



MUNICÍPIO DE MACEIÓ

Secretaria Municipal de Gestão

DTI - Diretoria de Tecnologia da Informação

SIIMM - Sistema Integrado de Informações do Município de Maceió

PROCESSO

10800/54116/2024

Secretaria:

SEGOV

Setor:

PROTOCOLO DEFESA CIVIL

Data:

07/05/2024

Interessado:

COORDENADORIA MUNICIPAL DA DEFESA CIVIL-COMDEC

Natureza:

9077 - PROVIDÊNCIAS

Assunto:

OFÍCIO 298/2024 COMPDEC

ENVIOS DE DOCUMENTOS - CPI BRASKEM



PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL ESPECIAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL



ID: 5891482

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.

OF. 298 - COMPDEC/2024

Maceió, 07 de maio de 2024.

Senado Federal,
"CPI da Braskem",
Ao Excelentíssimo Presidente da CPI,
Senador Omar José Abdel Aziz,
Praça dos Três Poderes - Brasília DF - CEP 70165-900 | Telefone: 0800 0 61 2211.

Assunto: Requerimento nº 03/2024-GSRSANT/LEGIS

Ofício nº 167/2024 – CPIBRASKEM

Excelentíssimo Senhor Senador,

Considerando o requerimento supramencionado, foi requisitado, no item de nº 7, informações sobre o afundamento da Mina 18. Com isso, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Maceió (COMPDEC) vem anexar os documentos ao presente ofício para fins de instrução:

1. Análise Situacional da Caverna 18 – Documento elaborado pela Assessoria do Comitê de Acompanhamento Técnico, de circulação interna, apontando um estudo pormenorizado da região;
2. Informativo Técnico confeccionado em 02 de dezembro de 2023, às 11h50, informando o *status* e histórico da caverna até aquele momento;
3. Relatório original do Instituto alemão *für Gebirgsmechanik GmbH*, em sua integralidade, informando a situação pós colapso da Caverna 18;

4. Relatório traduzido por tradutor juramentado do Instituto alemão *für Gebirgsmechanik GmbH*, em sua integralidade, informando a situação pós colapso da Caverna 18;
5. Apresentação realizada pela empresa Braskem S.A. sobre a atualização do Plano de Fechamento das cavernas em Maceió, onde informa a situação da Caverna 18 e seu entorno;
6. Protocolo que a empresa Braskem S.A. fez perante a Agência Nacional de Mineração (ANM) sobre a situação da Caverna 18, facilmente encontrado às fls. 41 e seguintes, e
7. Documento elaborado pela COMPDEC abrangendo todo o cenário de ações de defesa civil tomadas mediante o colapso da Caverna 18.

Com isso, os estudos aqui anexados, apontam para um colapso total da Caverna 18 com o seu alto preenchimento.

Sendo o que nos basta para o momento, colocamo-nos à disposição para elucidar quaisquer questionamentos advindos desta Casa legislativa.

No mais, insistimos sempre em salientar que esta COMPDEC atende situações frequentes de risco e vulnerabilidade no âmbito municipal, desenvolvendo ações que compreendem os aspectos globais de: **I** - prevenção; **II**- preparação; **III** - mitigação; **IV** - resposta e **V** – recuperação, conforme dispõe a Lei nº12.608/2012.

Aproveitamos o ensejo para apresentar votos cordiais de apreço, consideração e estima.

Atenciosamente,



Abelardo Pedro Nobre Junior

Mat. 955904-3

Coordenadoria Especial de Proteção e Defesa Civil



Análise situacional

Esta análise é feita com base nos dados provenientes da rede de monitoramento DGPS/GNSS, rede microssísmica, por imagens aéreas e, também, a partir dos dados históricos de sonares da cavidade 18.

Situação da cavidade agosto/2023

Em relação aos dados provenientes dos sonares, realizados entre 1995 e 2023 totalizam 15 sonares realizados na cavidade M#18D pela empresa Braskem S.A (Fig 01). A projeção da localização da referida cavidade da Mina18D pode ser averiguada na imagem abaixo (Fig 2) (círculo branco) com os respectivos raios de segurança sugeridos pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) em 2019 e adotados pela Defesa Civil de Maceió para um possível colapso. Em vermelho, raio de 3x o rio médio da cavidade e em amarelo o raio 5x.

A partir de maio/2023, foi realizado sonar pelo poço auxiliar 18BD onde mostrou um topo da cavidade a 784,5m fora da camada de sal e base a 887m de profundidade. O que se constata 102,7m de cavidade e topo de sal a profundidade a 910,59m. Esta cavidade apresenta o volume de 422.454m³ (esse volume representa a superposição de dois sonares realizados através dos sonares realizados pelos poços 18BD, 18CD e M#18D).

Em junho/2023 foi realizado um outro sonar através do poço auxiliar 18CD para verificação do topo da cavidade (785,7m) e a base da cavidade (1052,4m) através do poço original M#18D, onde apresentou volume de 424.516m³. Em agosto/2023, foi realizado outro sonar feito através dos poços auxiliares 18CD para o topo da cavidade (784,3m) e a base da cavidade através do M#18AD (1057,6m) com volume de 489.525m³.

A partir desta análise, nota-se migração de aproximadamente 160 metros em um período de 04 anos, entre 2019 e 2023. Tal configuração de instabilidade da cavidade pode ter sido o ponto de partida para a atual situação.

Figura 1 - Sonares realizados na cavidade 18. Dados cedidos pela empresa para o Comitê de análise Técnica.

Data	Empresa	Topo da Caverna (m TVD)	Profundidade da Caverna (m TVD)	Volumen da Caverna (m³)
16/nov/95	Sonarwire	1.121	1.185	114.590
01/fev/98	Sonarwire	1.117	1.176	161.579
05/set/00	Sonarwire	1.082	1.157	261.216
27/mar/02	Sonarwire	1.054	1.151	314.001
15/ago/03	Sonarwire	1.044	1.150	359.781
27/ago/04	Sonarwire	1.036	1.144	384.425
15/out/05	Sonarwire	1.035	1.140	411.618
30/jan/07	Sonarwire	1.030	1.137	446.034
09/abr/09	Sonarwire	1.023	1.135	521.875
29/mar/10	Sonarwire	1.014	1.138	569.033
15/ago/19	Flodim	948	1.089	494.425
19/mar/23	Flodim (18BD)	784,5	910,59	422.454 ⁽²⁾
20/mar/23	Flodim (M#18D)	910,8	1052,4	422.454 ⁽²⁾
12/jun/23	Flodim (M#18D/18CD)	785,7 ⁽¹⁾	1052,4 ⁽¹⁾	424.516 ⁽²⁾
01/ago/23	Flodim (M#18AD/18CD)	784,3 ⁽³⁾	1057,6 ⁽³⁾	489.525

Profundidades em TVD

Nota ⁽¹⁾: Os valores de topo e base apresentados referem-se ao topo visualizado pelo poço auxiliar 18CD e a base visualizada pelo poço original M#18D)

Nota ⁽²⁾: O volume apresentado representa a superposição de dois sonares realizados via poços 18BD, 18CD e M#18D respectivamente.

Nota⁽³⁾: Os valores de topo e base apresentados referem-se ao topo visualizado pelo poço auxiliar 18CD e a base visualizada pelo poço auxiliar 18AD.

Figura 2 - Localização das cavidades com ênfase na mina 18.



Situação superficial do local onde se encontra a projeção da cavidade

Nos dias 29 e 30 de novembro e 01 de dezembro de 2023, foram realizados sobrevoos com VANT na região em superfície onde encontra-se a cavidade (projeção). Nas imagens é possível ver feições de fraturamento do solo surgidas no dia 29 e se intensificando no dia 30/11 e 01/12. Feições essa ocasionadas pela forte movimentação superficial de subsidência e tração, acusadas pelos sensores GNSS.

Figura 3 - DIA 29 - Área projetada da cavidade 18. Setas indicam as feições de fraturamento



Figura 4 - DIA 30 - Área projetada da cavidade 18. Fraturamento intensificado identificados pelas setas.



Figura 5 - DIA 29. Registro da boca do poço da cavidade 18. Fraturas ao redor e base de concreto rachada.

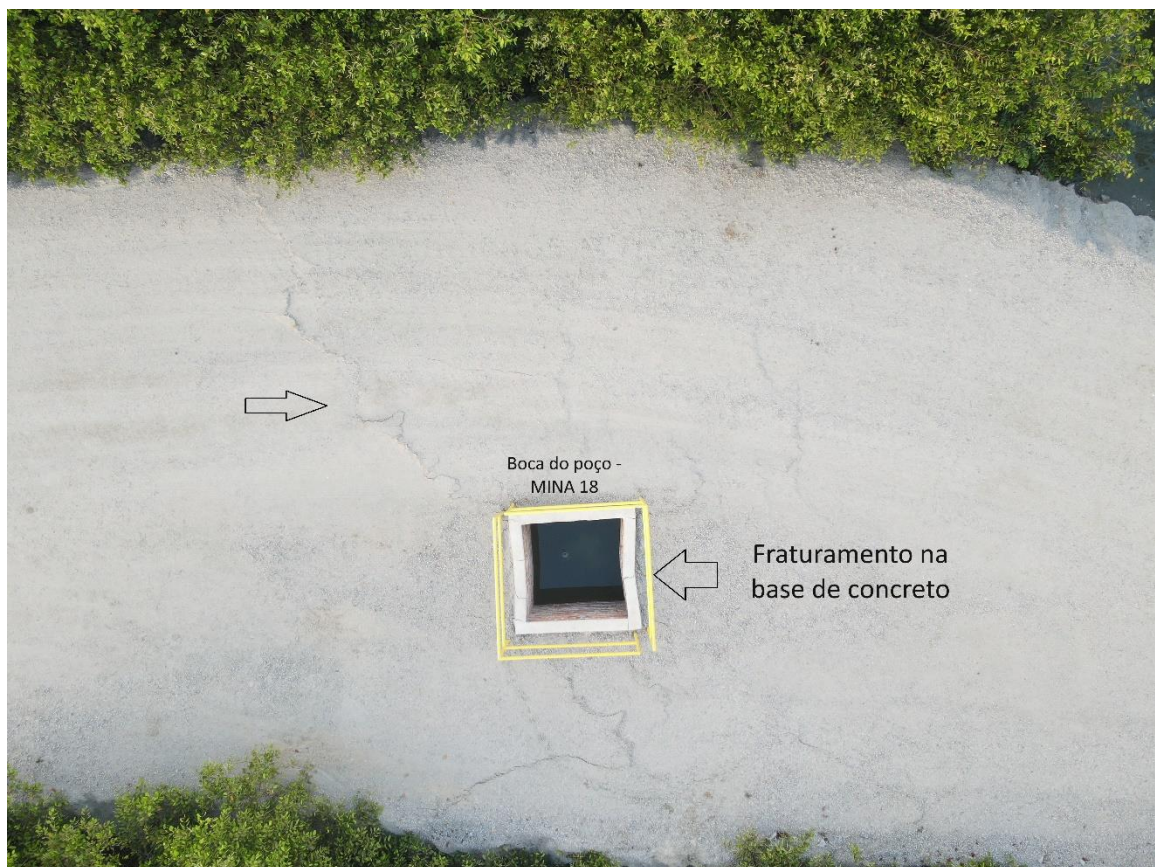


Figura 6 - DIA 29. Registro da boca do poço da cavidade 18. Fraturas ao redor da base intensificadas. Parte da base cedida.



Imagens registradas no dia 30.







Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.



A seguir imagens registradas no dia 01/12/2023.







Análise sísmica prévia- novembro

Em relação aos dados sísmicos, se observa para o mês de novembro (especificamente no dia 06 e no período de 19 a 24), os eventos sísmicos no entorno das redondezas da cavidade 18D. Estes eventos sísmicos, são identificados de forma automática e, posteriormente, são revisados manualmente melhorando a qualidade dos dados do epicentro (localização dos sismos), hipocentro (profundidade do evento) e magnitude.

Figura 7 - Epicentro dos eventos no período de 19 a 24/11/2023 – Área utilizada para análise.



De acordo os dados, no período de 19 a 24/11/2023, foram registrados automaticamente o total de 2.836 eventos sísmicos e, após a análise manual, o total é de 1011 eventos, distribuídos ao longo do tempo apresentado nas figuras 4 e 5.

Figura 8 - Frequência sísmica para o mês de novembro (detectados automaticamente).

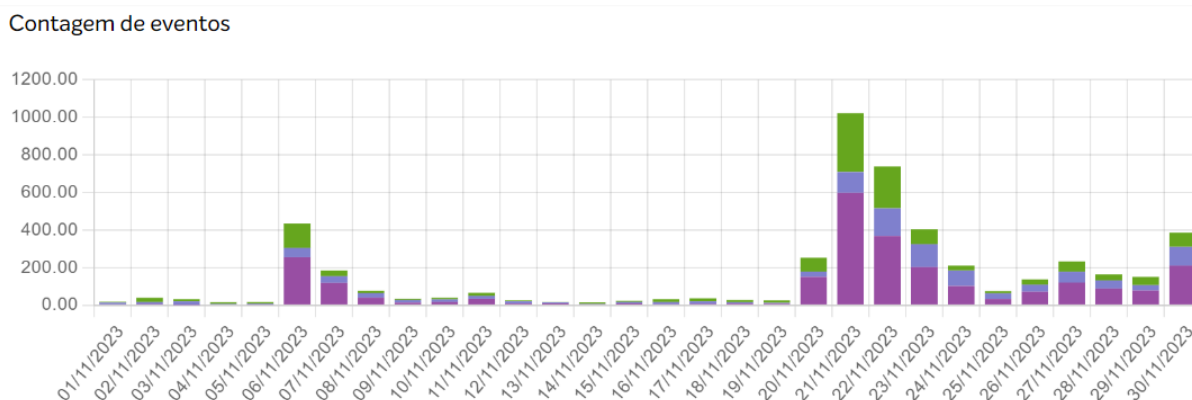
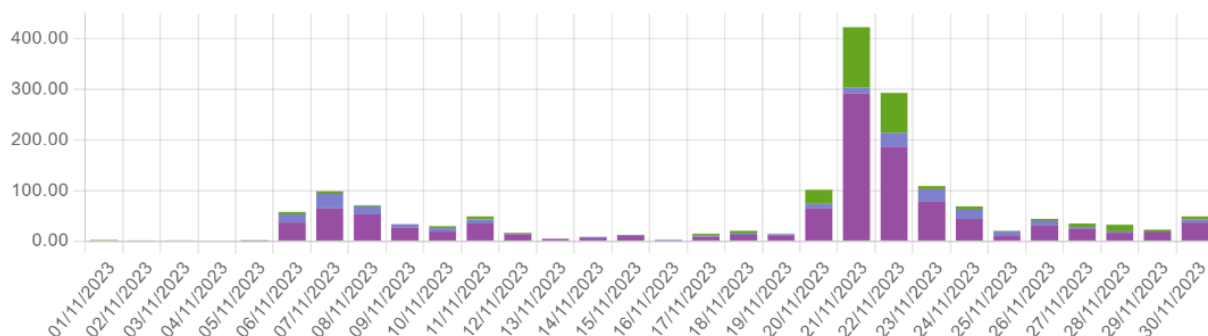


Figura 9 - Frequência sísmica para o mês de novembro (detectados manualmente).

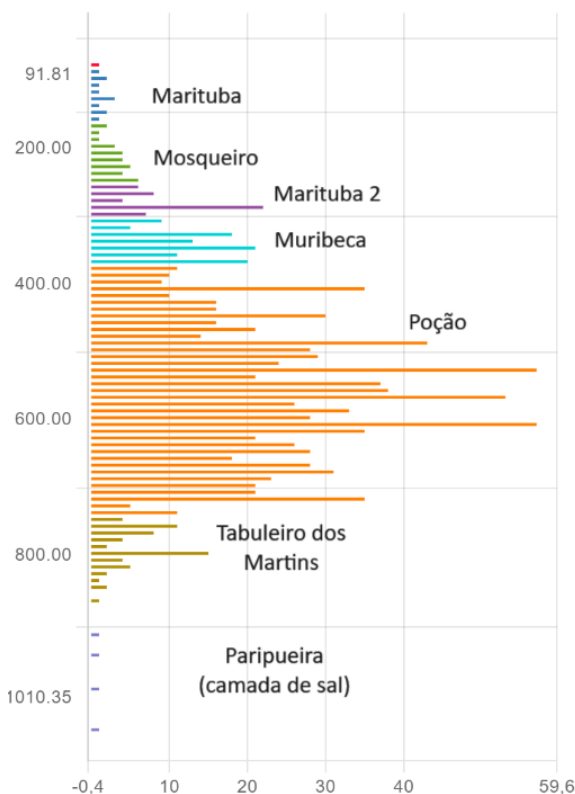
Contagem de eventos



Em termos de hipocentro (profundidade do evento), considerando a crise sísmica, a média no período de 19 a 24/11/2023 é de 557 metros para os eventos revisados manualmente. Se considerarmos os eventos revisados do dia 19/11/2023 até o dia 30/11/2023 (última análise disponibilizada) a média de profundidade dos eventos foi a 539m de profundidade. A relação entre profundidade, frequência dos eventos e litologia da região podem ser averiguadas na figura a seguir (fig.6)

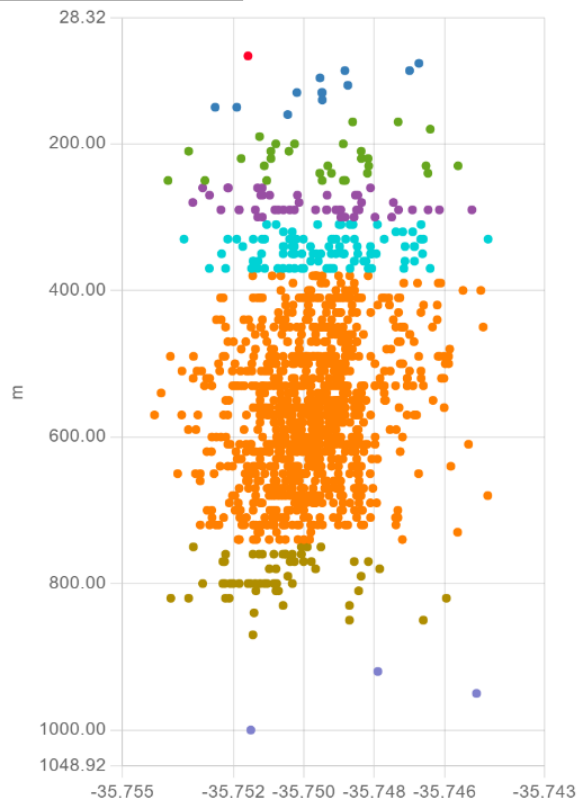
Figura 10 - Figura 6 - Profundidade dos eventos entre 19 a 30/11/2023

Profundidade dos eventos



Eixo X

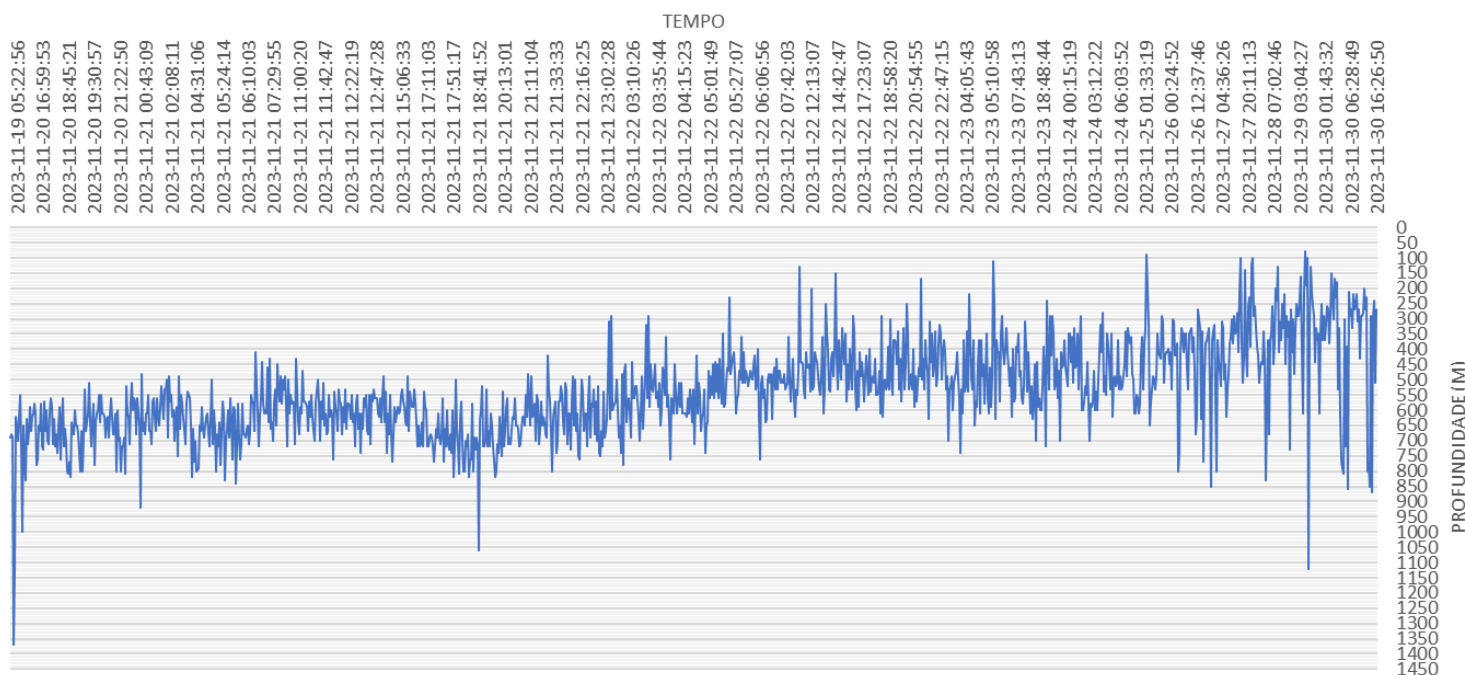
Longitude



Se considerarmos a evolução dos eventos sísmicos ao longo do período supracitado, percebe-se uma ascensão dos eventos em direção a superfície. Esta movimentação fica um pouco mais clara a partir das 18h do dia 21/11/2023 (fig 7), com uma leve tendência de permanência entre 500 e 400 metros (Formação poção) até o dia 25/11/2023 e com uma leve ascensão logo em seguida, com uma tendência de permanência dos eventos entre 350 e 300 metros até o dia 30/11/2023 (Formação Muribeca/Marituba).

Figura 11 - Evolução sísmica em termos de profundidade ao longo do tempo

Profundidade dos eventos próximos a projeção da cavidade 18 ao longo do tempo



Vale a ressalva que a partir do dia 25/11/2023 a frequência sísmica teve uma redução considerável, porém ainda acima da média diária para o ano de 2023 até o mês de outubro.

A figura a seguir também evidencia a relação temporal para o período supracitado associado a profundidade, percebe-se que os eventos mais recentes estão, em sua maioria, em uma profundidade menor (mais próximo a superfície), porém com uma quantidade de eventos também muito inferior, estando a grande

maioria dos eventos associado aos dias 21, 22 e 23 de novembro (Fig 8 e 9) e a profundidades que variam de 600 e 500 metros.

Figura 12 - Profundidade do evento. Corte latitudinal (esquerda) e longitudinal (direita).

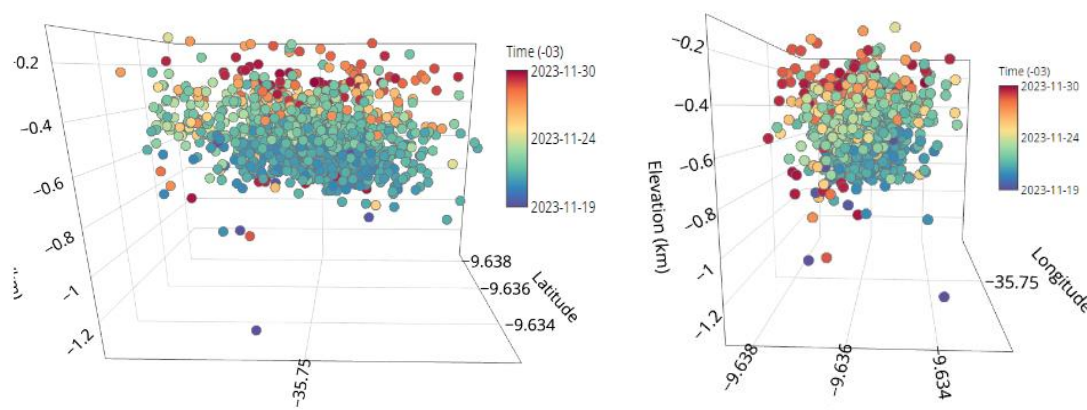
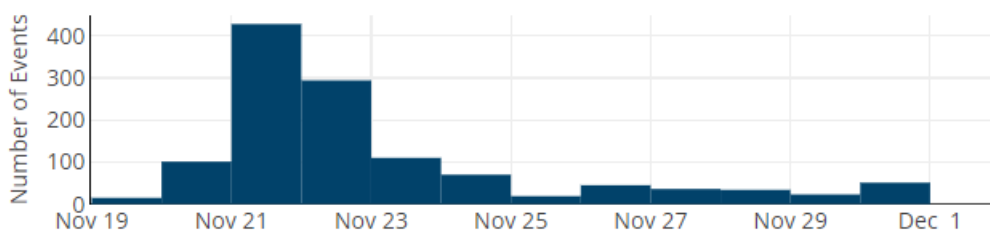


Figura 13 - Frequência dos eventos do dia 19 ao dia 30 de novembro.



Em termos de protocolo de monitoramento para possíveis eventos de sinkhole (envolvendo taxa de eventos, persistência e densidade), dois alertas de nível de atenção foram emitidos, o primeiro no dia 20/11/23 e um segundo no dia 21/11/23 com duração de 18h10min. Até o presente momento o estado se mantém em normalidade.

Figura 14 - Níveis de alarme para o protocolo de de monitoramento para processo de sinkhole.



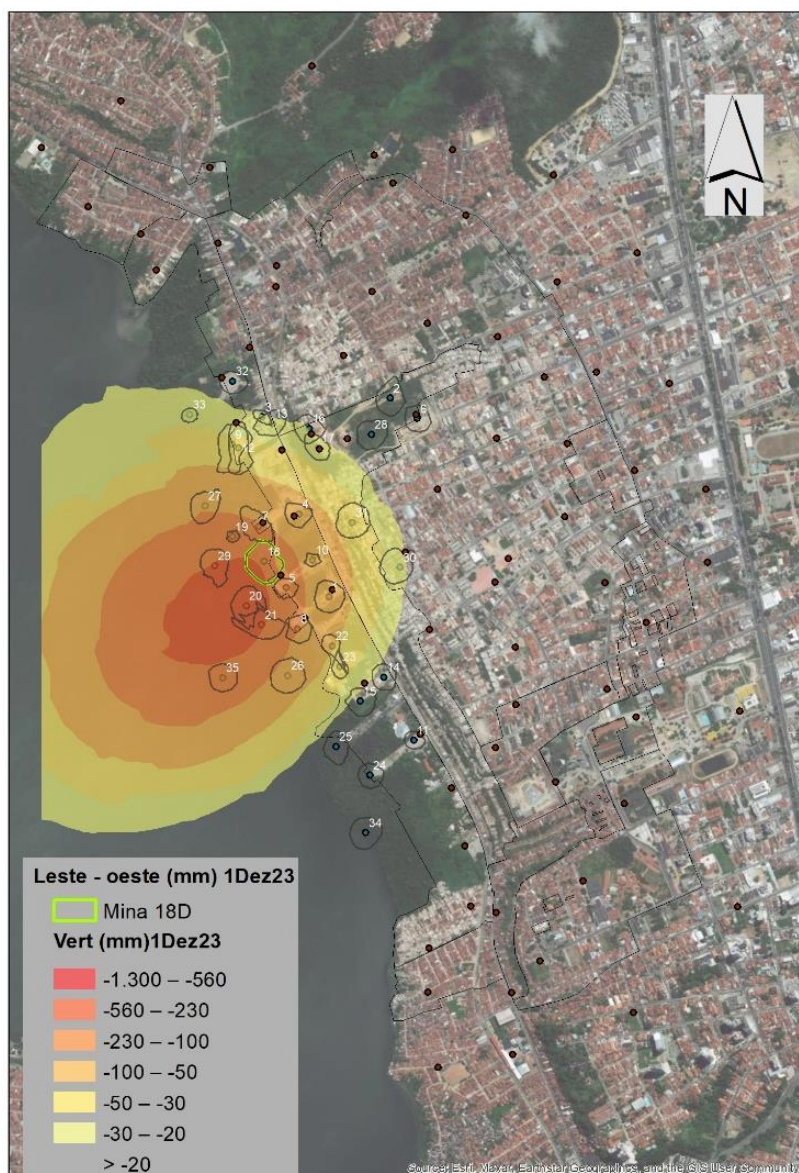
Apesar da constatação, devido grande quantidade de variáveis, não é possível determinar com clareza a causa da crise sísmica. Porém, cenários que envolvem ascensão da cavidade 18 (perda de pressão da cavidade, impossibilidade de acesso aos poços, localização -epicentro e hipocentro - dos eventos ao longo do tempo), deslocamento do teto da cavidade e acomodação de grandes proporções não devem ser descartados para o fenômeno. As análises para os dias que se sucederam estão deverão ser analisados.

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.

Deformação superficial do solo (GNSS)

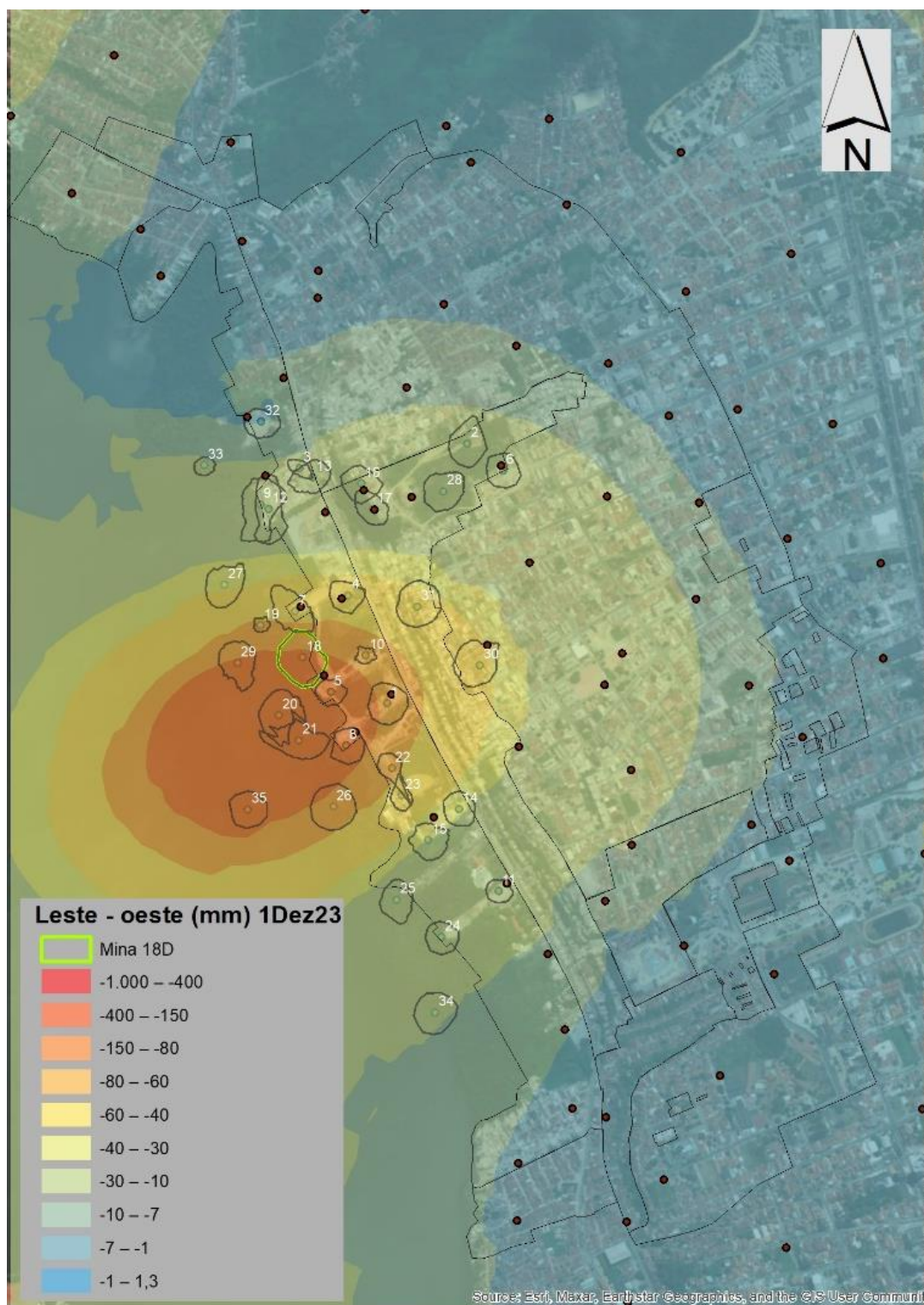
Em relação ao deslocamento vertical e horizontal medidos pelos sensores DGPS/DGNSS que compõe a rede composta por 73 sensores, sendo 3 destes de bases fixas de referências. Dessa forma, através dos dados de deslocamento, foi realizada uma interpolação dos valores com maior deslocamento vertical (subsistência) na área coincidente com a mina 18D, na laguna Mundaú, com alerta de *Sinkhole*, com total de aproximadamente 1,3 metros de deslocamento vertical identificados no período de 19 de novembro a 01 de dezembro de 2023 para os dados pós-processados de 12h (Fig 10).

Figura 15 - Interpolação com valores de deslocamento vertical para os sensores GNSS



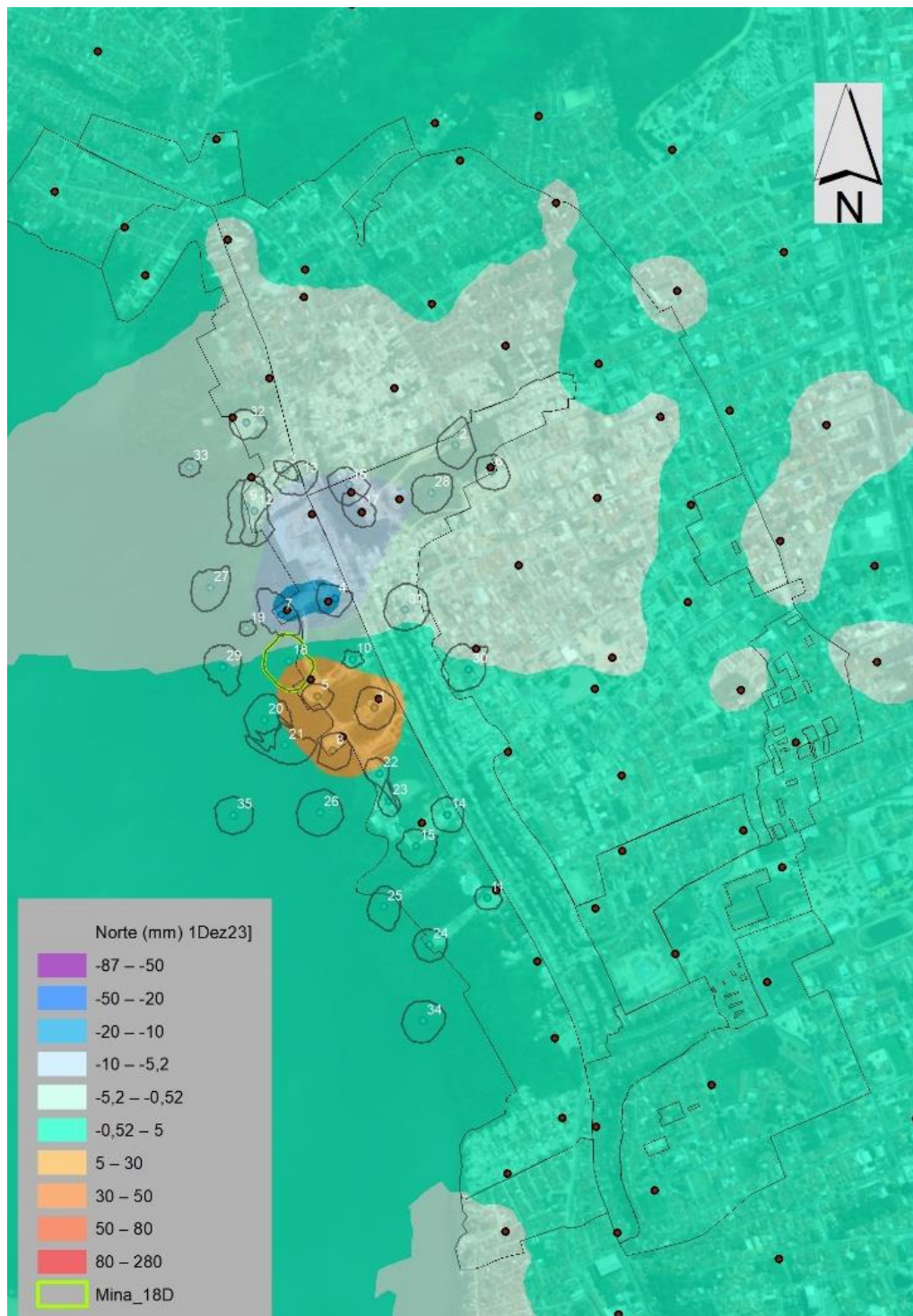
No que se refere ao deslocamento na direção horizontal, direção leste-oeste, mostram maior direção para oeste em direção a laguna Mundaú, também, com maior deslocamento onde se encontra a Mina 18D (Fig 11).

Figura 16 - Interpolação para os valores de deslocamento lateral (L-O) dos sensores GNSS



Quanto ao deslocamento na direção horizontal (direção norte – sul), constata-se que a área de concentração do deslocamento converge para a área de projeção da cavidade 18 (Fig 12).

Figura 17 - Interpolação com valores de deslocamento horizontal (N-S) para os sensores GNSS

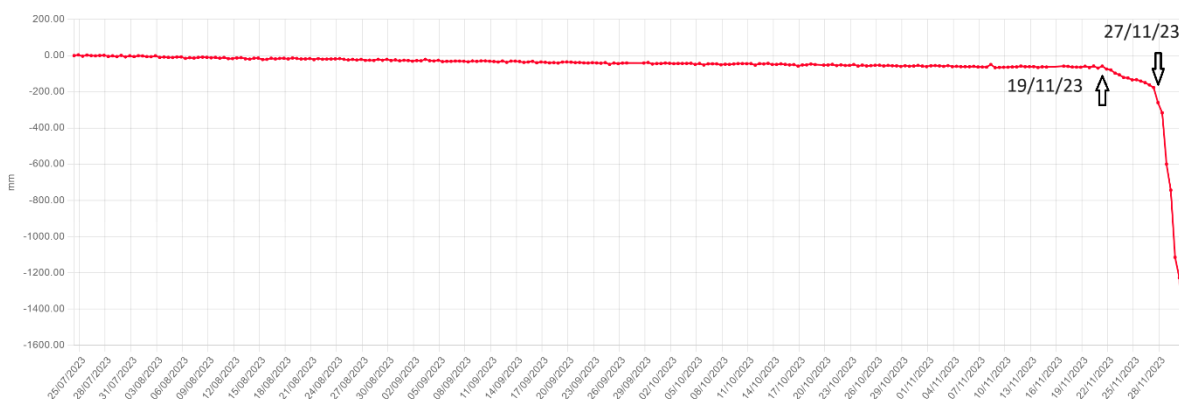


GNSS “MINA 20”

Análise pós-processado de 12h

O GNSS denominado MINA 20” encontra-se localizado acima da cavidade 18. Seu acentuado deslocamento vertical apresenta padrões extremamente anômalos em relação ao ocorrido antes do processo de instabilização ocorridos nos últimos dias.

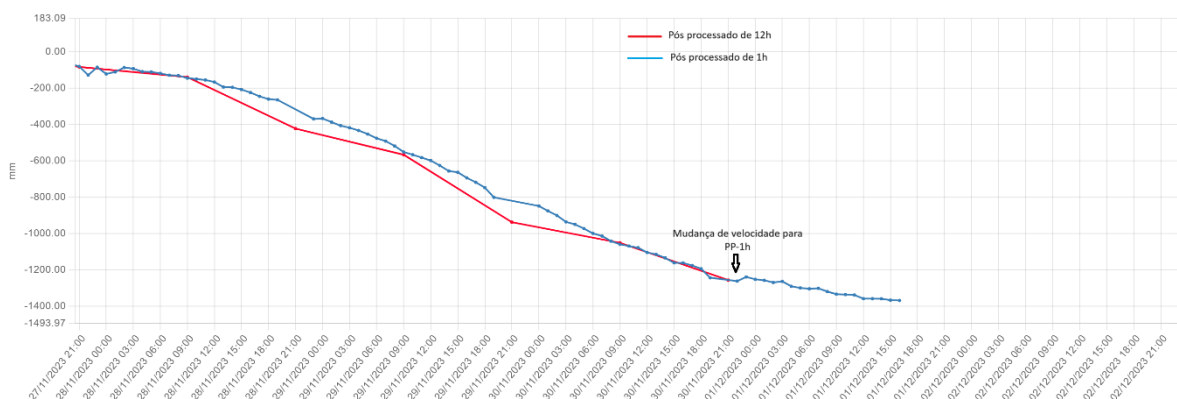
Figura 18 - Deslocamento vertical para o GNN “MINA 20”. Dados pós-processados dentro de um período de 12h.



Se considerarmos os dados pós-processados de 12h, do dia 24/07/23 até o dia 19/11/23 (dia que coincide com a crise sísmica) o sensor apresentou um acumulado de deslocamento vertical de -58,73 mm. Entre os dias 19 e 27 de novembro o processo de deslocamento se intensifica, resultando em um deslocamento vertical absoluto de 201mm para o período, totalizando 259,74 mm. A partir do dia 27 até 30/11/23 21:00h, o sensor detectou um movimento abrupto de deslocamento de 1116,2 milímetros, ou 1,116 metros, totalizando desde o mês de julho de 2023, um total de 1432 milímetros, sendo que aproximadamente 96% de toda esta movimentação se concentrou a partir do dia 19/11/23.

Análise pós-processado de 1h

Se considerarmos uma análise com dados pós-processados de 1 hora, a partir das 22h do dia 30/11/23 nota-se uma leve diminuição na velocidade de deslocamento para o sensor, ainda de forma preliminar, sendo necessário mais tempo de dados para uma melhor conclusão. Como a última análise dos dados pós processados de 12h foi as 21h do dia 30/11/23, não foi possível identificar a redução no pós-processado de 12h (Fig 14). Para o pós processado de 1h, o deslocamento acumulado soma 1582mm no dia 02/12/2023.



As análises para pós processado de 1h e de RTK são de extrema importância para o cálculo do inverso da velocidade, portanto a necessidade de atualizar os dados diariamente é de extrema importância para qualquer tipo de previsão que venha a ocorrer na ascensão da cavidade 18.

Conclusões

Considerando as análises dos instrumentos e o registro fotográfico, fica claro que algo fora do comum está ocorrendo próximo a região projetada da cavidade 18.

Os eventos sísmicos registrados no mês de novembro demonstram que uma movimentação fora do comum ocorreu nas profundidades que variam de 700 a 300 metros. A casualidade da alteração sísmica depende de diversas variáveis, ainda assim não se pode descartar que esteja associada a ascensão da cavidade.

Mesmo que a crise sísmica não permaneça até o presente momento, a média de eventos pós processados continua superior ao que vinha apresentando ao longo do ano.

A recomendação para esta instrumentação é o acompanhamento dos eventos automáticos, sua correlação com a profundidade e monitoramento via protocolo sísmico já estabelecido para possíveis eventos de sinkhole.

As análises de deformação do solo para todos os sensores GNSS (vertical, L-O e N-S) indicam que o problema está associado a região da cavidade 18.

Os sensores GNSS devem ser analisados em tempo real (RTK e PP-1h) para o acompanhamento do processo e possíveis análises de colapso iminente. Já o pós-processado de 12h deverá ser analisado para melhor entendimento e comportamento da deformação do solo e velocidades de subsidência.

O registro fotográfico evidencia um aumento claro na quantidade das feições de fraturamento próximo a cavidade 18, sendo um reflexo da acomodação do substrato, podendo indicar um início de processo de sinkhole.

O processo de dolinamento (sinkhole) iminente ainda não pode ser descartado na área em questão e só o monitoramento contínuo poderá dar resposta de forma célere.



Este documento tem como objetivo, apresentar sucintamente ações realizadas em resposta aos eventos sísmicos e movimentação superficial ocorridos nas proximidades da M#18D, dentro do mês de novembro de 2023.

Situação da cavidade

Entre 1995 e 2023, foram realizados ao todo, 15 sonares na cavidade M#18D pela empresa Braskem. Em agosto/2019 foi realizado sonar através do poço original M#18D e mostrou uma cavidade dentro da camada de sal, com topo a 948m, base a 1.089m e um volume 494.425m^3 . Em maio/2023 foi realizado o sonar através do poço auxiliar 18BD, onde mostrou um topo da cavidade a 784,5m, cerca de 102,7m fora da camada de sal que se encontra as 887m e profundidade da cavidade a 910,59m, com volume da cavidade de 422.454m^3 (esse volume apresentado representa a superposição de dois sonares realizados através dos sonares 18BD, 18CD e M#18D). Em junho/2023 foi realizado um novo sonar através do poço auxiliar 18CD para verificação do topo da cavidade (785,7m) e a base da cavidade (1052,4m) através do poço original M#18D, onde apresentou volume de 424.516m^3 . Em agosto/2023 novo sonar é feito através dos poços auxiliares 18CD para o topo da cavidade (784,3m) e a base da cavidade através do M#18AD (1057,6m) com volume de 489.525m^3 .

Nota-se uma migração de aproximadamente 163 metros em um período de 04 anos, entre 2019 e 2023.

Resumo dos dados sísmicos

Foi observado para o mês de novembro (especificamente no dia 06 e no período de 19 a 24), eventos sísmicos na área nas redondezas da cavidade 18. No período de 19 a 24/11/2023 foram registrados automaticamente um total de 2.836 eventos e, após a análise manual, um total de 1011 eventos. Em termos de hipocentro (profundidade do evento) a média para o período de 19 a 24/11/2023 (período em que se encontra a crise sísmica) foi de 557 metros para os eventos revisados manualmente. Se considerarmos os eventos revisados do dia 19/11/2023 até o dia 30/11/2023 (última análise disponibilizada) a média de profundidade dos eventos foi a 539m de profundidade.

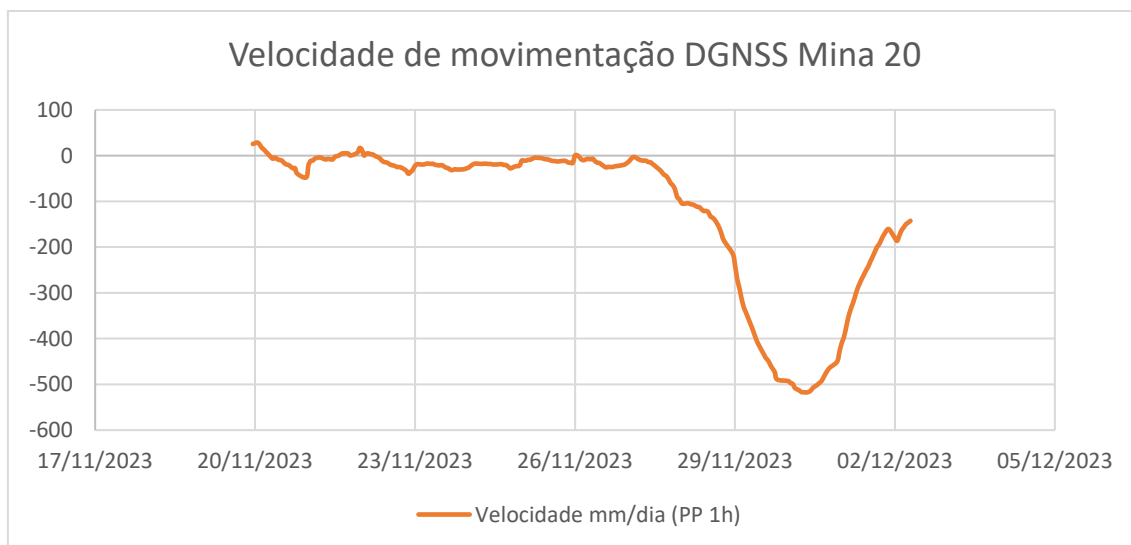
Sensores DGPS

Além dos eventos sísmicos, a partir do dia 18 até o momento da confecção deste relatório, foram registradas movimentações superficiais na direção vertical através de dados de GNSS (Mina 20) que indicam acumulado de subsidência 1,52 metros com constante queda.

O resultado de interpolação com base em 73 sensores GNSS evidenciou uma movimentação lateral que converge para região da cavidade M#18D, com uma movimentação máxima de 1,20 m.

A evolução da velocidade de movimentação segue o seguinte comportamento ao longo do tempo, conforme a Figura 1. Observa-se um pico de 51,7 cm/ano, encontrando-se na situação atual de 14,2 cm/dia.

Figura 1 - Evolução velocidade x tempo do GNSS Mina20



Prognósticos e encaminhamentos

Por meio de dados de monitoramento o prognóstico é de ocorrência de provável dolinamento iminente da cavidade M#18D. Uma segunda possibilidade é de desestabilização da cavidade com consequente acréscimo de deformação e danos no entorno do evento.

Com relação a área de atingimento da eventual ocorrência, os indícios apontam para uma ruptura concentrada na região próximo a projeção da cavidade M#18D. Entretanto, em havendo a ocorrência, devido à complexidade do evento é impreciso afirmar o nível de impacto nas áreas adjacentes.

Não obstante, conforme já apresentado na Figura 2, as áreas adjacentes a projeção da M#18D se encontram devidamente monitoradas e evacuadas. Nesse sentido, eventuais anomalias, para além da possível área sinistrada, serão detectados pela rede de monitoramento existente (Figura 3), possibilitando o acionamento de ações adicionais de contingência.

Figura 2 - Localização da projeção da cavidade 18, com raio de segurança de 3 e 5 vezes e ruas interditadas.

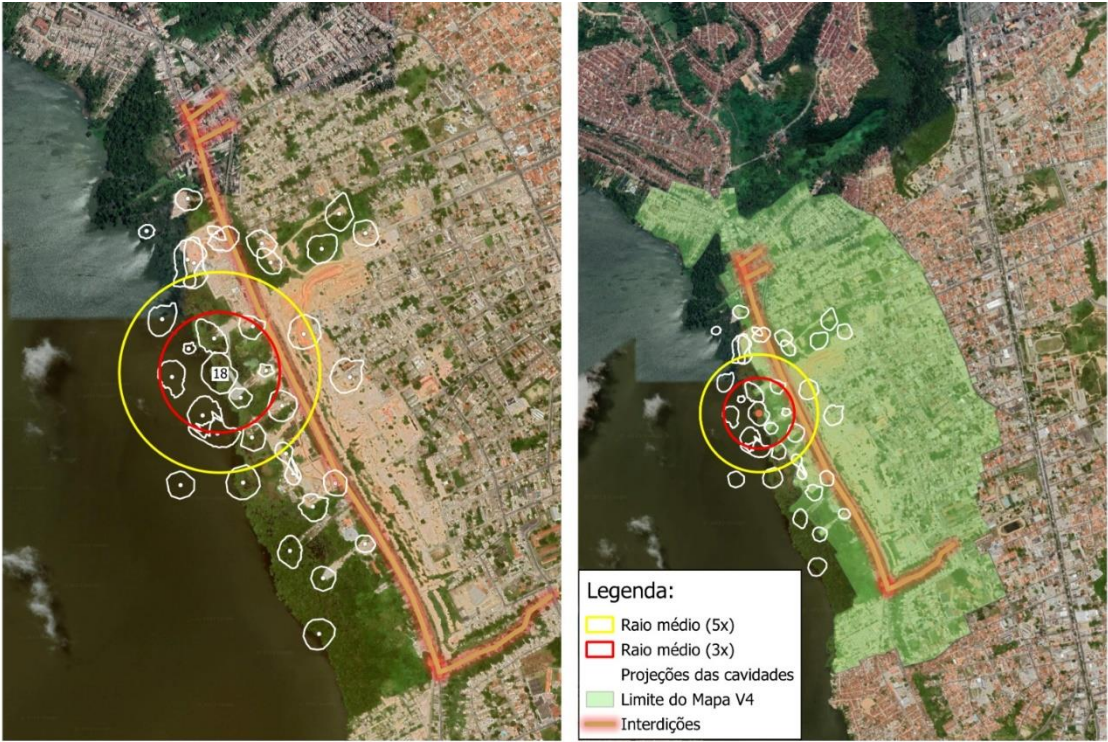
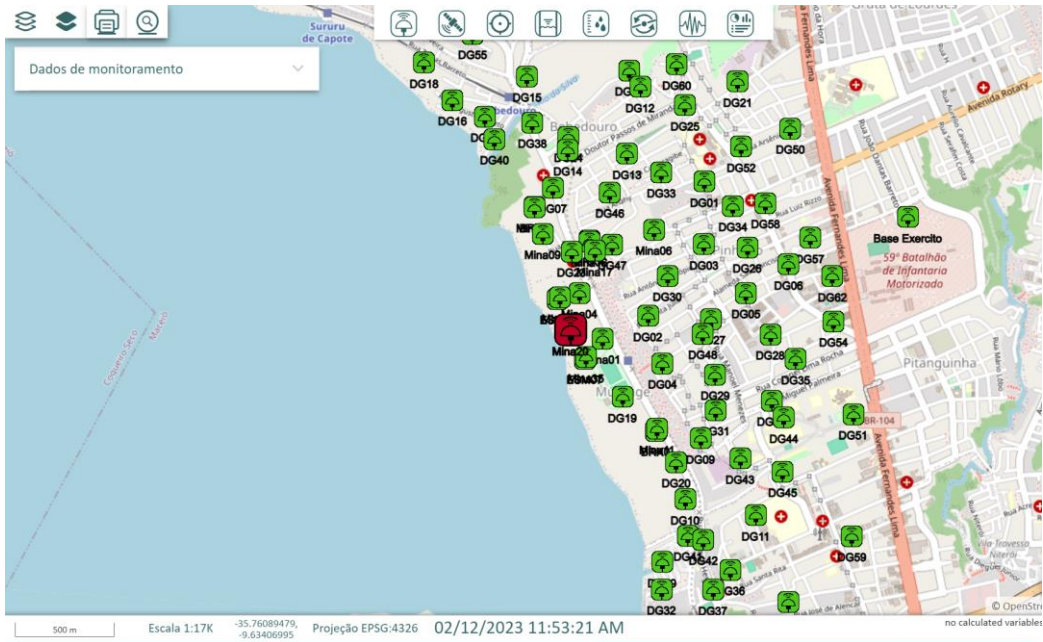


Figura 3 - Situação de alertas na rede DGNSS (02/12/2023 11:53:21)





ID: 5891485

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.



Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Research · Testing · Consulting · Expertise

Cavern Field Maceió: Expert Judgement on Interpretation and Consequences of Sinkhole Process at Mine 18

Customer: Braskem S.A.
Rua Eteno, 1561
Complexo petroquimico de Camaçari
City of Camaçari
State of Bahia
Brazil

Customer's Reference Number: Agreement No. 4600020847/2019

Our Reference Number: B IfG 22d/2021

Processed by: Dr. Ali Taghichian
Dr.-Ing. habil. Wolfgang Minkley
Dr. Christoph Lüdeling

Leipzig, 11.03.2024

Dr.-Ing. Ralf-Michael Günther
Managing Director

Dr. Christoph Lüdeling
Assistant Director

Contents

1	Introduction	3
2	Description of Events in November/December 2023	4
3	Sinkhole Formation by Block Sliding in the Overburden	9
3.1	Mechanism	9
3.2	Numerical Modelling	11
4	Analysis of the Event at Mine 18	13
4.1	Bulking: Slow Upwards Motion Unlikely	13
4.2	Analytical Estimates of Stability	14
4.3	Surface Deformation	16
4.4	Seismic Activity	17
4.5	Summary	19
5	Possible Effects on Other Cavities	21
5.1	Chain-Reaction Collapses?	21
5.2	Geomechanical Changes in the Overburden	21
5.3	Preliminary Numerical Analysis	22
5.3.1	Modelling Approach	22
5.3.2	Results	25
5.3.3	Field Model	27
6	Conclusions and Recommendations	30
	References	32
	Appendix	34

1 Introduction

Braskem operated a field of 35 solution mining caverns in the city of Maceió (see Appendix 1-1). In November and December 2023, observations of intense seismic activity and large surface deformations culminated in the formation of a sinkhole on 10 December. In this technical note, the IfG presents a first assessment of the event, its likely causes and possible future ramifications.

The IfG has previously studied the Maceió field (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2019; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021c; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021d; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2020; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021b; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021e); our discussion is based on our previous analyses and laboratory tests, the available data and preliminary numerical simulations. As new measurements or numerical results become available, our conclusions may be modified.

The most likely interpretation of the event is that a sinkhole formed over Mine 18 by block sliding in the overburden. Braskem operates a comprehensive monitoring system, observing, in particular, microseismic events with high sensitivity and resolution, and surface deformations with DGPS stations, InSAR and drone measurements. Together with other techniques, the data give a rather comprehensive picture of the acting geomechanical processes.

In the following, we first present the events observed in in November and December. In Section 3, we recall the block sliding mechanism, as discussed in Minkley et al. (1990), Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) and Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b). In Section 4, we apply our understanding to the specific case of Mine 18. Section 5 discusses the possible effects on other cavities in the field, and in Section 6 we present our conclusions and first recommendations.

2 Description of Events in November/December 2023

The cavities in the Maceió field are monitored regularly by sonar surveys. Between 2019 and 2023, Mine 18 developed an unusual tow-component shape (Appendix 2-1). During this time, the lower component migrated upwards by about 30 m, but stayed in the salt (green line at 891 m indicates salt top); a second component, with a height of 120 m, opened up above the salt layer. The second (upper) component was observed again on 04 November 2023, without significant changes, but the lower part was not accessed before the seismic events of Phase 1 started on 06 November. The overall volume (measured in August 2023) was about 490 000 m³; the upper component had a volume of about 117 000 m³ in November. It is possible that the connection between the components is wider than visible in the sonar surveys.

Mine 05, which close to Mine 18 in the southeastern direction, has been confirmed to be naturally backfilled (Brandt Meio Ambiente Ltd. 2021). The last available sonar survey dates from 1985, when the leaching operations were finished, with a cavern volume of approximately 200 000 m³. No open cavity was found in the sonar campaigns since 2018. In cross-well seismic analyses and drill logs, a potential remnant of Mine 05, i.e., a region filled by rock fall debris (but no open brine-filled void space), was found in a depth of 640 m. The cylinder connecting the last confirmed cavity void and the potential remnant is tentatively denoted as the Mine 05 debris cone – it approximates the potential path of the cavity during the self-backfilling process, so that it plausible is filled with

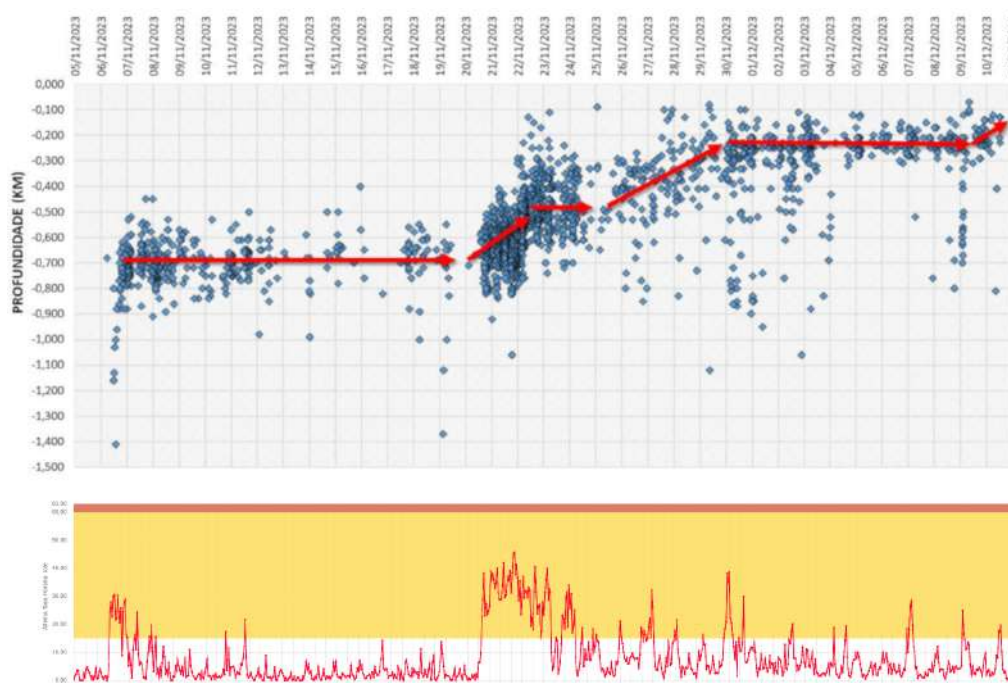


Figure 1: Seismicity from 05 November to 11 December 2023: Depth (top) and hourly rate (bottom). (Source: Braskem (modified))

loosely compacted roof fall debris. The upper component of Mine 18 touches the interpolated debris cone. Note, however, that the actual path of the Mine 05 void space, and the composition and properties of the fractures rock masses are unknown.

The Maceió cavern field is monitored rather closely. Among other systems, Braskem has installed a microseismic network comprising four sensors at the surface (i.e. in shallow boreholes), three sensors at a depth of 300 m and three sensors in about 900 m. Due to the sensor placement, the system allows for a good spatial resolution, including the depth), and it can detect events with magnitudes of -2.5 or lower. The system is read out automatically and raises alarm if predefined thresholds of seismic rate or intensity are exceeded. The background seismic rate is in the range from one to five events per hour.

The process can roughly be divided into two phases. On 06 November, the rate rose to more than 20 events per hour and remained significantly elevated for about two days (see Figure 1). The events were located in the central cluster of caverns, around Mine 18, in depths of 600 m to 800 m (Figure 2). Note that a sonar survey just a few days earlier found the roof of Mine 18 in a depth of 786 m.

After 08 November, seismic activity reduced again to values close to the initial background level, with occasional shorter spikes. The depth of the events was generally constant in the 600 m to 800 m range.

During the first seismic cluster, three events had magnitudes between 0 and 0.5; all other events were weaker, with the majority being below $M = -1$.

There was no significant effect on surface deformations in the first phase (06 to 20 November). However, the pressure in some closed cavities (Mines 10, 31 and 32) did show small but noticeable

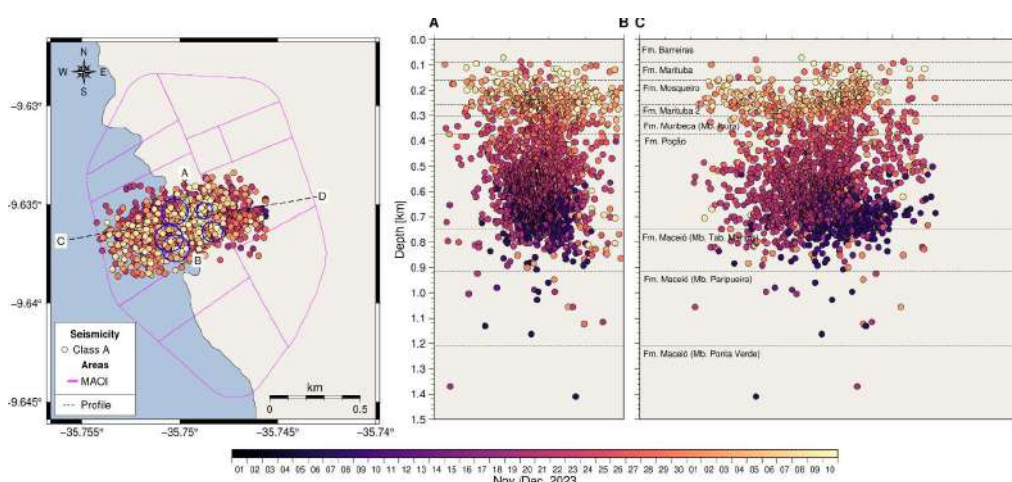


Figure 2: Location of seismic events in top view (left) and cross sections A-B (approximately North-South, centre) and C-D (East-west, right). Note that due to the sensors' location, the East-West uncertainty is significantly higher than in North-South direction (Source: Braskem)

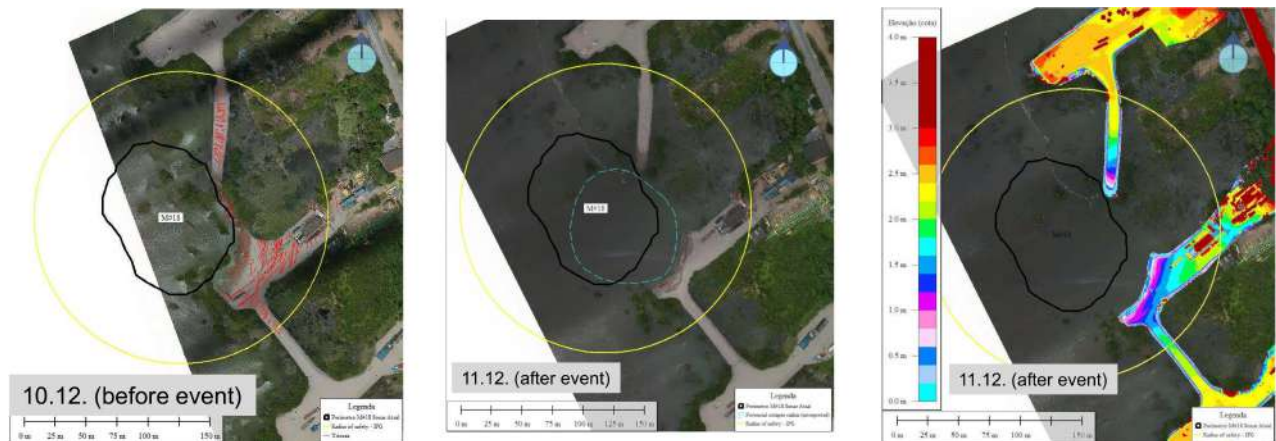


Figure 3: Aerial photographs of the area above Mine 18. Left: Picture taken the days before the sinkhole, showing cracks in the pavement and obvious subsidence on the submerged connecting roadway. Centre: Reconstructed sinkhole perimeter. Right: Surface elevation after sinkhole formation with steep edges of the crater. Black line is outline of Mine 18, yellow circle is safety radius according to Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019). (Source: Braskem)

deviations from the long-term trend, in the range of 0.1 bar in 14 days.

Phase 2 began with a second, stronger, burst of seismic events, starting on 20 November and lasting about four days. Notably, in the first two days, the events moved up significantly to a range of 300 m to 600 m, and there was a significant number of events with magnitudes $0 \leq M \leq 1$. Subsequently, the seismic rates were consistently higher than the previous background values, and events continued to move up (see Figure 1). From 30 November to 09 December, seismic activity was concentrated in depths around 200 m. We should point a strings of almost simultaneous events in depths from 100 m to 800 m on 09 December, and a similar pattern on 04 December. After 27 November, there were a number of stronger events (with $0 \leq M \leq 1$). Additionally, a few events had magnitudes of $M > 1$; however, these were located several hundred metres west or northwest of Mine 18.

In Phase 1, the centre of seismicity was located approximately 150 m east of Mine 18. In Phase 2, the seismic activity moved to the west, with the highest density of events being over the southeastern edge of Mine 18.

From the start of Phase 2, surface deformations started to become significant. Deformations were primarily monitored by DGPS stations – in the central region, DGPS receivers were located on five wellheads. Note that due to directional drilling, the wellhead of Mine 20 is located almost above Mine 18. Appendix 2-2 shows that displacements in the DGPS stations starts to diverge about 1.5 days after the begin of Phase 2, with the *Mine 20* station subsiding more than 20 mm per day. The horizontal displacements (right panel) indicate a general surface movement towards a central point located above Mine 18, with all stations in the vicinity showing comparable displacements.

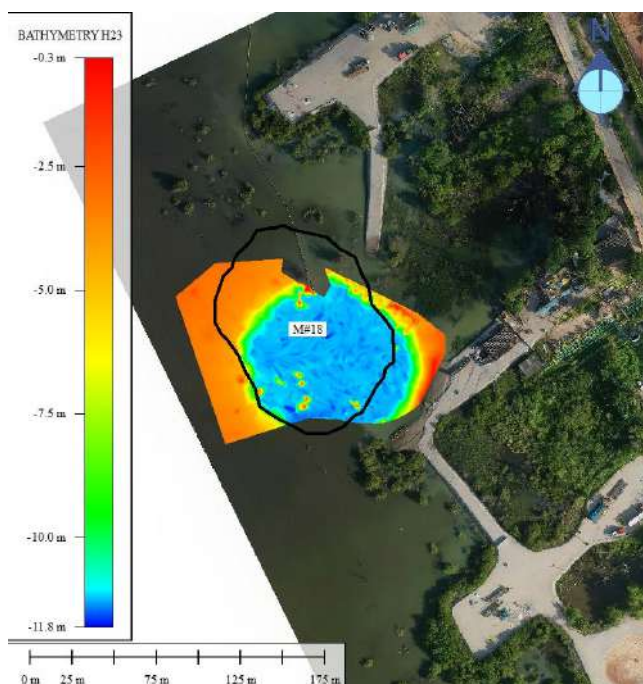


Figure 4: Bathymetric observation of the sink-hole expression at the sea floor, measured on 29 December 2023.

The pattern of surface displacement significantly changed around 27 November, at a time when the seismic event positions were rising from about 500 m to 200 m: The *Mine 20* station started to decouple from the other stations and accelerated significantly (see Appendix 2-3). In particular, from 27 November to 01 December, the wellhead of Mine 20 moved by about 1.4 m downward, 1 m to the West and 20 cm to the North. After 01 December, the depth of the seismic events was approximately constant, and the surface deformation rates reduces to (still very high) values (subsidence rate approximately 8 cm/d).

The pressure in all plugged cavities showed a reaction to the deformations in the field centre. The most distant cavities (Mines 02 and 32) deviated only slightly from the long-term trends, while pressure in the neighbouring cavities Mine 01 and 10 increased by about 1 bar.

From around 29 November, cracks were observed in the pavement of the perimeter of Mine 18. (Access to the area was blocked since the beginning of Phase 2; cracks were observed in drone photographs.) The cracks grew over time, forming a concentric pattern around the mine footprint; all cracks were located within the safety radius suggested in Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019) (see Figure 3). Thus DGPS measurements, observations of surface cracks, and drone elevation measurements all indicate a strongly localised deformation process, with large displacements above Mine 18 and very small deformations in distances of only 100 m.

At noon on 10 December, the sinkhole formed. Video from a remotely-operated camera and drones show a strong upwelling of water in the lagoon, within the footprint of Mine 18, and the disappearance of tress and the road. Localised turbulence in the water surface persisted for a few hours, after which the system had settled in a new static state. The centre panel of Figure 3 shows

the estimated outline of the sinkhole at the ground surface. The sinkhole at the bottom of the lagoon was later confirmed by bathymetry, see Figure 4.

The sinkhole formation was not accompanied by large seismic activity. In the aftermath, there were no significant further deformations or pressure variations in the Maceió field.

3 Sinkhole Formation by Block Sliding in the Overburden

3.1 Mechanism

The basic mechanism of sinkhole formation by block sliding in the overburden is summarised in Figure 5. Consider a rock column of cross-sectional area A and circumference U over a cavity in depth z_D with internal pressure p_{cav} . The weight of the rock column is given by

$$F_G = gz_D A \rho_{rock} \quad (1)$$

with average rock density ρ_{rock} and gravitational acceleration g . It is counteracted by the cavity pressure,

$$F_{cav} = p_{cav} A. \quad (2)$$

In the case at hand, we can assume the internal pressure to be halmostatic, i.e. to be given by a column of brine of density ρ_{br} to the surface. Thus,

$$p_{cav} = gz_D \rho_{br} \quad (3)$$

For stability, the difference has to be compensated by frictional shear resistance along the boundary of the column. The maximum shear force under the effective stress given by horizontal rock stress σ_{hor} and joint fluid pressure is (assuming a uniform friction angle ϕ)

$$F_{shear}^{max} = \int dA \tau_{max} = U \int_0^{z_D} dz \tan \phi [\sigma_h - p_{fl}]. \quad (4)$$

We assume the stress state in the rock mass is determined by the overburden weight and a coefficient of lateral stress λ , i.e.

$$\sigma_{vert} = g \rho_{rock} z, \quad \sigma_{hor} = \lambda \sigma_{vert}. \quad (5)$$

The fluid pressure is likewise determined by a fluid column to the surface and a possible additional contribution p_a ,

$$p_{fl} = g \rho_{fl} z + p_a. \quad (6)$$

The stability condition now becomes $F_G - F_{cav} < F_{shear}^{max}$. Combining the Equations 1 to 6, we can recast the condition as a condition on area and circumference of the rock column,

$$\frac{A}{U} \leq \left(\frac{A}{U} \right)_{crit} = \frac{1}{2} \tan \phi \frac{z_D (\lambda \rho_{rock} - \rho_{fl}) - 2 \frac{p_a}{g}}{\rho_{rock} - \rho_{br}}. \quad (7)$$

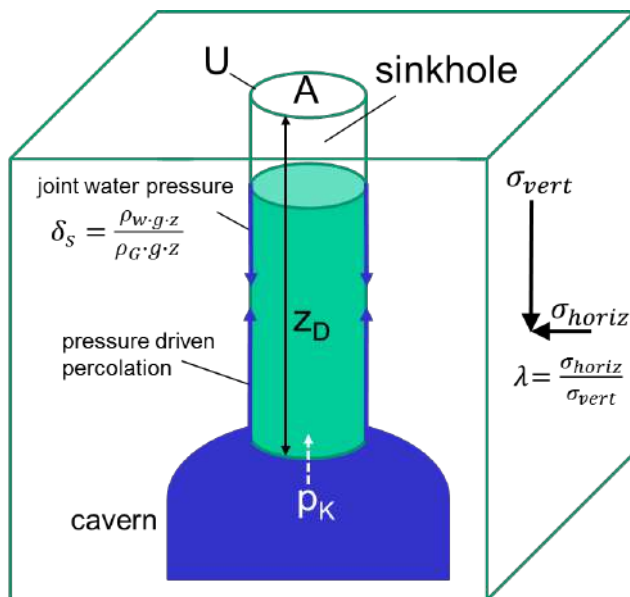


Figure 5: Load limit equilibrium analysis of block sliding in the overburden after Minkley et al. (1990). A rock column over a cavern can form a sinkhole if the weight exceeds the force from cavern pressure and the shear resistance along the circumference.

For a circular column, $A/U = D/4$. In other words, if the cavern diameter exceed the critical radius, sinkhole formation cannot be excluded. The critical diameter grows with z_D , so generally, deeper caverns are safer. However, the critical diameter sensitively depends on the lateral stress and the joint fluid pressure.

Remarks:

- The sliding of large rock blocks is not associated with significant bulking. Hence, sinkholes can form by this mechanism even over deep caverns.
- The lateral stress coefficient is determined by the Poisson ratio of the rock and the tectonic loading. Rock masses above salt deposits are generally decoupled from the tectonic stress field in the basement; however, the lateral stress is still influenced by the local tectonic setting.
- The horizontal stress in a cavern field will be different from the virgin far-field stress. For example, the lateral stress is generally lowered due to extensional strains in the boundary of the field.
- The conceptual model conservatively assumes a rock column that is only supported by residual shear resistance, i.e. without cohesion. This mechanism does not require geological faults to define the sliding rock – the column can be delineated by small-scale tectonic joint that is generically present in sedimentary rock masses, or the rock block can form by progressive fracture processes in the overburden.
- For isotropic horizontal stresses, a circular column is the least stable configuration, which is in accordance with the observation that sinkholes are frequently circular (Bérest 2017). For anisotropic horizontal stresses, the sinkhole shape becomes elliptical.

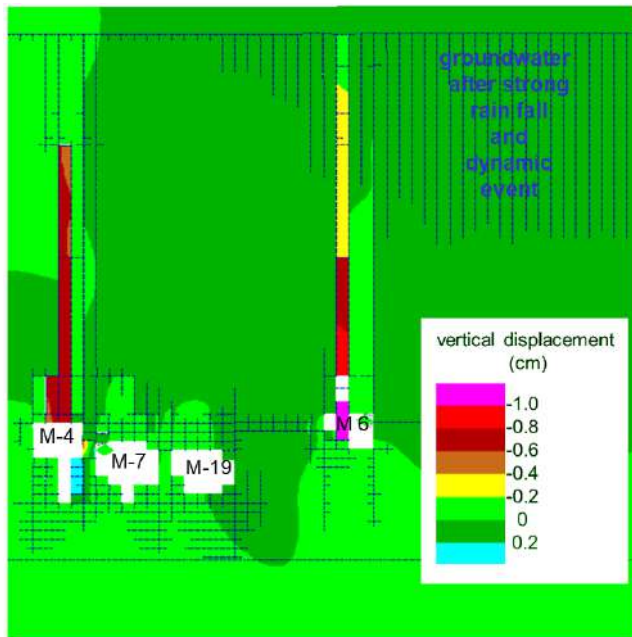


Figure 6: Example of sinkhole formation in discontinuous hydromechanically coupled simulations (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a): After strong rain-fall and a seismic (dynamic) event, ground water has penetrated from the near-surface aquifer deep into the overburden along vertical joints. At the same time, brine from caverns without salt back has percolated upwards; if joint fluid pressure acts on a continuous joint system from cavern to surface, a rock block can start sliding.

- For a tight and properly-abandoned cavern, the interior pressure is equal to the lithostatic stress, such that $F_G - F_{cav} = 0$, and sinkholes cannot form.
- The presence of joint fluids, i.e., the presence of effective stresses, is crucial for sinkhole formation: Without fluid pressure, the critical diameter will be of the order of the cavern depth, i.e., much larger than plausible cavern diameters. However, in the presence of joint fluid, $\lambda \rho_{rock} - \rho_{fl}$ can be quite small, and the critical diameter can become smaller than typical cavern spans.

3.2 Numerical Modelling

The mechanism of sinkhole formation, as discussed in the previous section, involves block sliding with large displacements under the influence of fluid pressure. Thus, it can be analysed numerically in hydromechanically coupled discontinuous simulations (see, e.g., Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) and Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b)). In these models, the overburden is modelled as an assembly of blocks with vertical joints. Fluids can propagate along joint from caverns or aquifers if

- the fluid pressure exceeds the normal stress on the joints (pressure-driven percolation), or
- if the joint has failed in shear or tension, such that the joint is hydraulically open.

Simulations allow to analyse the influence of neighbouring caverns or locally varying rock of fluid conditions.

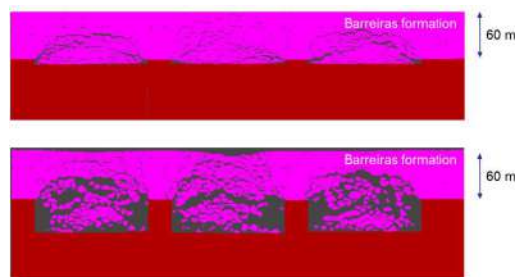
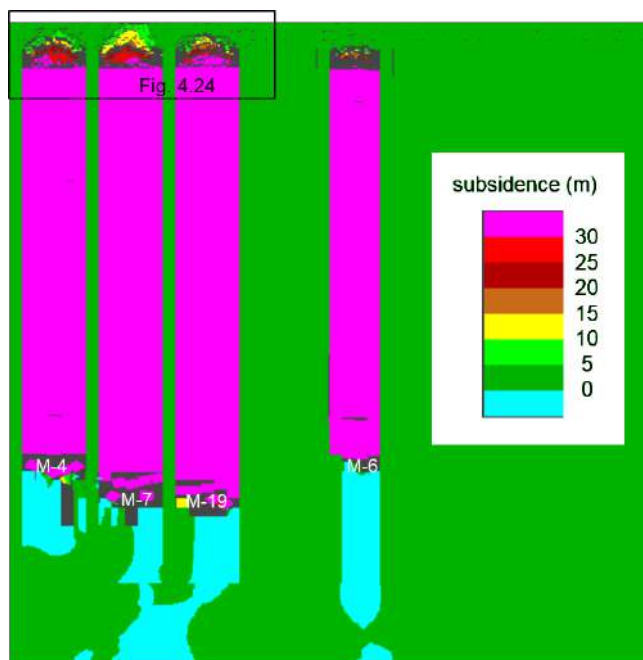


Figure 7: Example of sinkhole formation in discontinuous hydromechanically coupled simulations (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021b): For sufficiently large caverns and low lateral stress, sinkholes can form both in the centre and at the boundary of a cavern field. A soil layer at the surface moderates the shape of the resulting crater without altering the basic mechanism.

Figures 6 and 7 show examples of such simulations. Fluid can predominantly penetrate the joints in the centre of the field, where many caverns with small pillars induce strong deformations in the overburden and, on the other hand, at the edge of the field, where the subsidence contrast between the field and the surroundings create extensional strains that lower the horizontal stress.

In both cases, the model explains the formation of vertical, chimney-like tube in which rock blocks slide down. The inclusion of horizontal bedding planes moderates the sinkhole formation process in time. A soil layer at the surface, which does not itself participate in the block sliding process, changes the shape of the surface crater, but does not fundamentally change the mechanism.

The simulations also analyse dynamic events. Note, however, that in two-dimensional simulations that do not explicitly model the damping effect of the brine in the cavity, dynamic intensity is generically overestimated.

4 Analysis of the Event at Mine 18

We now discuss the event at Mine 18, based on the available data and the process understanding regarding sinkhole formation by block sliding.

4.1 Bulking: Slow Upwards Motion Unlikely

We first contrast block sliding with another sinkhole formation mechanism, which is the successive local fracturing of the overburden, leading to roof falls into the cavity and a slow upwards motion of the void volume (see Figure 8). This process is, in particular, typical for soft overburden; however, it has also contributed to the natural backfilling of some caverns in the Maceió field, such as Mine 05.

The weak, fractured debris from a sequence of smaller fractures and roof falls fills a larger volume than the original rock mass – this phenomenon is known as bulking, captured quantitatively in a bulking factor β , which generally is in the range of 1.1 to 1.3. If caverns are very deep or small, the initial cavity volume will be consumed before the fracture process reaches the surface (“natural backfilling”). Specifically, for a cavern of height H in a depth d , a sinkhole can only form if

$$f \frac{H}{d} > \beta - 1. \quad (8)$$

Here f is a numerical factor encoding the volume ratio of the cavern and its enveloping cylinder geometry ($f = 1$ for a cylindrical, $f = \frac{2}{3}$ for spherical caverns).

For the case of Mine 18, we can estimate $f \simeq 0.23$, depth and height are 786 m and 254 m,

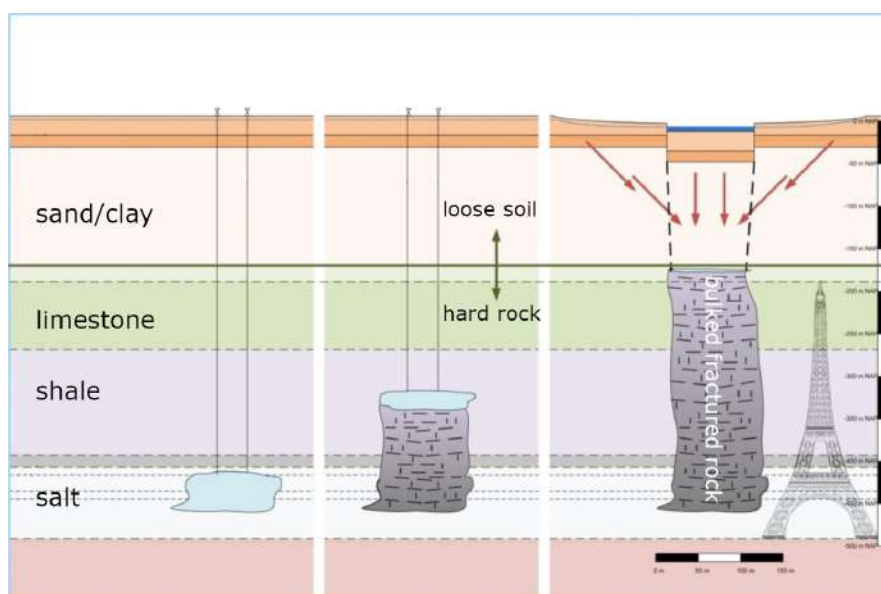


Figure 8: Conceptual model of sinkhole formation over caverns in weak rocks (modified from Royal HaskoningDHV (2013)).

respectively, so Equation (8) requires $\beta < 1.07$, i.e., less than 7 % bulking. We conclude that the sinkhole at Mine 18 was not formed by this process. Note that this agrees with the analysis of WEP (2020), where a bulking factor of $\beta = 1.11$ was assume, based on experience from cavern fields in the Netherlands. (We should also point out that WEP (2020) did assess Mine 20 to be potentially at risk of sinkhole formation by successive roof fracturing.)

Recent bathymetric surveys (Farina et al. 2024) have estimated the volume of the surface crater at approximately $140\,000\text{ m}^3$. This likely underestimates the true volume, because the loose muddy sediments of the lagoon mask the "true" sea floor. In addition, the combined evaluation of bathymetric and InSAR data (Farina et al. 2024) showed that the sinkhole subsidence bowl has a wider circular "rim" with subsidence between 15 mm and 100 mm, likely generated by the deformations of the soft Barreiras formation; inclusion of this wider subsidence region raises the volume to about $230\,000\text{ m}^3$. Note that already the smaller estimate of the volume is larger than the upper component of Mine 18. Even if we conservatively assume that the entire volume of Mine 18, as determined by the sonar survey in August 2023, was filled by the volume in the inner part of the subsidence bowl, we can estimate a bulking factor of approximately 1.04, which is plausible for a block sliding process.

Note that the bulking factor for the debris cone of Mine 05 can be estimated to be around $\beta = 1.17$.

4.2 Analytical Estimates of Stability

We now present analytical estimates of block sliding at Mine 18, following the discussion in Section 3.1.

From the laboratory tests Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2022), the average rock density can be estimated as $\rho_{\text{rock}} = 2.1\text{ t/m}^3$; the cavern roof is at 786 m.

In the vicinity of Mine 18, backfill operations (Mines 04, 07, 17, 19, 27) and leakage from mines in the overburden likely has (partially) replaced the fresh water in the rock mass with brine. Thus, we conservatively assume a fluid density of $\rho_{\text{fl}} = \rho_{\text{br}} = 1.2\text{ t/m}^3$. In addition, the pumping operations during backfilling induce an overpressure in the cavern which will plausibly spread to the surrounding rock mass.

With these inputs, we can rewrite Equation (7) in terms of the critical diameter,

$$\begin{aligned} D_{\text{crit}} &= 4 \left(\frac{A}{U} \right)_{\text{crit}} = 2 \tan \phi \frac{z_D (\lambda \rho_{\text{rock}} - \rho_{\text{fl}}) - 2 \frac{p_a}{g}}{\rho_{\text{rock}} - \rho_{\text{br}}} \\ &= 3668\text{ m} \cdot \tan \phi \left[\lambda - 0.57 - \frac{p_a}{8.25\text{ MPa}} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Figure 9 shows the critical diameter as function of the friction angle for different values of λ and p_a .

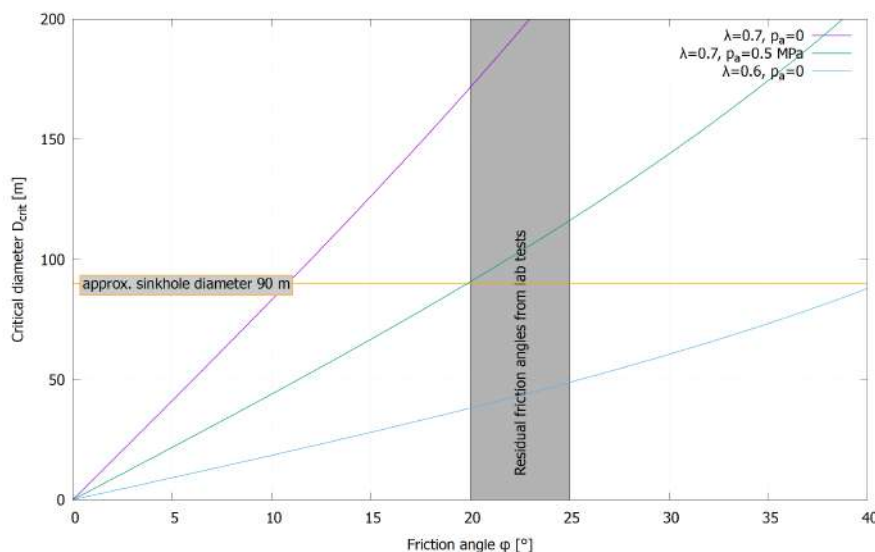


Figure 9: Critical cavern diameter as function of the friction angle for different values of lateral stress coefficient λ and extra pressure p_a .

It is apparent that the result depends very sensitively on these inputs.

In Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023), the lateral stress coefficient was estimated as $\lambda = 0.75$ from measurements on wells PE-04 and TM-03. In Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b), it was found that a lateral stress coefficient of this magnitude is sufficient to prevent sinkhole formation (without overpressures and a hydrostatic rather than halmostatic fluid pressure gradient). However, there is significant scatter, and measurements of the minor horizontal stress σ_h in a depth of about 750 m are consistent with values as low as $\lambda = 0.55$. Additionally, the backfilling operations in the nearby Mines 04, 07 and 19 have likely induced (temporary) overpressures in the mines and, consequently, in the surrounding overburden. (The backfilling procedure uses two wells, which alternate between injecting a sand/brine-mixture and withdrawing brine.)

In a preliminary analysis of the model presented in Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023), the IfG has evaluated the horizontal stress above all caverns and found a significant reduction (see Figure 10). In particular, in the central cluster of caverns, the horizontal stress was generally lowered by more than 40 % compared to the virgin stress state.

The residual friction angles of the overburden rocks determined in Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2022) fall in the range of 20° to 25° (indicated by the box in Figure 9). Together with the sinkhole diameter of approximately 90 m (see Figure 3), one can conclude that for lateral stress coefficients between 0.6 and 0.7 and moderate overpressures of a few tenths of an MPa, the block sliding mechanism can very plausibly explain the observed sinkhole formation.

We should finally note that Mine 05 is located quite close to Mine 18; the upper component of Mine 18, and thus also the sliding rock column, touch the interpolated path of the Mine 05 void

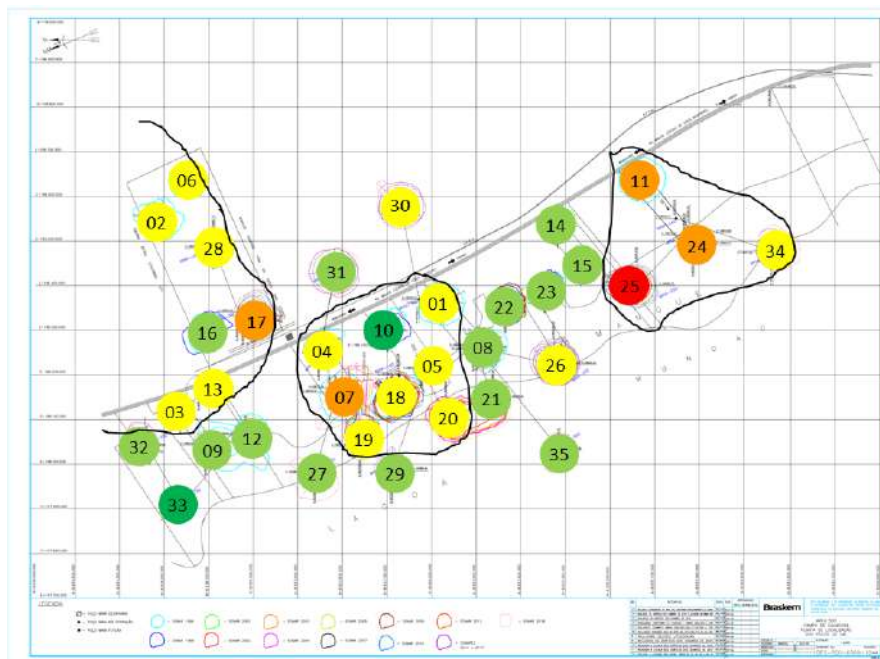


Figure 10: Reduction of horizontal stress in near the roof of the caverns. Colours indicated reduction by less than 30 % (dark green), 30 % to 40 % (light green), 40 % to 50 % (yellow), and more than 50 % (orange, red).

space which likely contains weak fractured rock debris. Thus, both the horizontal stress and the shear resistance are likely reduced compared to the case of intact rock mass surrounding Mine 18.

Note also that Mines 18 and 05 may have combined during the sinkhole process, e.g. by debris from Mine 05 moving into Mine 18 before the rock piston formed above a common cavity. The critical diameter according to Equation 9 becomes smaller if the cavern depth z_D decreases, so the evaluation presented above is conservative in this respect.

4.3 Surface Deformation

The sinkhole formation process was accompanied by large surface deformations – subsidence of almost two metres in less than two weeks at the *Mine 20* DGPS station, which is located near the edge of the sinkhole. Note that subsidence is continuously measured by DGPS stations, in regular intervals by InSAR, and manually by aerial drones. Since both satellite and drone measurements require solid surfaces (building, paved roads) and Mine 18 is mostly located under an area that has been submerged due to the general subsidence in the field, the core of the subsidence bowl is not covered by measurements.

Figure 11 shows the evolution of the subsidence along a profile following the paved road connecting the wellheads of Mine 20 and Mine 07. The subsidence is strongly localised to the mine footprint and the safety zone as defined by Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019); after the event, the

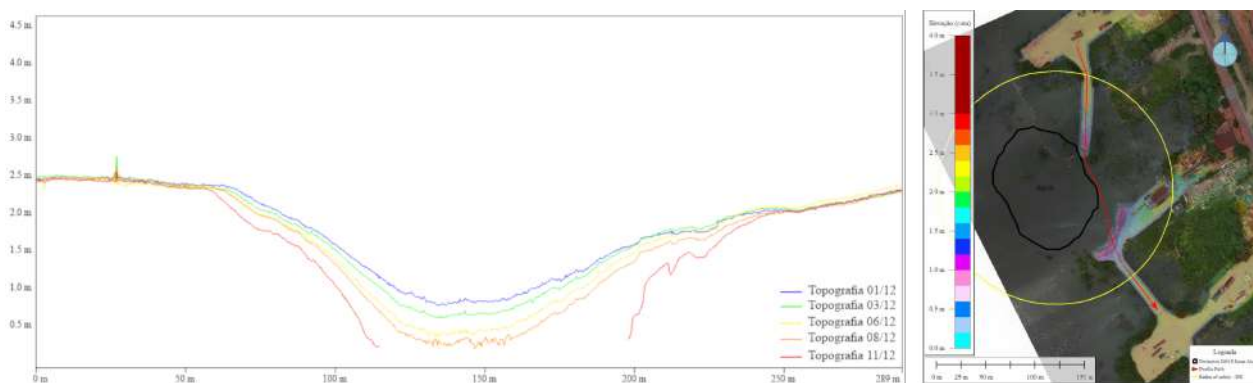


Figure 11: Subsidence profiles along the path marked in red, following the paved road. Note that the centre of subsidence is submerged, such that subsidence cannot be measured by aerial drones. (Source: Braskem)

road is destroyed in the central part of the profile, so that there is no data from approximately 120 m to 200 m. Even after the event, the outside region shows no significant deformation. Hence, the data clearly indicates that the sinkhole was generated by a localised, approximately circular rock column (a "piston" according to the classification of Bérest (2017)).

Hence, the pattern of surface deformation supports the mechanism of sinkhole formation by block sliding.

The surface crater is displaced slightly to the southeast (see Figure 3), which may be due to slightly inclined fractures in the overburden, to the unconventional two-component shape of Mine 18, or to an effect of the adjacent Mine 05 debris cone. (Note, however, that a displacement of 20 m corresponds, for a depth of 786 m, to an angle of only 1.5° .) Additionally, the Barreiras formation at the surface consists of consolidated sand, i.e., a soil, and the turbulent motion of lagoon and brine may have induced shallower slopes for the actual surface crater.

4.4 Seismic Activity

The seismic activity, as presented in Section 2, is consistent with the proposed mechanism: Individual seismic events originate from brittle failures in the overburden, associated with ongoing stress redistributions. Such fracture events are localised to small-tectonic joints rather than geological faults, and the intensity depends on strength and stiffness of the jointed overburden rock mass. Hence the energy release and magnitude is comparatively small.

The most plausible interpretation is that the rock mass above Mine 18 was at or near close to the limit of stability before November 2023. With the start of the first phase of seismic activity, the rock piston began to form, i.e., the rock bridges that still connected the piston to the surrounding rock began to fracture. The stress redistributions after each fracture event moderate this process in time; with the start of the second Phase (20 November), piston formation was accelerated, as indicated by

the upwards motion of the seismic events, together with the first indications of surface deformations. The largest increase in subsidence occurred from 28 November to 01 December, during which time the seismic activity moved up above 300 m, i.e., out of the stronger and stiffer Poção and Ibura formations into the Marituba 2 and Mosqueiro strata.

The string of almost simultaneous events ranging over the entire depth on 09 December (and a similar cluster on 04 December) are plausibly interpreted as fractures along the entire, almost fully-formed rock piston, i.e., as events that break some of the last remaining rock bridges.

The actual sliding process of a fully-formed piston is damped by the brine in the cavity, and it does not involve many additional fracture processes. Hence, it is not necessarily associated with strong seismicity, as in the case of Mine 18. This is similar to the case of the Matarandiba sinkhole (Minkley et al. 2022), where no seismicity was recorded by the regional seismic network. (Note, however, that the seismic monitoring in Matarandiba was much less sensitive than in Maceió, so this is only a rough analogy.) On the other hand, sometimes seismicity has been observed in conjunction with sinkhole formation, e.g for the sinkholes Solvayhall (1969) and Neustassfurt (1975) (Neunhöfer 1997) over conventional mines or the shallow caverns of Ocnele Mari or Cerville-Bouissoncourt (Jousset et al. 2012), where magnitudes of up to 1.5 were recorded. For the deep Oxy3 cavern (Napoleonville), (Nayak et al. 2014) report magnitudes up to $M_W = 2$. In these cases, the underlying mechanisms differ from the clear piston-sliding apparent in Maceió.

The localisation of events (see Figure 2) is consistent with fractures above Mine 18, but does not clearly show a "chimney" delineating a piston. However, this is likely at least partially related to the uncertainty in the position, which is larger in the East-West than in the North-South direction (due to sensor placement), apparent in the elliptical shape of the event envelope.

Between 26 and 29 November, a few events were recorded with magnitudes above 1. These events were located outside the main cluster, several hundred metres to the West and Northwest, in depths of 300 m to 500 m. Within the uncertainty of events and fault localisation, these events are consistent with the positions of the Lake and TMS faults. Thus, the most likely interpretation is that these events were slip events on these faults, triggered by the reduction in normal stress due to the subsidence over Mine 18. Thus, they are not directly related to the sinkhole formation process (but to the preceding deformations). The underlying mechanism is similar to the 2018 tremor with $M = 2.4$ (ACCMS 2020; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a) (see Figure 12). (Note that these events may also represent slip events on horizontal bedding planes such as the top of the Poção formation; if focal mechanisms can be determined, the slip direction may be inferred.)

We should note that events like these are not related to collapse events, but to the stress redistributions due to subsidence processes in the field. As such, similar events may occur again. The stabilisation of the field by backfilling and plugging of cavities reduces the deformation rates and

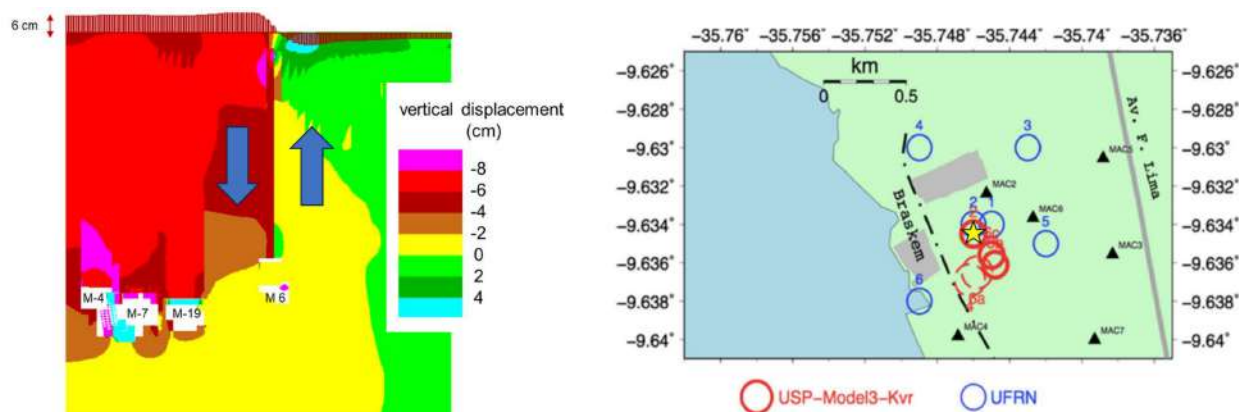


Figure 12: Left: Discontinuous hydromechanically coupled simulation of dynamic joint slip event above the boundary of the cavern field (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a). Colours and profile show displacement after 1.6 s of dynamical simulation time; the overburden over the cavern field moves down, the outside region rebounds upwards. Right: Epicentres of the best-recorded earthquakes. Preliminary epicentres (UFRN/CPRM) in blue, Reanalysis by ACCMS (2020) in red. Yellow star: Epicentre of the main Maceió tremor magnitude ML of 03 March 2018 located via event of 06 February 2019, considered as aftershock (modified from ACCMS (2020)).

hence the risk of future events. The simulations in Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) indicate that the magnitudes are most likely limited to $M \leq 2.5$ due to the low stress drop and small displacements in the overburden.

4.5 Summary

Taken together, the analysis presented in this Section provides a rather consistent interpretation of the events of November and December 2023: A sinkhole has formed over Mine 18 by block sliding in the overburden.

As discussed above, this mechanism is

- consistent with the rock-mechanical properties of the overburden rocks,
- geomechanically plausible from data on the stress state and fluid pressure in the rock mass,
- consistent with the observed seismic activity and surface deformation,
- with the inferred low bulking of about 4 %, and
- corresponds well with the discontinuous hydromechanically coupled numerical analyses presented in Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) and Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b).

Under this interpretation, the seismic activity starting from 06 November indicates the formation of the rock column (the "piston"), which induces localised surface deformations once the fractures

had proceeded into the weaker Marituba 2 and Mosqueiro formations. In the actual sinkhole formation, the fully formed piston slid down into the cavity of Mine 18.

The observed variations in the pressures of plugged caverns may be related to hydraulic connections along the shale layers, or to load transfer in the overburden due to a loss of stress arching over Mine 18.

A sinkhole formation process involving sequential roof falls and a gradual upwards motion of the cavity seems unlikely due to the pattern of seismic activity and the low bulking effect. The debris cone of Mine 05 possibly contributed to the lower shear strength and horizontal stress in the rock mass.

We should end this Section with some remarks:

- Mine 18 is now naturally backfilled. Due to the dynamic character of the formation process, it is unlikely that there are significant cavities remaining in the original void space.
- The microseismic network has given a warning five weeks before the sinkhole formed. Distinctive surface deformations were observed about two weeks before; note, however, that surface monitoring would not be sensitive to sinkholes in mines under the lagoon (such as Mines 20/21).
- The sinkhole did not involve a pillar collapse. In the next Section, we will discuss possible indirect influences on other caverns in the Maceió field.

5 Possible Effects on Other Cavities

5.1 Chain-Reaction Collapses?

A number of intense rock bursts have occurred in conventional salt and potash mining (see, e.g., Minkley et al. 2016). Hence, one might ask whether a large-scale collapse is possible in the Maceió field. We do not think so.

First, we observe that sinkhole formation at Mine 18 has not immediately induced additional failure events in neighbouring caverns.

Second, the mechanism of rock bursts in conventional mining is significantly different from the sinkhole formation process. Recall that conventional rock bursts start with the brittle failure of a pillar, which transfers the overburden load to the surrounding pillars, which then also break, resulting in a chain reaction of pillar collapses that only ends when larger barrier pillars are reached. The mines are open, i.e., filled with air, so that there is no confining pressure acting on the pillars, and no damping of the dropping overburden. With sinkholes in a cavern field, the situation is quite different: The caverns are brine-filled, so that there always is a confining stress acting on the cavern walls (unless the salt rocks is sufficiently damaged such that the fluid has infiltrated a large part of the pillar), and the motion of falling rocks is damped. Additionally, a sinkhole represents a failure of the overburden, not a pillar collapse, so there is no load transfer to surrounding pillars which could trigger an escalating collapse sequence.

Third, we have specifically analysed the dynamic stability of the Maceió field in Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b) and Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) and found that even unrealistically strong dynamical excitation (instantaneous pillar removals) did not induce failures of surrounding pillars.

Hence, our analyses consistently indicate the stability of the Maceió cavern field against dynamical chain-reaction pillar collapses.

Note that this does not rule out the possibility that the sinkhole formation at Mine 18 indirectly influences the surrounding caverns, e.g., by changing the stress state or the pore pressure in the overburden.

5.2 Geomechanical Changes in the Overburden

As discussed above, sinkhole formation is quite sensitive to the stress state and the joint fluid pressure in the overburden.

The formation of the sinkhole at Mine 18 has very likely modified the geomechanical state locally and possibly regionally:

- The formation and sliding process of the rock column presumably has led to a local damage zone along the surface of the "chimney". The damaged area is weaker and less stiff than the intact rock mass, so that the horizontal stress in the surrounding overburden is reduced.
- Due to the large deformations induced by the central cavern cluster, the overburden was already close to the yield boundary. The stress redistributions associated with the sinkhole formation process have likely induced additional plastic deformations, i.e., local fractures, which can act as fluid pathways. Hence, the brine from the cavities, which is under halmo-static pressure, can more easily penetrate the overburden rock mass.
- In addition, dynamical overpressures during the sliding process have likely caused hydraulic fractures in the vicinity, again introducing brine at higher pressures into the overburden.
- Finally, some of the more intense seismic events recorded in November and December have been interpreted as slip events on regional faults or horizontal bedding planes. While the previous points mostly affect the local area around Mine 18, this process can potentially alter the stress state in a larger area.

Hence, the formation of the sinkhole at Mine M18 has potentially reduced the horizontal stress, and increased the fluid pressure (directly by injecting higher-pressure fluid and indirectly by replacing freshwater with brine). As a result, other caverns may now be at a higher risk of developing a sinkhole, compared to the situation before November 2023. In this respect, nearby, non-backfilled caverns are of highest concern, in particular Mine 20/21.

5.3 Preliminary Numerical Analysis

Sinkhole formation is fundamentally a discontinuous process that crucially depends on joint fluid pressure. Hence, numerical analyses need hydromechanically coupled discontinuous methods to gain an understanding of the underlying mechanism.

However, such modelling is numerically demanding and time-consuming. To obtain a faster preliminary assessment of the effects of the sinkhole formation on the surrounding cavities, we leverage the existing calibrated continuous model of the cavern field (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2023) to create a strip model focusing on the central cluster around Mine 18. Discontinuous modelling of the area is currently ongoing.

5.3.1 Modelling Approach

The strip model discussed here is based on Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023), where the numerical code, stratigraphy, constitutive models and parameters, and the modelling sequence are

IfG – Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, Germany, +49 341 33600-0, www.ifg-leipzig.de

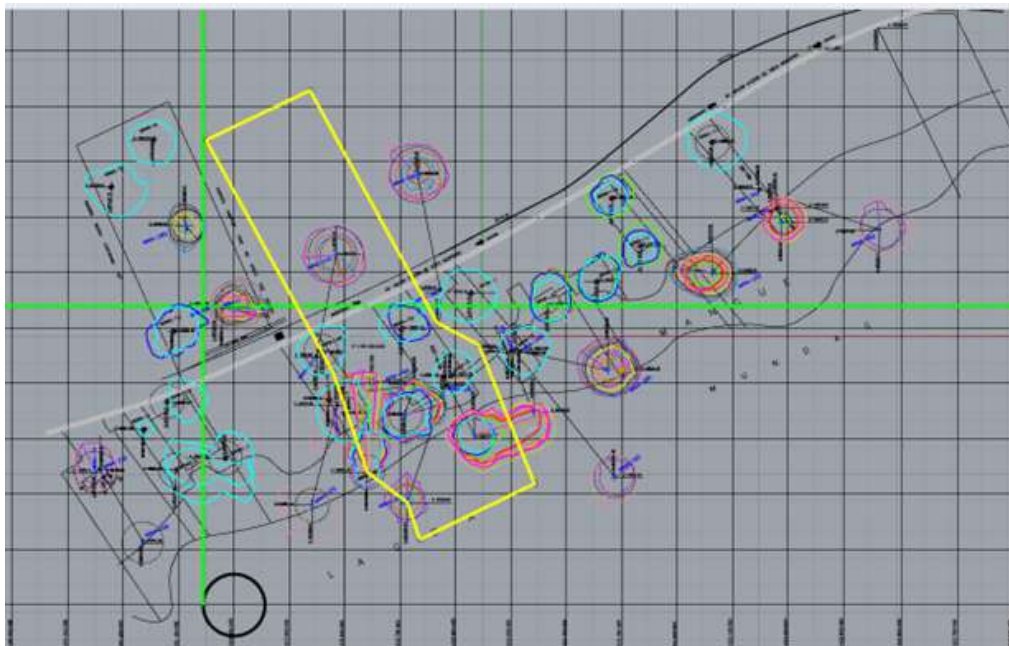


Figure 13: Location of the strip model considered for the analysis of the sinkhole. In the geomechanical model, the cavern positions have been adapted such that the model is rectangular, in good approximation of the field situation.

described in detail. Here we briefly describe the main aspects, as far as they are relevant for the problem at hand.

To focus the numerical effort on the central cavern cluster, we have constructed a strip model along the section outlined in Figure 13, with Mine M18 in the centre. The model uses the approximate symmetries of the field: The orientation of the strip is orthogonal to the main field axis. The caverns are included in the model with appropriate symmetry properties: By reflections at the model boundaries, Mine 31 is related to Mines 30 and 17; Mine 10 to Mine 01; Mine 05 to Mine 08; Mines 20/21, 04, 07, 19, and 21 without symmetry partners are included as half-caverns cut along their centre line.

The overburden is modelled with a modified ubiquitous-joints-model comprising four vertical implicit weakness planes at angles of 45° . These weakness planes provide an effective description of the degradation of the rock mass as compared to the intact rock. The shear properties were determined in a calibration by adapting the subsidence bowl to the observations (InSAR and DGPS) in the field. The intact rock properties were derived from laboratory tests.

The strip model represents a section through the most intensely mined part of the field, and thus it would significantly overestimates the subsidence in the centre when the calibrated shear properties are used. Hence, we assumed an additional cohesion on the ubiquitous joints of 1 MPa, reducing to a residual value of 0.1 MPa once the implicit joints have failed. All other model parameters are

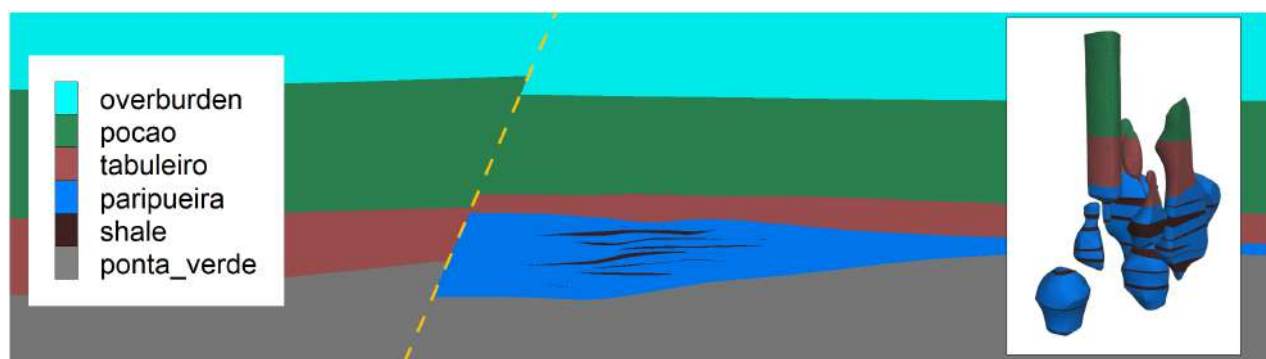


Figure 14: Stratigraphy of the model; inset a close-up of the stratigraphic composition of the caverns. The strata above Poção (Barreiras to Mosqueiro) are combined into a layer Overburden. The Paripueira salt stratum contains a number of shale layers that are intersected by the caverns. Most caverns in the model have migrated into the overburden (Tabuleiro dos Martins or Poção formation).

kept unchanged. With this choice, we obtain a subsidence of about 1.9 m in the centre for model year 2021, which is a plausible value.

The sinkhole is explicitly included into the model by reinitialising the rock stress. The new stress state in the vertical cylinder connecting Mine 18 and the surface, which represents the estimated sinkhole outline, is calculated by conservatively assuming a density of 1.5 t/m^3 and a lateral stress coefficient of 0.5. Additionally, the mechanical parameters are modified: Cohesion is to zero, and the elastic parameters are assumed as $E = 30 \text{ MPa}$ and $\nu = 0.15$. Finally, a halmostatic pore pressure is applied throughout the sinkhole cylinder. The rock mass in the cylinder will equilibrate with the surroundings, leading to subsidence in the sinkhole and a reduced horizontal stress in the vicinity.

To receive results in reasonable times, the simulations are purely mechanical, i.e., we do not explicitly model fluid propagation. We indirectly consider brine migration from the cavities into the overburden according to the following algorithm:

- As soon as the brine inside the caverns is in contact with the overburden (i.e., caverns migrate upwards due to roof collapse), a zone-searching loop is looking for the zones in the cavern boundary which have fractured, i.e., where the implicit ubiquitous joints have failed. These zones are marked.
- As soon as all the failed zones along the cavern contour have been found, another searching process looks for failed zones adjacent to marked zones.
- The second step is repeated until no further failed zones are found in the model which are connected to any marked zones.

The marked zones are assumed to be brine-filled from the cavities (or the sinkhole cylinder); thus, they are assigned a halmostatic pore pressure and residual ubiquitous-joint cohesion. The algorithm

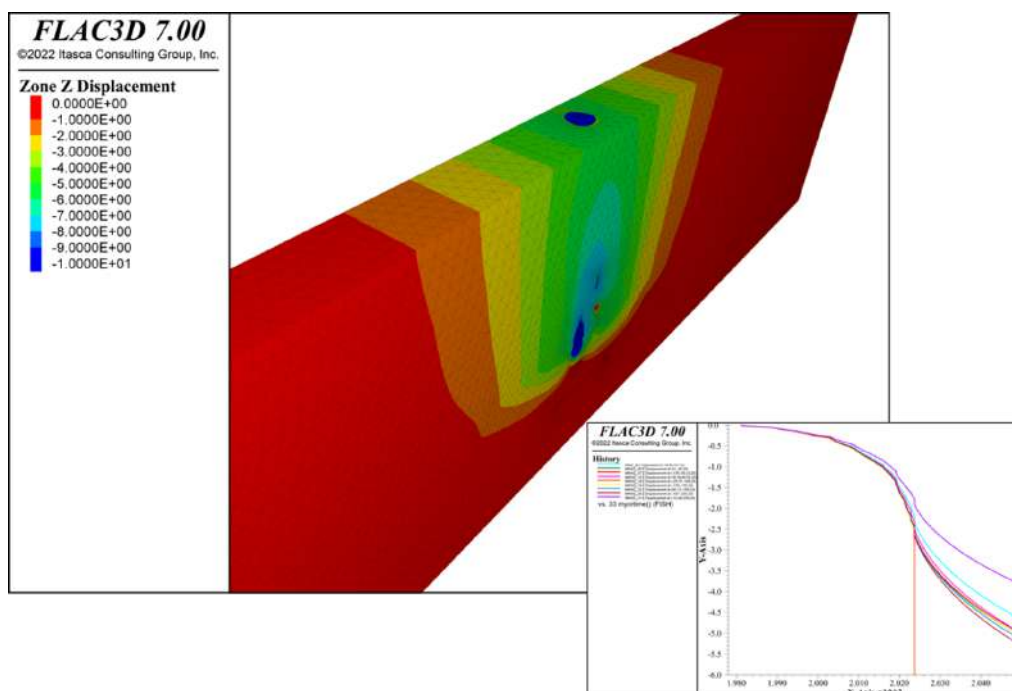


Figure 15: Vertical displacement in the model in December 2023. The localised sinkhole is superimposed on the continuous subsidence bowl. Bottom right shows vertical displacement at surface points above the caverns, with sinkhole formation visible as vertical line. The subsidence rates over the other continue to decrease, similar to the full-field model (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2023).

is repeated regularly to update the list of brine-influenced zones following the deformation process in the overburden.

5.3.2 Results

In Figure 15, we show the vertical displacement in the model, after sinkhole formation. The sinkhole displacement is sharply localised and superimposed on the smooth subsidence trough created by cavern convergence. In the continuous model, sinkhole formation does not lead to instabilities at other locations; rather, surface subsidence over the remaining caverns decelerates due to the backfill measures implemented until 2023. (Note that we did not consider specific abandonment scenarios; no further backfilling or pressurisation measures were implemented after 2023.)

On the other hand, the pore pressure in the model changes, as visible in Figures 16 and 17: The plots show the pore pressure immediately before and after sinkhole formation for a central section through the model (including Mines 18 and 31) and the southeastern boundary (intersecting Mine 20). In particular, new damaged zones appear at the top of the Poção formation. We should also point out the shape of the brine-infiltrated region above Mine 20, where vertical structures formed. Due to its position at the edge of the cavern field, the horizontal stress above Mine 20 is lowered due to the extensional strains from the overburden deformation induced by the cavern cluster.

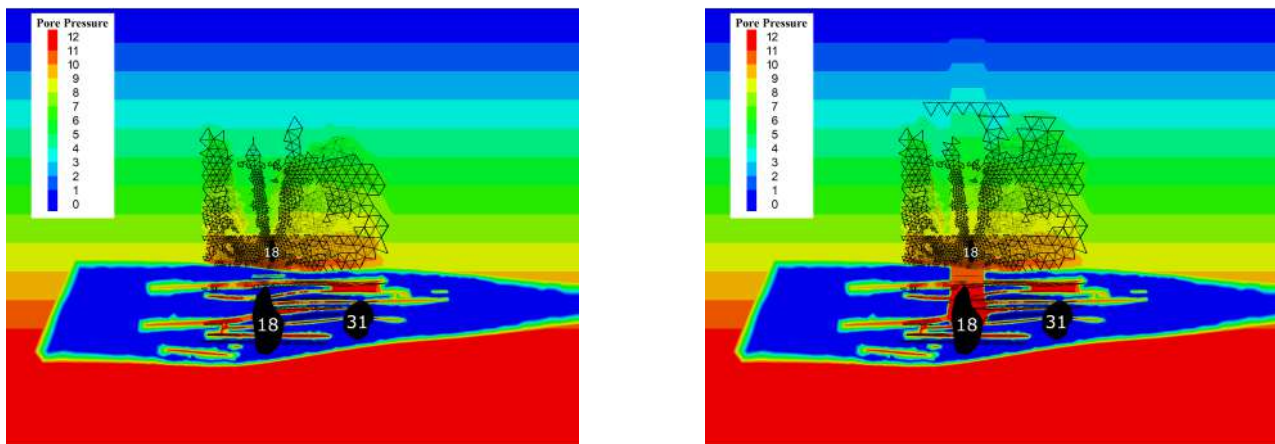


Figure 16: Pore pressure in the strip model (in MPa): Section along the centre of the model through Mines 18 and 31. Visible zone outlines indicate brine-influenced region before (left) and immediately after sinkhole formation. No pore pressure is applied in the salt.

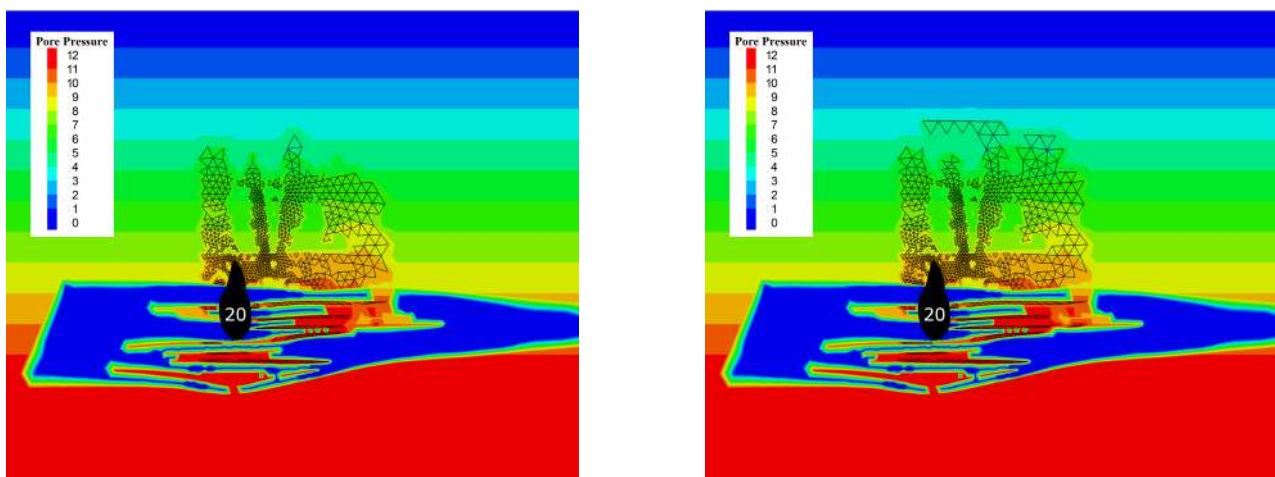


Figure 17: Pore pressure in the strip model (in MPa): Southeastern boundary of the model with Mine 20. Visible zone outlines indicate brine-influenced region before (left) and after (right) sinkhole formation.

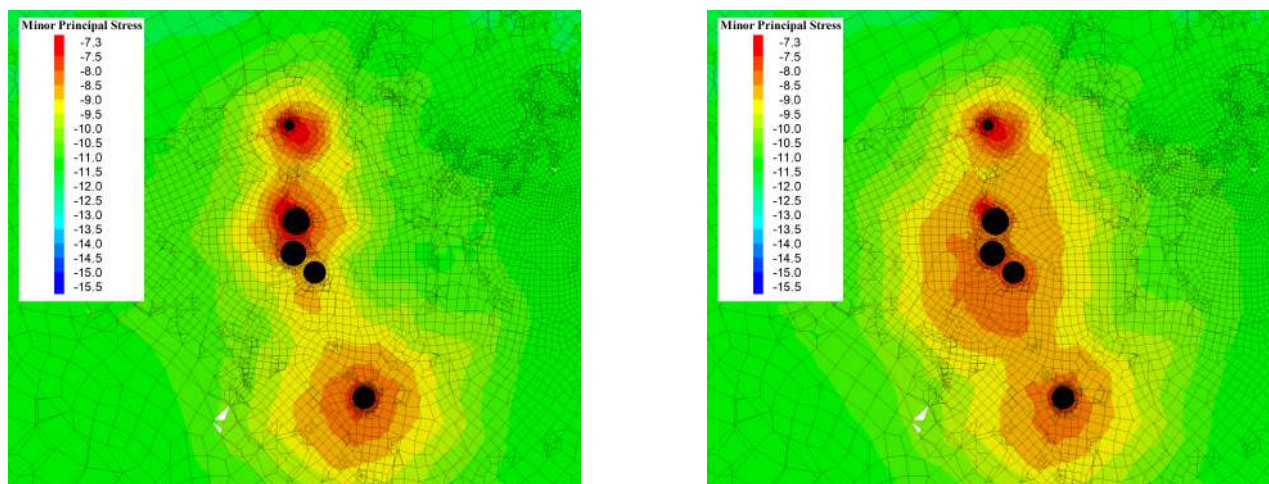


Figure 18: Minor principal stress in the full-field model before (left) and after (right) the sinkhole. Horizontal section in a depth of 750 m, North up. Visible caverns (from top to bottom) M03, M07, M18, M05, M25.

The strip model intersects the Lake Fault west of the cavern field (see Figure 14). In a model variation, we have included the fault as an interface with a friction angle of 30° and no cohesions. Appendix 3-2 shows the mechanical state of the interface. Clearly, sinkhole formation leads to localised failure on the fault, consistent with the observed seismic events located west of the central cavern cluster.

5.3.3 Field Model

To analyse the changes in the stress state in the entire cavern field, the sinkhole was included in the full model of Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023) in the same way as described above. (Note that the zone searching algorithm performed in the strip model is computationally expensive and significantly increases the runtime, so it is not feasible for field-scale model given the scope of this Memo.)

Figure 18 shows the (horizontal) minor principal stress immediately before and after the sinkhole has formed. The stress relaxation from the formation process has reduced the horizontal stress in a significant region, in particular in the central cluster.

The stress reduction above a cavern can be evaluated along a line from the roof to the surface, taking a suitable average to smoothen out the scatter between neighbouring zones. Figure 19 shows the corresponding curves for Mines 04, 07, 19, 20, 29, and 31. Stress is reduced by up to 1.5 MPa; the values are generally highest in the Poço formation and significantly lower in the overburden and the Tabuleiro dos Martins shale. For most caverns, the stress in the immediate cavern roof area is not significantly reduced or even slightly elevated. In contrast, for Mine 20, the stress is reduced by about 1.7 MPa, and the reduction persists down to the cavern.

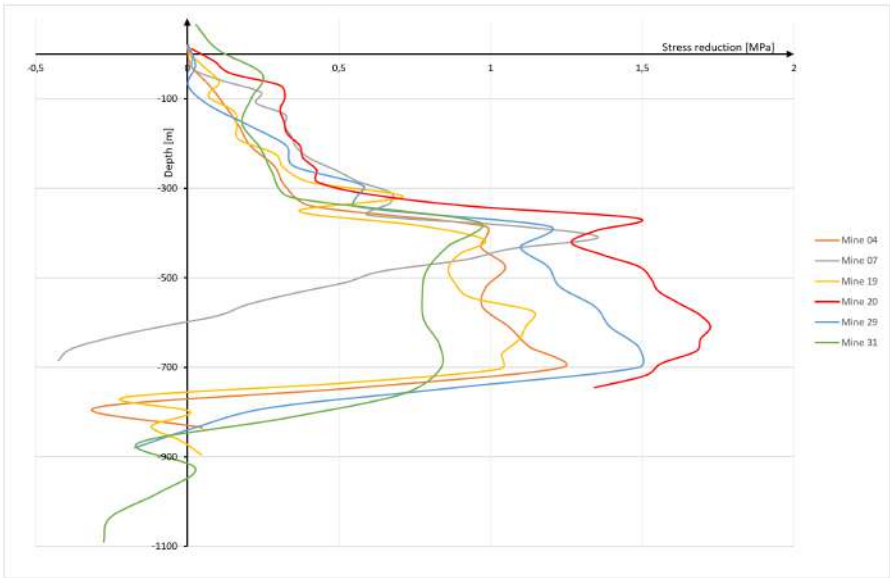


Figure 19: Reduction of minor principal stress above Mines 04, 07, 19, 20, 29, and 31.

Table 1: Changes in interior pressure in plugged caverns versus distance to Mine 18.

Mine	Distance to M18 m	Pressure change MPa
M10	160	0.61
M01	250	0.47
M31	320	0.16
M35	400	0.16
M13	430	0.18
M30	440	0.14
M32	570	0.09

The plugged caverns are included in the model as a stiff fluid (with bulk modulus $K = 2.5$ GPa). The interior pressure reacts to the stress changes in the overburden, as summarised in Table 1. The pressure change is in the range of 0.1 MPa to 0.6 MPa, and shows a clear inverse relation with the distance from Mine 18. The computed values are higher than the observed pressure changes 2; however, in the model, sinkhole formation was simulated as an instantaneous process, while in situ, it lasted for several weeks, so the elastic stress redistribution is likely overestimated. Hence, the model gives a plausible reproduction of the system behaviour in this regard.

6 Conclusions and Recommendations

In this technical note, we have presented our first assessment of the sinkhole formation process at Mine 18 in the Maceió cavern field, based on the available data and preliminary numerical simulations.

The most likely interpretation is that a sinkhole has formed by block sliding in the overburden. This mechanism is geomechanically plausible regarding the rock-mechanical properties of the overburden rocks, the stress state, and the fluid pressure. It is consistent with the pattern of seismic activity and of surface deformation. Finally, it is in good agreement with previous discontinuous numerical investigations (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021b).

It is likely that all relevant cavity space in Mine 18 has been filled. The IfG expects no significant further deformations above Mine 18. It is likely not efficient to try to localise remaining void spaces; cross-well seismic analyses may be able to confirm the filling of the cavity. We conservatively recommend to keep the safety radius around Mine 18 in place.

The microseismic network has proven to be a very valuable tool to provide advance warning before the sinkhole and to monitor the fracture processes in the overburden. The characteristic pattern of surface deformations has strengthened the interpretation of the observations even before sinkhole formation; note, however, that surface deformations would not be observable for cavities under the lagoon.

We recommend to continue the monitoring programme, with close attention to the central cluster of caverns.

The formation of the sinkhole is a strongly localised process; it does not involve pillar collapse, and it is not expected to lead to domino-effect cavern collapses. Nevertheless, the process has changed the stress state and the fluid pressure in the overburden locally, and possibly regionally. Thus, the susceptibility of other caverns to sinkhole formation has likely increased. Preliminary simulations show a decrease of horizontal stress and an increase of pore pressure above other caverns, most notably above Mine 20/21. It is possible that potential future sinkhole events will have a shorter warning time between first seismic events and the sinkhole formation proper. Discontinuous hydromechanically coupled simulations to reproduce the sinkhole formation and to better assess the future evolution are currently ongoing.

The backfilled mines in the vicinity have been stable. Thus, the main goal of backfilling has been reached. On the other hand, it is possible that the backfilling activities contributed to the increased fluid pressure in the overburden by replacing fresh water with brine and by introducing overpressures during backfill injection. It is advisable to monitor the cavern pressure during the backfill process and to minimise the overpressures, e.g., by controlling the withdrawal rate.

Due to the localised nature of the process, the sinkhole formation effects on the outer regions of subsidence bowl is plausibly small. We should point out that the sinkhole did not harm any people and caused only minor property damage.

The safety radii and the seismic warning system indicate that potential future sinkholes present a manageable risk. Nevertheless, backfilling represents the safest way to rule out further events. This also applies to the cavities that are currently in the "monitoring" group. We recommend to consider the results of the ongoing modelling to determine the backfill priorities. In the meantime, we recommend to continue to current backfilling activities (Mines 25 and 27).

References

- ACCMS (2020). *Analysis Report of the possible causes of land instabilities in Pinheiro, Mutange and Bebedouro districts, Maceió (AL)*. Tech. rep. Marcelo Assumpção et al.
- Bérest, P. (2017). „Cases, causes and classifications of craters above salt caverns“. In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 100, pp. 318–329. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2017.10.025.
- Brandt Meio Ambiente Ltd. (2021). *Closing Plan of Mining Fronts 05, 06, 08, 14, 24 D*. Tech. rep. Nova Lima, Minas Gerais, Brazil, October 2021. Brandt Meio Ambiente Ltda.
- Farina, P. and A. Ciampalini (2024). *Calculation of the subsidence volume resulting from the event occurred in the period 20 November – 10 December 2023*. Tech. rep. Geoapp.
- Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019). *Expert Judgement Cavern Field Maceió: Recommendations*. Report B IfG 41a/2019. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2020). *Cavern Field Maceió: Expert Judgement System Stability*. Report B IfG 41e/2019. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2021a). *Cavern Field Maceió: 2D Discontinuous Models and Geomechanical Process Understanding*. Report B IfG 41b/2019. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2021b). *Cavern Field Maceió: 3D Discontinuous Modelling and System Stability*. Report B IfG 41g/2019. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2021c). *Cavern Field Maceió: Analysis of Subsidence and Remediation Measures*. Report B IfG 41c/2019. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2021d). *Cavern Field Maceió: Memo Regarding Safe Cavern Abandonment*. Report B IfG 41d/2019. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2021e). *Cavern Field Maceió: Recommendations Regarding Backfill of Additional Caverns*. Report B IfG 22a/2021. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2022). *Rock Mechanical Investigations of the Salt Formation and the Overburden of the Braskem Cavern Field Maceió – Test Results and Parameter Evaluation –*. Report B IfG 22b/2021. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
 - (2023). *Cavern Field Maceió: Modelling and Assessment of Current State and Stabilisation Measures and Their Future Effects*. Report B IfG 22c/2021. Leipzig, Germany: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- Jousset, P. and J. Rohmer (2012). „Evidence for remotely triggered microearthquakes during salt cavern collapse“. In: *Geophysical Journal International* 191.1, pp. 207–223. ISSN: 0956-540X. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2012.05598.x. eprint: <https://academic.oup.com/gji/article-pdf/191/1/207/5893839/191-1-207.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05598.x>.

- Minkley, W. and U. Groß (1990). „Sliding of blocks in the top rock, a model for rockburst of the regional type“. In: *Gerlands Beiträge Geophysik* 99.5, pp. 487–491.
- Minkley, W., J. Mühlbauer and C. Lüdeling (2016). „Dimensioning Principles in Potash and Salt: Stability and Integrity“. In: *Rock Mechanics and Rock Engineering* 49.11, pp. 4537–4555. ISSN: 1434-453X. DOI: 10.1007/s00603-016-1086-x. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1086-x>.
- Minkley, W., C. Lüdeling and A. Taghichian (2022). „Mechanism for the formation of sinkholes above deep salt caverns“. In: *Mechanical Behavior of Salt X*. Ed. by J. de Bresser, M. Drury, P. Fokker, M. Gazzani, S. Hangx, A. Niemeijer and C. Spiers. Leiden: CRC Press/Balkema. ISBN: 9781032282206. DOI: 10.1201/9781003295808.
- Nayak, A. and D. S. Dreger (2014). „Moment Tensor Inversion of Seismic Events Associated with the Sinkhole at Napoleonville Salt Dome, Louisiana“. In: *Bulletin of the Seismological Society of America* 104.4, pp. 1763–1776. ISSN: 0037-1106. DOI: 10.1785/0120130260. eprint: <https://pubs.geoscienceworld.org/bssa/article-pdf/104/4/1763/2674106/1763.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1785/0120130260>.
- Neunhöfer, H. (1997). „Überwachung nichttektonischer Erderschütterungen in Mittel-/Ostdeutschland mit lokalen seismischen Stationen“. In: *Zur Geschichte der Geophysik in Deutschland. Jubiläumsschrift zur 75jährigen Wiederkehr der Gründung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*. Ed. by H. Neunhöfer, M. Böngen, A. Junge and J. Schweitzer.
- Royal HaskoningDHV (2013). *Milieu-effectrapport Pilot Stabilisatie Cavernes Twente*. Tech. rep. https://lap3.nl/publish/pages/138150/royalh_milieu-effectrapport_pilot_stabilisatie_cavernes_twente.pdf. Royal HaskoningDHV.
- WEP (2020). *Cavern migration risk analysis regarding the Maceió brine field*. Tech. rep. Prepared by A. Duquesnoy. Well Engineering Partners, Hoogeveen, The Netherlands.

Appendix

Appendix 1: Field layout

1-1: Cavern field layout

Appendix 2: Event Details

2-1: Mine 18: Sonar Surveys

2-2: DGPS Displacements in the Early Stages of Phase 2

2-3: DGPS Displacements

Appendix 3: Numerical Simulations

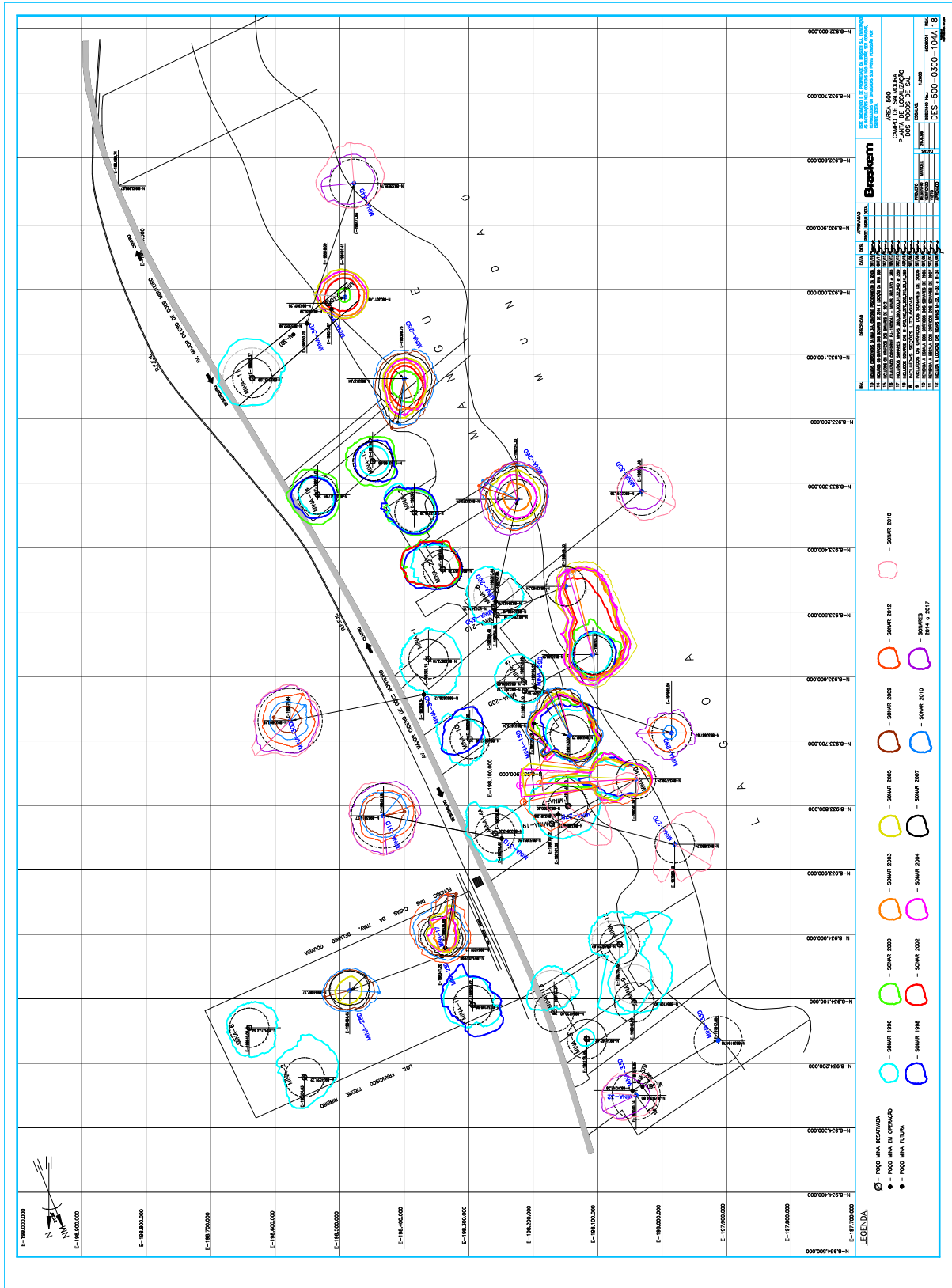
3-1: Strip Model with Caverns

3-2: Fault Slip State

Appendix 1-1

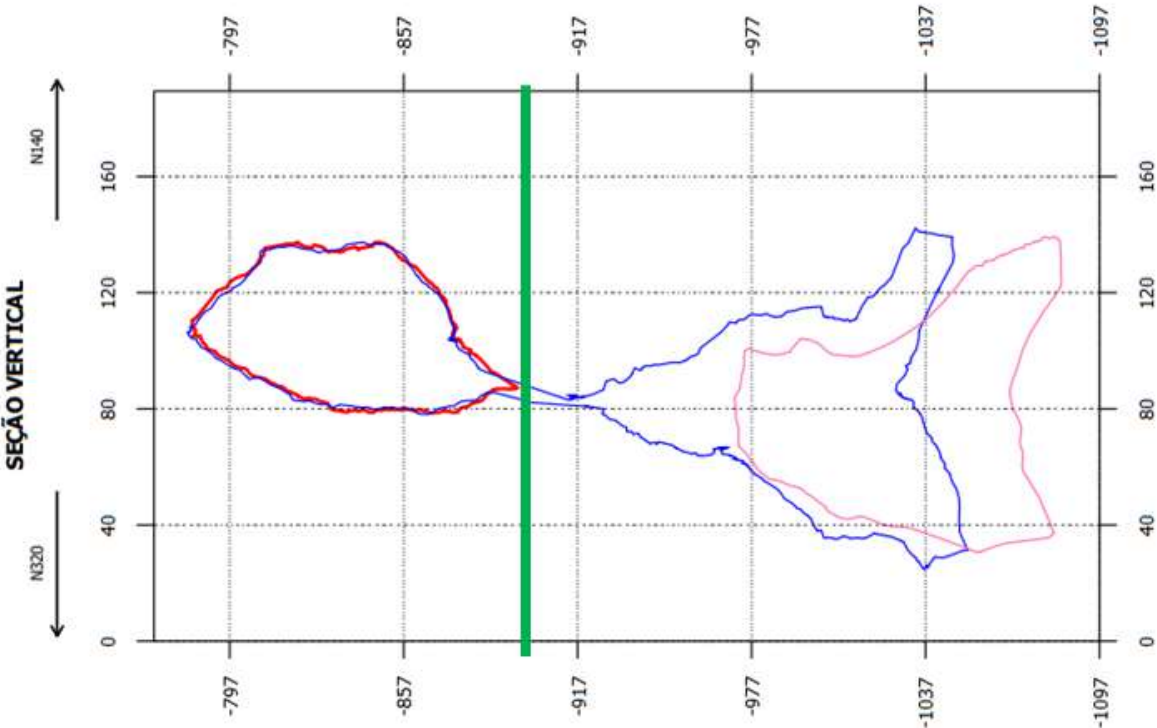
Layout of the Maceió cavern field (Source: Braskem)

Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Geomechanical Modelling



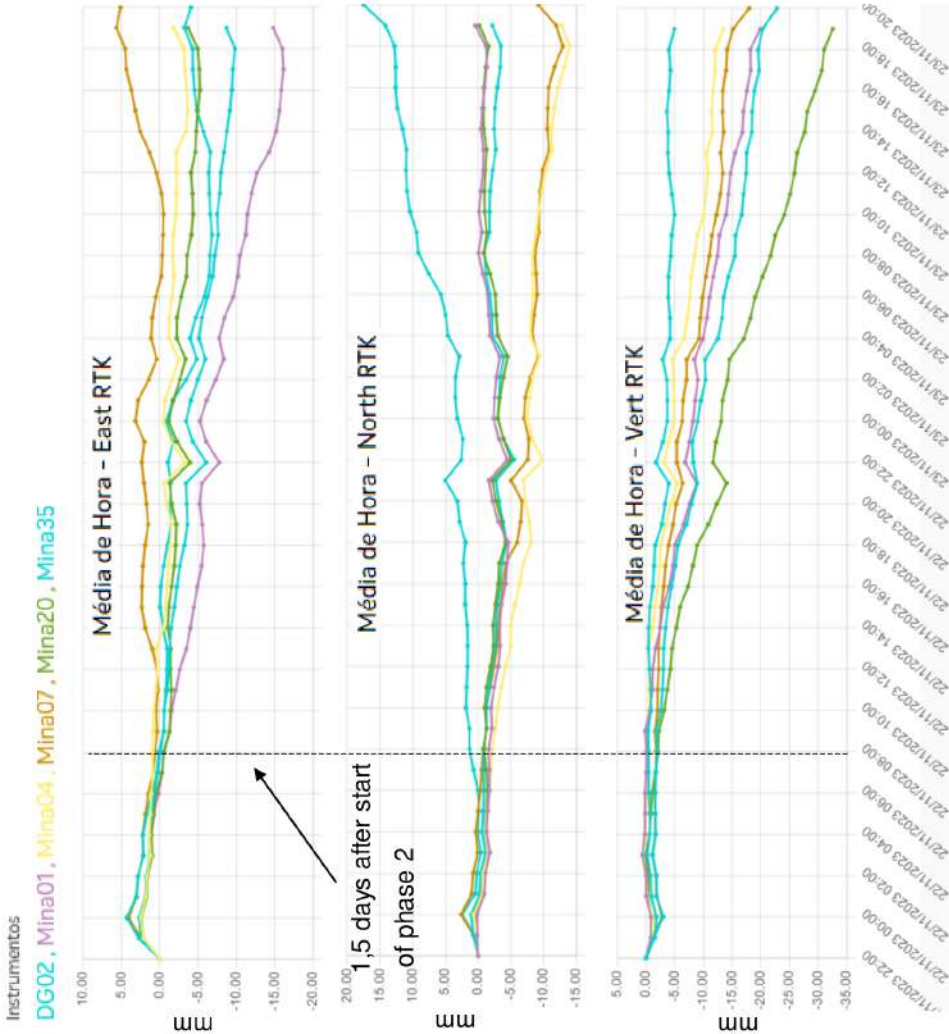
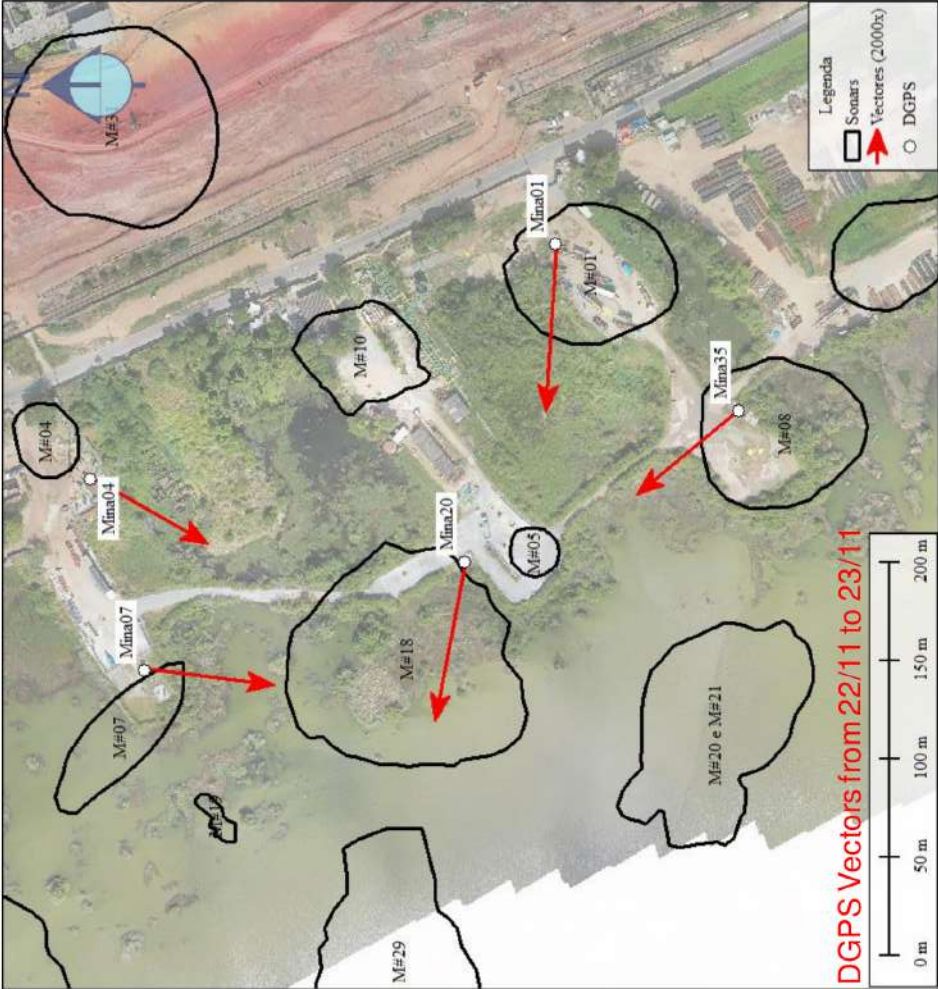

Appendix 2-1

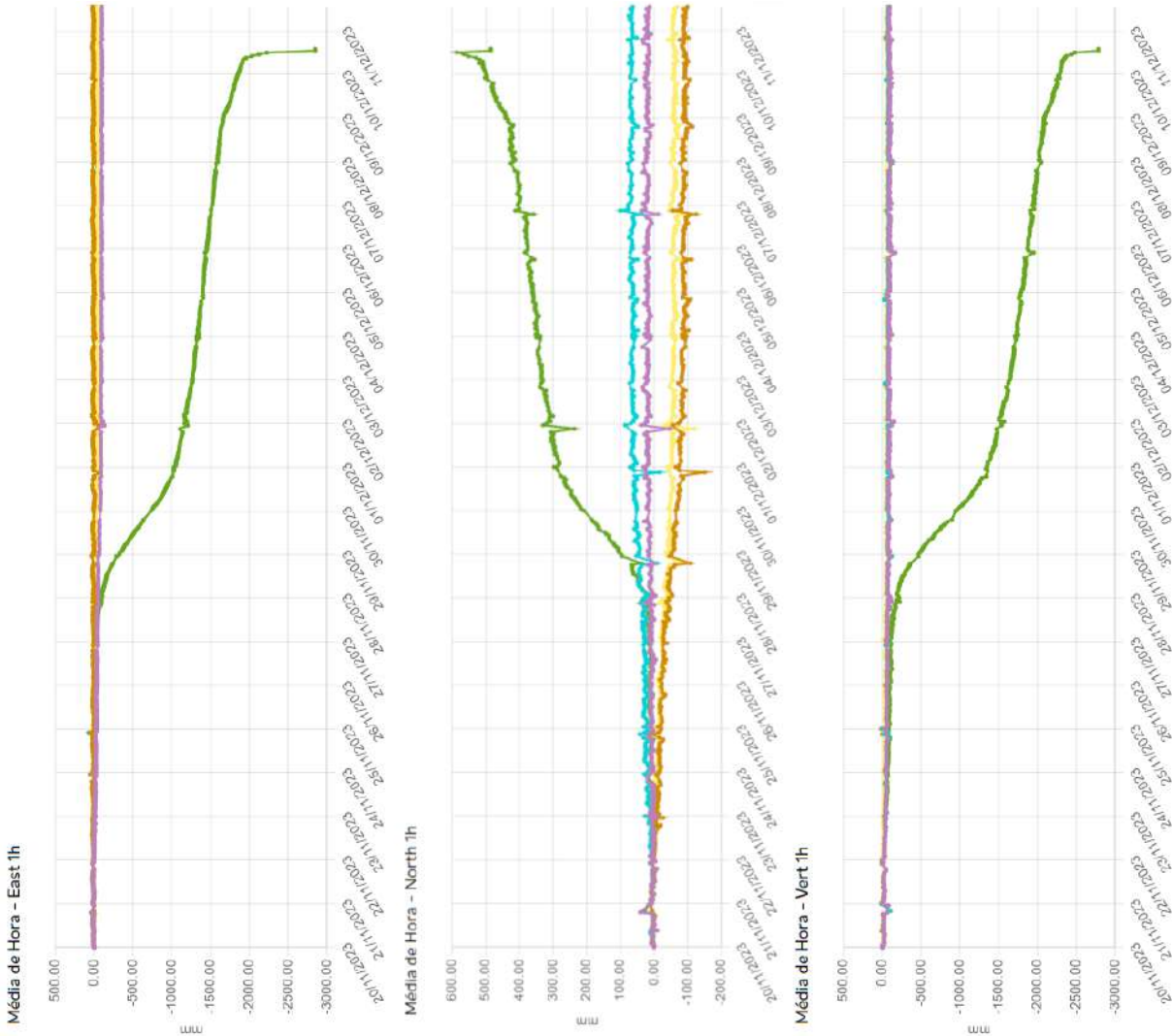
Mine 18: Sonar surveys Aug. 2019 (pink), Aug. 2023 (blue) and Nov. 2023, just before start of seismic events (red); lower component inaccessible). (Source: Braskem)



Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Geomechanical Modelling



<div data-bbox="111 1104 1064 2134"><p>Instrumentos DG02, Mina01, Mina04, Mina07, Mina20, Mina35</p><p>Média de Hora - East RTK</p><p>Média de Hora - North RTK</p><p>Média de Hora - Vert RTK</p><p>1,5 days after start of phase 2</p></div> <div data-bbox="122 107 1064 1093"><p>DGPS Vectors from 22/11 to 23/11</p></div>	<p>DGPS displacements in the early stages of Phase 2. (Source: Braskem)</p>	<p>Institut für Gebirgsmechanik GmbH Geomechanical Modelling</p> <div data-bbox="1358 1993 1505 2134"></div>
--	---	---

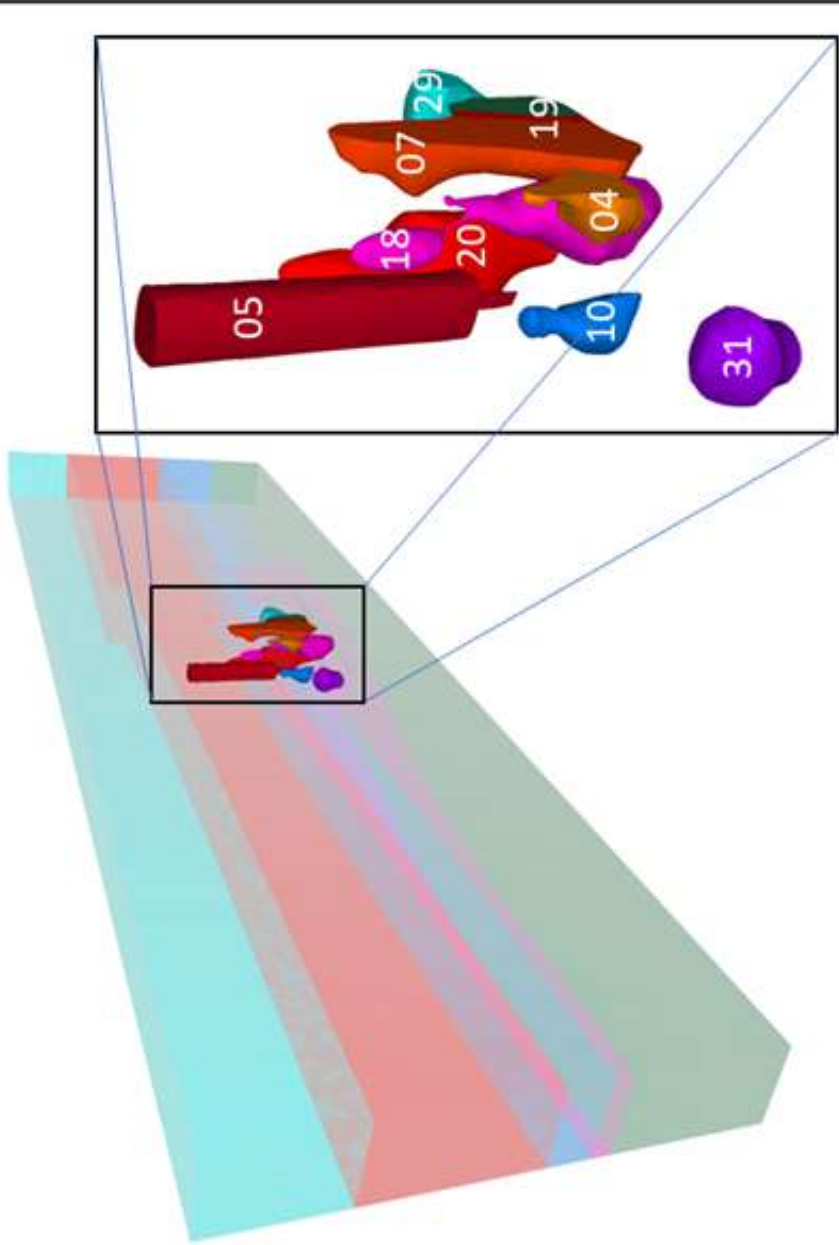


Zone Group Slot Stratigraphy

- overburden
- paripueira
- pocao
- ponta_verde
- shale
- tabuleiro

Zone Group Slot cavern

- M04
- M05
- M07
- M10
- M18
- M19
- M20
- M29
- M31
- None





ID: 5891486

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 001

CERTIFICO e dou fé, para os fins de direito, que o texto abaixo é tradução fiel de um documento em língua inglesa, que me foi apresentado por parte interessada, como segue:



Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Pesquisas – Testes – Consultoria - Expertise

Campo de Cavernas de Maceió: Julgamento de Especialista sobre a Interpretação e as Consequências do Processo de Sinkhole na Mina 18

Cliente:

Braskem S.A.
Rua Eteno, 1561
Complexo petroquímico de Camaçari
Cidade de Camaçari
Estado da Bahia
Brasil
Acordo N.º 4600020847/2019
B IfG 22d/2021
Dr. Ali Taghichian
Dr.-Ing. habil. Wolfgang Minkley
Dr. Christoph Lüdeling

Número de Referência do Cliente:

Nosso Número de Referência:

Processado por:

Leipzig, 11.03.2024

[Assinatura ilegível]
Dr.-Ing. Ralf-Michael Günther
Diretor Administrativo

[Assinatura ilegível]
Dr. Christoph Lüdeling
Diretor Assistente

B IfG 22d/2021	Maceió: Interpretação e Consequências do sinkhole na Mina 18	2
Índice		
1. Introdução		3
2 Descrição dos eventos de novembro/dezembro de 2023		4
3 Formação de sinkholes por deslizamento de blocos na camada superior		9
3.1 Mecanismo		9
3.2 Modelagem numérica		11
4 Análise do evento na Mina 18		13
4.1 Bulking: Movimento lento improvável para cima		13
4.2 Estimativas analíticas de estabilidade		14
4.3 Deformação superficial		16
4.4 Atividade sísmica		17
4.5 Resumo		19
5 Possíveis efeitos em outras cavidades		21
5.1 Colapsos da reação em cadeia?		21
5.2 Alterações geomecânicas na camada superior		21
5.3 Análise numérica preliminar		22
5.3.1 Abordagem de modelagem		22
5.3.2 Resultados		25
5.3.3 Modelo de campo		27
6 Conclusões e recomendações		30
Referências		32
Apêndice		34
1. Introdução		

A Braskem operava um campo com 35 cavernas de mineração de solução na cidade de Maceió (vide Anexo 1-1). Em novembro e dezembro de 2023, observações de intensa atividade sísmica e grandes deformações superficiais culminaram na formação de um sinkhole no dia 10 de dezembro. Nesta nota técnica, o IfG apresenta uma primeira avaliação do evento, suas prováveis causas e possíveis ramificações futuras.

O IfG já estudou o campo de Maceió anteriormente (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2019; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021c; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021d; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2020; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021b; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021e); a presente discussão é baseada em nossas análises e testes laboratoriais prévios, nos dados disponíveis e em simulações numéricas preliminares. À medida que novas medições ou resultados numéricos se tornem disponíveis, nossas conclusões poderão ser modificadas.

A interpretação mais provável do evento é que um sinkhole se formou sobre a Mina 18 pelo deslizamento de um bloco na camada superior. A Braskem opera um sistema abrangente de monitoramento, observando, principalmente, eventos microsísmicos com alta sensibilidade e resolução, e deformações superficiais



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 002

com estações DGPS, InSAR e medições por drones. Juntamente com outras técnicas, os dados fornecem uma imagem bastante abrangente dos processos geomecânicos atuantes.

A seguir apresentamos primeiramente os eventos observados nos meses de novembro e dezembro. Na Seção 3, relembramos o mecanismo de deslizamento de bloco, conforme discutido no trabalho de Minkley et al. (1990), Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) e Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b). Na Seção 4, aplicamos nosso entendimento ao caso específico da Mina 18. A Seção 5 discute os possíveis efeitos em outras cavidades no campo e, na Seção 6, apresentamos nossas conclusões e primeiras recomendações.

2 Descrição dos eventos de novembro/dezembro de 2023

As cavidades do campo de Maceió são monitoradas regularmente por levantamentos por sonares. Entre 2019 e 2023, a Mina 18 desenvolveu um incomum formato de dois componentes (Apêndice 2-1). Durante este tempo, o componente inferior migrou para cima cerca de 30 m, mas permaneceu no sal (a linha verde a 891 m indica o topo do sal); o segundo componente, com 120 m de altura, abriu-se acima da camada de sal. O segundo componente (superior) foi observado novamente em 4 de novembro de 2023, sem alterações significativas, mas a parte inferior não foi acessada antes do início dos eventos sísmicos da Fase 1 em 6 de novembro. O volume global (medido em agosto de 2023) foi de cerca de 490.000 m³; o componente superior apresentava um volume de cerca de 117.000 m³ em novembro. É possível que a ligação entre os componentes seja mais ampla do que a visível nos levantamentos por sonares.

A Mina 05, próxima à Mina 18 na direção Sudeste, foi confirmada como naturalmente preenchida (Brandt Meio Ambiente Ltd. 2021). O último levantamento por sonar disponível data de 1985, quando as operações de extração (*leaching*) foram concluídas, com um volume de caverna de aproximadamente 200.000 m³. Nenhuma cavidade aberta foi encontrada nas campanhas de sonar desde 2018. Nas análises sísmicas cruzadas (tomografia sísmica crosswell) de poços e nos registros de perfuração, um potencial remanescente da Mina 05 (ou seja, uma região preenchida por detritos de queda de rochas, mas sem espaço vazio preenchido com salmoura), foi encontrado a uma profundidade de 640 m. O cilindro que conecta o último vazio da cavidade confirmado e o remanescente potencial é provisoriamente denotado como o cone de detritos da Mina 05 – aproximando-se do caminho potencial da cavidade durante o processo de autopreenchimento (self-backfilling), de modo que seja plausível que seja preenchido com detritos de queda do teto frouxamente compactados. O componente superior da Mina 18 toca o cone de detritos interpolados. Nota-se, no entanto, que a trajetória real do espaço vazio da Mina 05 e a composição e propriedades dos maciços rochosos fraturados são desconhecidas.

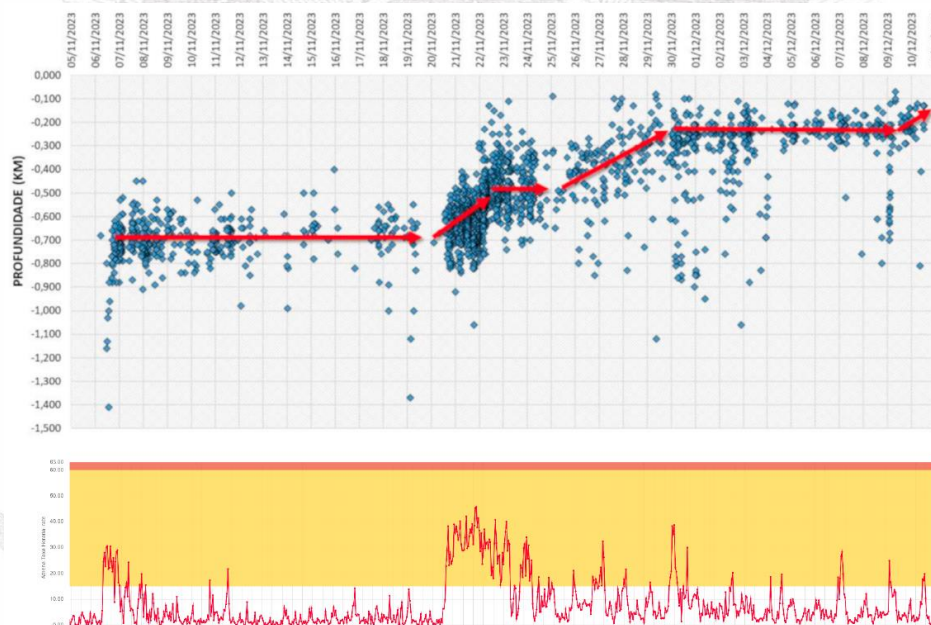


Figura 1: Sismicidade de 5 de novembro a 11 de dezembro de 2023: Profundidade (superior) e taxa horária (inferior).
(Fonte: Braskem (modificado))

O campo de cavernas de Maceió é monitorado de perto. Entre outros sistemas, a Braskem instalou uma rede microsísmica composta por quatro sensores na superfície (ou seja, em perfurações rasas), três sensores a uma profundidade de 300 m e três sensores em cerca de 900 m. Devido ao posicionamento do sensor, o sistema permite uma boa resolução espacial, incluindo a profundidade, e pode detectar eventos com magnitudes de -2,5 ou menos. O sistema é lido automaticamente e emite um alarme se os limites predefinidos de taxa ou intensidade sísmica forem excedidos. A taxa sísmica de fundo varia de um a cinco eventos por hora.

O processo pode ser grosseiramente dividido em duas fases. No dia 6 de novembro, a taxa subiu para mais de 20 eventos por hora e permaneceu significativamente elevada durante cerca de dois dias (vide Figura 1). Os eventos foram localizados no aglomerado (*cluster*) central de cavernas, no entorno da Mina 18, em profundidades de 600 m a 800 m (Figura 2). Observe que um levantamento por sonar, realizado poucos dias antes, encontrou o teto da Mina 18 a uma profundidade de 786 m.

Após 8 de novembro, a atividade sísmica reduziu novamente para valores próximos do nível de fundo inicial, com picos ocasionais mais curtos. A profundidade dos eventos foi geralmente constante na faixa de 600 m a 800 m.

Durante o primeiro aglomerado (*cluster*) sísmico, três eventos tiveram magnitudes entre 0 e 0,5; todos os outros eventos foram mais fracos, com a maioria abaixo de $M = -1$.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 003

Não houve efeito significativo sobre as deformações superficiais na primeira fase (6 a 20 de novembro). Contudo, a pressão em algumas cavidades fechadas (Minas 10, 31 e 32) apresentou pequenos, mas perceptíveis desvios da tendência de longo prazo, na faixa de 0,1 bar em 14 dias.

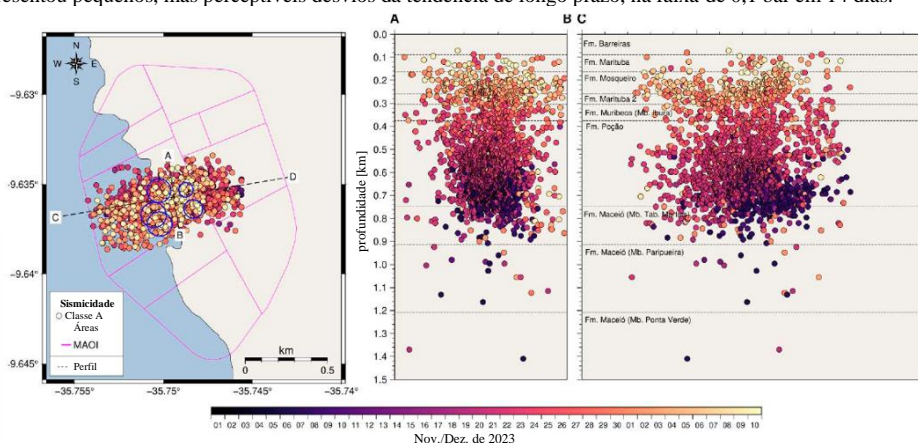


Figura 2: Localização dos eventos sísmicos na vista superior (à esquerda) e nas seções transversais A-B (aproximadamente Norte-Sul, centro) e C-D (Leste-Oeste, à direita). Observe que, devido à localização dos sensores, a incerteza Leste-Oeste é significativamente maior do que na direção Norte-Sul (Fonte: Braskem)

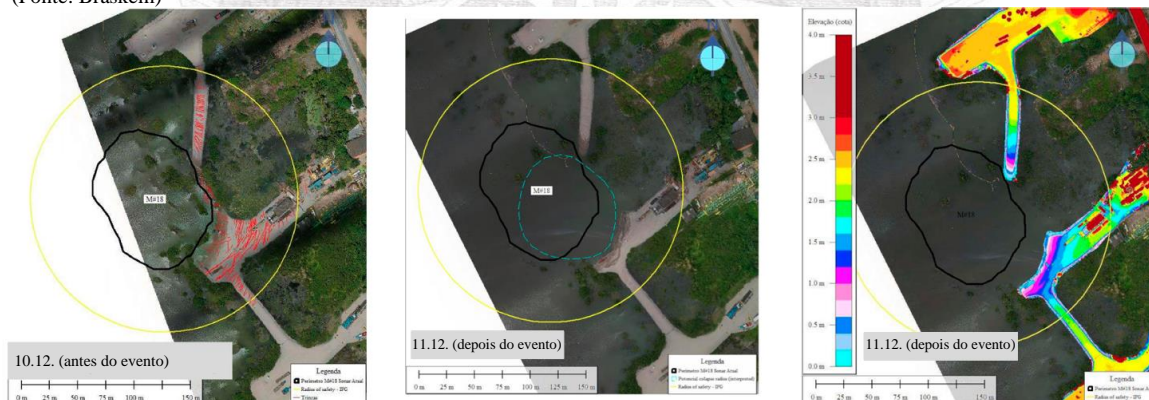


Figura 3: Fotografias aéreas da área acima da Mina 18. À esquerda: Foto tirada dias antes do sinkhole, mostrando rachaduras no pavimento e óbvia subsidência na estrada de ligação submersa. Ao centro: Perímetro do sinkhole reconstruído. À direita: Elevação da superfície após formação de sinkhole com bordas íngremes da cratera. A linha preta é o contorno da Mina 18, o círculo amarelo é o raio de segurança de acordo com o Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019). (Fonte: Braskem)

A Fase 2 foi iniciada com um segundo enxame mais forte de eventos sísmicos, com início em 20 de novembro e duração de cerca de quatro dias. Nos primeiros dois dias, os eventos subiram significativamente para uma faixa de 300 m a 600 m, e houve um número significativo de eventos com magnitudes $0 \leq M \leq 1$. Posteriormente, as taxas sísmicas foram consistentemente superiores aos valores de fundo anteriores e os eventos continuaram a subir (vide Figura 1). De 30 de novembro a 9 de dezembro, a atividade sísmica concentrou-se em profundidades em torno dos 200 m. Deveríamos apontar uma série de eventos quase simultâneos em profundidades de 100 m a 800 m em 9 de dezembro, e um padrão semelhante em 4 de dezembro. Depois de 27 de novembro, registraram-se vários eventos mais fortes (com $0 \leq M \leq 1$). Além disso, alguns eventos apresentaram magnitudes de $M > 1$; no entanto, estes estavam localizados a várias centenas de metros a Oeste ou Noroeste da Mina 18.

Na Fase 1, o centro de sismicidade estava localizado a aproximadamente 150 m a Leste da Mina 18. Na Fase 2, a atividade sísmica deslocou-se para Oeste, com a maior densidade de eventos registrada na borda Sudeste da Mina 18.

Desde o início da Fase 2, as deformações superficiais começaram a tornar-se significativas. As deformações foram monitoradas principalmente por estações DGPS – na região central, os receptores DGPS estavam localizados em cinco cabeças de poço. Observe que, devido à perfuração direcional, a cabeça do poço da Mina 20 está localizada quase acima da Mina 18. O Apêndice 2-2 mostra que os deslocamentos nas estações DGPS começam a divergir cerca de 1,5 dias após o início da Fase 2, com a estação Mina 20 sofrendo subsidência de mais de 20 mm por dia. Os deslocamentos horizontais (painel direito) indicam um movimento geral da superfície em direção a um ponto central localizado acima da Mina 18, com todas as estações nas proximidades mostrando deslocamentos comparáveis.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 004

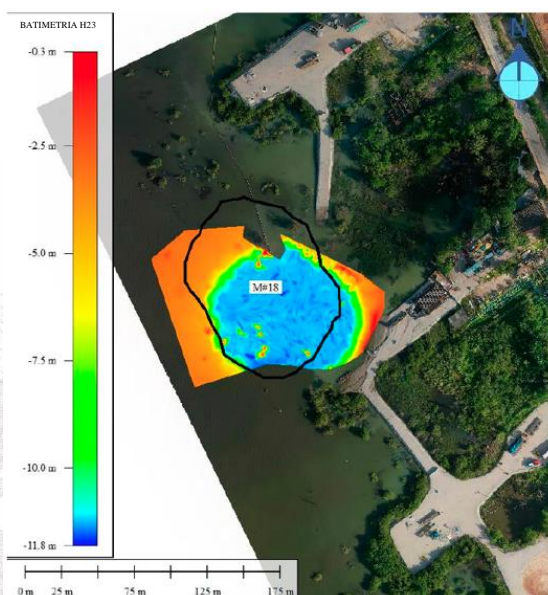


Figura 4: Observação batimétrica da expressão do sinkhole no fundo da laguna, medida em 29 de dezembro de 2023.

O padrão de deslocamento da superfície mudou significativamente por volta de 27 de novembro, em uma altura em que as posições dos eventos sísmicos subiam de cerca de 500 m para 200 m: A estação Mina 20 começou a se desacoplar das outras estações e acelerou significativamente (vide Apêndice 2-3). Especificamente, de 27 de novembro a 1 de dezembro, a cabeça do poço da Mina 20 deslocou-se cerca de 1,4 m para baixo, 1 m para Oeste e 20 cm para Norte. Após 1 de dezembro, a profundidade dos eventos sísmicos manteve-se aproximadamente constante e as taxas de deformação superficial reduziram-se para valores (ainda muito elevados) (taxa de subsidência de aproximadamente 8 cm/d).

A pressão em todas as cavidades tamponadas mostrou uma reação às deformações no centro do campo. As cavidades mais distantes (Minas 02 e 32) desviaram-se apenas ligeiramente das tendências de longo prazo, enquanto a pressão nas cavidades vizinhas, Minas 01 e 10, aumentou cerca de 1 bar.

Por volta do dia 29 de novembro foram observadas fissuras no pavimento do perímetro da Mina 18 (o acesso à área foi bloqueado desde o início da Fase 2; foram observadas rachaduras nas fotografias dos drones.) As rachaduras cresceram com o tempo, formando um padrão concêntrico em torno da área da mina; todas as rachaduras foram localizadas dentro do raio de segurança sugerido no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019) (vide Figura 3). Assim, medições DGPS, observações de fissuras superficiais e medições de elevação por drones indicam um processo de deformação fortemente localizado, com grandes deslocamentos acima da Mina 18 e deformações muito pequenas em distâncias de apenas 100 m.

Ao meio-dia do dia 10 de dezembro, o sinkhole se formou. Vídeos de uma câmera operada remotamente e de drones mostram uma forte surgência de água na laguna, dentro da área da Mina 18, e o desaparecimento de árvores e da estrada. A turbulência localizada na superfície da água persistiu por algumas horas, após as quais o sistema se estabeleceu em um novo estado estático. O painel central da Figura 3 mostra o contorno estimado do sinkhole na superfície do solo. O sinkhole no fundo da laguna foi posteriormente confirmado por batimetria, vide Figura 4.

A formação do sinkhole não foi acompanhada por grande atividade sísmica. Posteriormente, não houve mais deformações significativas ou variações de pressão no campo de Maceió.

3 Formação de sinkholes por deslizamento de blocos na camada superior

3.1 Mecanismo

O mecanismo básico de formação de sinkholes por deslizamento de blocos da camada superior está resumido na Figura 5. Considere uma coluna rochosa de área de seção transversal A e circunferência U sobre uma cavidade de profundidade z_D com pressão interna p_{cav} . O peso da coluna rochosa é dado por

$$F_G = g z_D A \rho_{rocha} \quad (1)$$

com densidade média de ρ_{rocha} e aceleração gravitacional g . É neutralizado pela pressão da cavidade,

$$F_{cav} = p_{cav} A. \quad (2)$$

No caso em questão, podemos presumir que a pressão interna é halmostática, ou seja, dada por uma coluna de salmoura de densidade ρ_{br} à superfície. Assim,

$$p_{cav} = g z_D \rho_{br} \quad (3)$$

Para estabilidade, a diferença deve ser compensada pela resistência ao cisalhamento por atrito ao longo da fronteira do pilar. A força de cisalhamento máxima sob a tensão efetiva dada pela tensão horizontal da rocha σ_{hor} e pela pressão do fluido da junta é (presumindo um ângulo de atrito uniforme ϕ)

$$F_{cisalhamento}^{max} = \int dA \tau_{max} = U \int_0^{z_D} dz \tan \phi [\sigma_h - p_n]. \quad (4)$$

Presumimos que o estado de tensão no maciço rochoso é determinado pelo peso da camada superior e um coeficiente de tensão lateral λ , ou seja,

$$\sigma_{vert} = g \rho_{rocha} z, \quad \sigma_{hor} = \lambda \sigma_{vert}. \quad (5)$$



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 005

A pressão do fluido é igualmente determinada por uma coluna de fluido na superfície e uma possível contribuição adicional p_a .

$$p_n = g\rho_n z + p_a. \quad (6)$$

A condição de estabilidade agora se torna $F_G - F_{cav} < F_{\text{máx. coesão}}$. Combinando as Equações 1 a 6, podemos reformular a condição como uma condição para a área e circunferência da coluna rochosa,

$$\frac{A}{U} \leq \left(\frac{A}{U} \right)_{\text{crit.}} = \frac{1}{2} \tan \phi \frac{z_D (\lambda \rho_{\text{rocha}} - \rho_n) - 2 \frac{p_a}{g}}{\rho_{\text{rocha}} - \rho_{\text{br}}}. \quad (7)$$

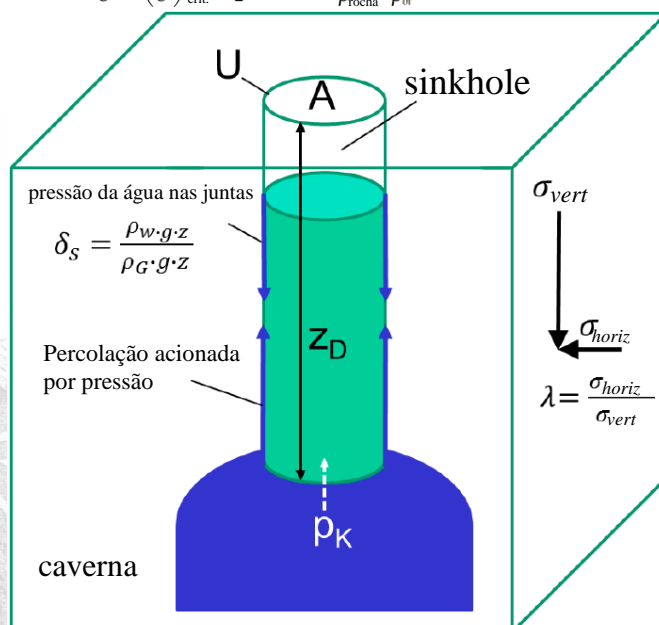


Figura 5: Análise de equilíbrio em limite de carga do deslizamento de blocos na camada superior definido por Minkley et al. (1990). Uma coluna de rocha sobre uma caverna pode formar um sinkhole se o peso exceder a força da pressão da caverna e a resistência ao cisalhamento ao longo da circunferência.

Para uma coluna circular, $A/U = D/4$. Em outras palavras, se o diâmetro da caverna exceder o raio crítico, a formação de sinkholes não pode ser excluída. O diâmetro crítico aumenta com z_D , então, geralmente, cavernas mais profundas são mais seguras. No entanto, o diâmetro crítico depende sensivelmente da tensão lateral e da pressão do fluido da junta.

Observações:

- O deslizamento de grandes blocos rochosos não está associado a um empoamento (bulking) significativo. Consequentemente, sinkholes podem se formar por esse mecanismo mesmo em cavernas profundas.
- O coeficiente de tensão lateral é determinado pela razão de Poisson da rocha e pela carga tectônica. As massas rochosas acima dos depósitos de sal são geralmente dissociadas do campo de tensão tectônica no embasamento; no entanto, a tensão lateral ainda é influenciada pela configuração tectônica local.
- A tensão horizontal em um campo de cavernas será diferente da tensão em um campo distante virgem. Por exemplo, a tensão lateral é geralmente reduzida devido a deformações extensionais nos limites do campo.
- O modelo conceitual presume conservadoramente uma coluna rochosa suportada apenas por resistência residual ao cisalhamento, ou seja, sem coesão. Este mecanismo não necessita de falhas geológicas para definir a rocha deslizante – a coluna pode ser delineada por juntas tectônicas de pequena escala, que estão genericamente presentes em maciços rochosos sedimentares, ou o bloco rochoso pode formar-se por processos de fratura progressiva na camada superior.
- Para tensões horizontais isotrópicas, uma coluna circular é a configuração menos estável, o que está de acordo com a observação de que os sinkholes são frequentemente circulares (Berest, 2017). Para tensões horizontais anisotrópicas, a forma do sinkhole torna-se elíptica.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 006

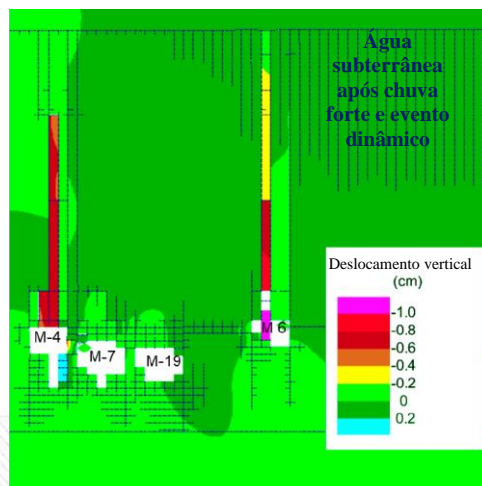


Figura 6: Exemplo de formação de sinkholes em simulações descontínuas hidromecanicamente acopladas (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a): Após fortes chuvas e um evento sísmico (dinâmico), a água subterrânea penetrou do aquífero próximo à superfície, profundamente na camada superior ao longo das juntas verticais. Ao mesmo tempo, a salmoura das cavernas sem teto de sal se infiltrou para cima; se a pressão do fluido nas juntas atuar em um sistema nas juntas contínuo da caverna à superfície, um bloco de rocha pode começar a deslizar.

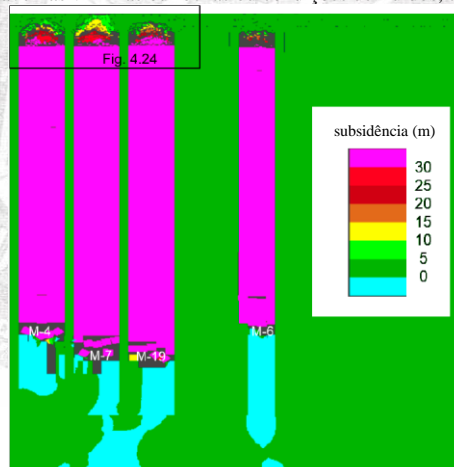
- Para uma caverna fechada e devidamente abandonada, a pressão interior é igual à tensão litostática, tal que $FG - F_{cav} = 0$, e sinkholes não podem se formar.
- A presença de fluidos nas juntas, ou seja, a presença de tensões efetivas, é fundamental para a formação de sinkholes: Sem pressão de fluido, o diâmetro crítico será da ordem da profundidade da caverna, ou seja, muito maior que os diâmetros plausíveis da caverna. No entanto, na presença de fluido nas juntas, $\lambda \rho_{rocha} - \rho_{fl}$ pode ser bastante pequeno, e o diâmetro crítico pode tornar-se menor do que os vãos típicos de cavernas.

3.2 Modelagem numérica

O mecanismo de formação de sinkholes, conforme discutido na seção anterior, envolve deslizamento de blocos com grandes deslocamentos sob a influência da pressão do fluido. Assim, ele pode ser analisado numericamente em simulações descontínuas hidromecanicamente acopladas (vide, por exemplo, Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) e Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b)). Nestes modelos, a camada superior é modelada como um conjunto de blocos com juntas verticais. Os fluidos podem se propagar ao longo das juntas de cavernas ou aquíferos se

- a pressão do fluido exceder a tensão normal nas juntas (percolação impulsionada pela pressão), ou
- se a junta falhar por cisalhamento ou tração, de modo que fique hidráulicamente aberta.

As simulações permitem analisar a influência de cavernas vizinhas ou rochas ou condições de fluidos, que variam localmente.





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 007

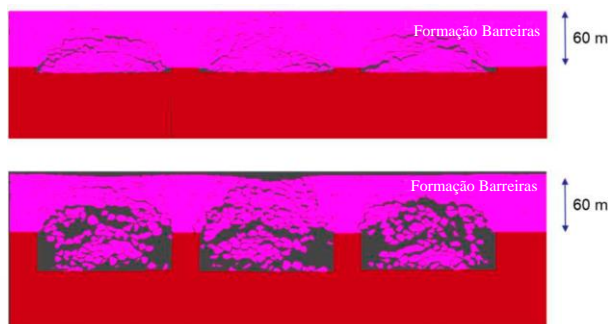


Figura 7: Exemplo de formação de sinkholes em simulações descontínuas hidromecanicamente acopladas (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021b): Para cavernas suficientemente grandes, com baixa tensão lateral, sinkholes podem se formar tanto no centro quanto nos limites de um campo de caverna. Uma camada de solo na superfície modera a forma da cratera resultante sem alterar o mecanismo básico.

As Figuras 6 e 7 mostram exemplos de tais simulações. O fluido pode penetrar predominantemente nas juntas do centro do campo, em que muitas cavernas com pequenos pilares induzem acentuadas deformações na camada superior e, por outro lado, na borda do campo, em que o contraste de subsidência entre o campo e o entorno cria deformações extensionais que diminuem a tensão horizontal.

Em ambos os casos, o modelo explica a formação de um tubo vertical em forma de chaminé, no qual blocos de rocha deslizam para baixo. A inclusão de planos de estratificação horizontal modera o processo de formação de sinkholes no tempo. Uma camada de solo na superfície, que não participa do processo de deslizamento do bloco, altera a forma da cratera superficial, mas não altera fundamentalmente o mecanismo.

As simulações também analisam eventos dinâmicos. Observa-se, entretanto, que em simulações bidimensionais que não modelam explicitamente o efeito de amortecimento da salmoura na cavidade, a intensidade dinâmica é genericamente superestimada.

4 Análise do evento na Mina 18

Discutimos agora o evento na Mina 18, com base nos dados disponíveis e no entendimento do processo relativo à formação de sinkholes por deslizamento de blocos.

4.1 Bulking: Movimento lento improvável para cima

Primeiramente, contrastamos o deslizamento do bloco com outro mecanismo de formação de sinkholes, que é a fratura sucessiva local da camada superior, que leva à queda do teto na cavidade e a um lento movimento ascendente do volume vazio (vide Figura 8). Este processo é particularmente típico de uma camada superior mole; entretanto, também contribuiu para o backfilling natural de algumas cavernas do campo de Maceió, como a Mina 05.

Os detritos fracos e fraturados de uma sequência de fraturas menores e quedas de teto preenchem um volume maior do que o maciço rochoso original – esse fenômeno é conhecido como empolamento (bulking), capturado quantitativamente em um fator de bulking de β , que geralmente está na faixa de 1,1 a 1,3. Se as cavernas forem muito profundas ou pequenas, o volume inicial da cavidade será consumido antes que o processo de fratura atinja a superfície (“backfilling natural”). Especificamente, para uma caverna de altura H e profundidade d , um sinkhole só pode se formar se

$$f \frac{H}{d} > \beta - 1. \quad (8)$$

Aqui, f é um fator numérico que codifica a relação entre o volume da caverna e sua geometria cilíndrica circundante ($f = 1$ para uma caverna cilíndrica, $f = 2/3$ para cavernas esféricas).

Para o caso da Mina 18, podemos estimar $f \approx 0,23$, profundidade e altura são 786 m e 254 m, respectivamente e, então, a Equação (8) requer $\beta < 1,07$, ou seja, menos de 7% de bulking. Concluímos que o sinkhole da Mina 18 não foi formado por este processo. Observe que isto está de acordo com a análise do WEP (2020), na qual foi presumido um fator de bulking de $\beta = 1,11$, com base na experiência de campos de cavernas nos Países Baixos (devemos também salientar que a WEP (2020) avaliou a Mina 20 como potencialmente em risco de formação de sinkholes devido à fratura sucessiva do teto).

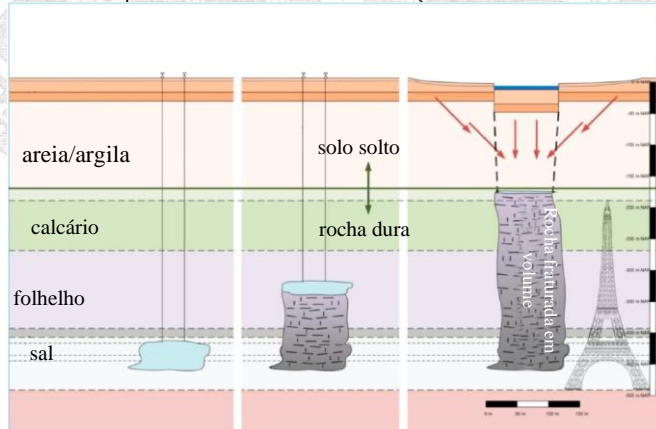


Figura 8: Modelo conceitual de formação de sinkholes sobre cavernas em rochas fracas (modificado de Royal HaskoningDHV (2013)).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 008

Levantamentos batimétricos recentes (Farina et al., 2024) estimaram o volume da cratera superficial em aproximadamente 140.000 m³. Isto provavelmente subestima o verdadeiro volume, porque os sedimentos lamacentos e soltos da lagoa mascaram o “verdadeiro” fundo do mar. Além disso, a avaliação combinada dos dados batimétricos e dados de InSAR (Farina et al., 2024) mostrou que a bacia de subsidência do sinkhole apresenta uma “borda” circular mais larga, com subsidência entre 15 mm e 100 mm, provavelmente gerada pelas deformações da formação de Barreiras; a inclusão desta região de subsidência mais ampla aumenta o volume para cerca de 230.000 m³. Observe que a estimativa menor do volume já é maior que o componente superior da Mina 18. Mesmo se presumirmos, de forma conservadora, que todo o volume da Mina 18, conforme determinado pelo levantamento por sonar de agosto de 2023, foi preenchido pelo volume na parte interna da bacia de subsidência, podemos estimar um fator de bulking de aproximadamente 1,04, o que é plausível para um processo de deslizamento de blocos.

Observe que o fator de bulking para o cone de detritos da Mina 05 pode ser estimado em torno de $\beta=1,17$.

4.2 Estimativas analíticas de estabilidade

Apresentamos agora estimativas analíticas de deslizamento de blocos na Mina 18, seguindo a discussão apresentada na Seção 3.1.

A partir dos testes de laboratório do Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2022), a densidade média da rocha pode ser estimada como $\rho_{\text{rocha}} = 2,1 \text{ t/m}^3$; o teto da caverna está a 786 m.

Nas proximidades da Mina 18, as operações de backfilling (Minas 04, 07, 17, 19 e 27) e o vazamento das minas na camada superior provavelmente substituíram (parcialmente) a água doce no maciço rochoso por salmoura. Assim, presumimos conservadoramente uma densidade de fluido de $\rho_{\text{fl}} = \rho_{\text{br}} = 1,2 \text{ t/m}^3$. Além disso, as operações de bombeamento durante o backfilling induzem uma sobrepressão na caverna que, plausivelmente, se espalhará para o maciço rochoso circundante.

Com essas informações, podemos reescrever a Equação (7) em termos do diâmetro crítico,

$$D_{\text{crit}} = 4 \left(\frac{A}{U} \right)_{\text{crit}} = 2 \tan \phi \frac{z_D (\lambda \rho_{\text{rocha}} - \rho_{\text{fl}}) - 2 \frac{p_a}{g}}{\rho_{\text{rocha}} - \rho_{\text{br}}} \\ = 3668 \text{ m} \cdot \tan \phi \left[\lambda - 0,57 - \frac{p_a}{8,25 \text{ MPa}} \right].$$

(9)

A Figura 9 mostra o diâmetro crítico em função do ângulo de atrito para diferentes valores de λ e p_a .

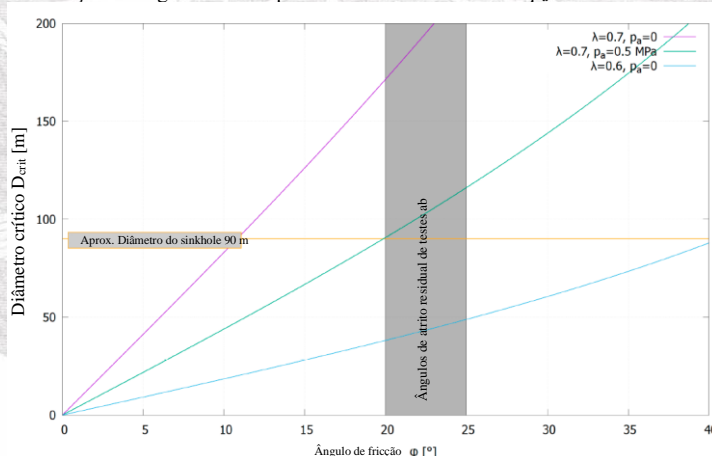


Figura 9: Diâmetro crítico da caverna em função do ângulo de atrito para diferentes valores de coeficiente de tensão lateral λ e pressão extra p_a .

É evidente que o resultado depende muito sensivelmente dessas informações.

No Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023), o coeficiente de tensão lateral foi estimado como $\lambda = 0,75$ a partir de medições nos poços PE-04 e TM-03. No Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b), descobriu-se que um coeficiente de tensão lateral desta magnitude é suficiente para evitar a formação de sinkholes (sem sobrepressões e um gradiente de pressão de fluido hidrostático, em vez de halmostático). No entanto, existe uma dispersão significativa e as medições da tensão horizontal menor σ_h em uma profundidade de cerca de 750 m são consistentes com valores tão baixos quanto $\lambda = 0,55$. Além disso, as operações de backfilling nas minas 04, 07 e 19 próximas provavelmente induziram sobrepressões (temporárias) sobre as minas e, consequentemente, na camada superior circundante (o procedimento de backfilling utiliza dois poços, que alternam entre a injeção de uma mistura de areia/salmoura e a retirada de salmoura).

Em uma análise preliminar do modelo apresentado no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023), o IfG avaliou a tensão horizontal acima de todas as cavernas e encontrou uma redução significativa (vide Figura 10). Especificamente, no conjunto central de cavernas, a tensão horizontal foi geralmente reduzida em mais de 40% em comparação com o estado de tensão virgem.

Os ângulos de atrito residual das rochas de camada superior determinados no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2022) situam-se no intervalo de 20° a 25° (conforme indicado pela caixa na Figura 9). Juntamente com um diâmetro do sinkhole de aproximadamente 90 m (vide Figura 3), pode-se concluir que, para coeficientes de tensão lateral entre 0,6 e 0,7 e sobrepressões moderadas de alguns décimos de MPa, o mecanismo de deslizamento do bloco pode explicar de forma muito plausível a formação de sinkhole observada.

Finalmente, vale ressaltar que a Mina 05 está localizada bastante próxima da Mina 18; o componente superior da Mina 18 e, portanto, também a coluna de rocha deslizante, tocam o caminho interpolado do espaço vazio da Mina 05, que provavelmente contém detritos de rocha fracamente fraturados. Assim, tanto a tensão horizontal como a resistência ao cisalhamento são provavelmente reduzidas em comparação com o caso do maciço rochoso intacto que rodeia a Mina 18.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 009

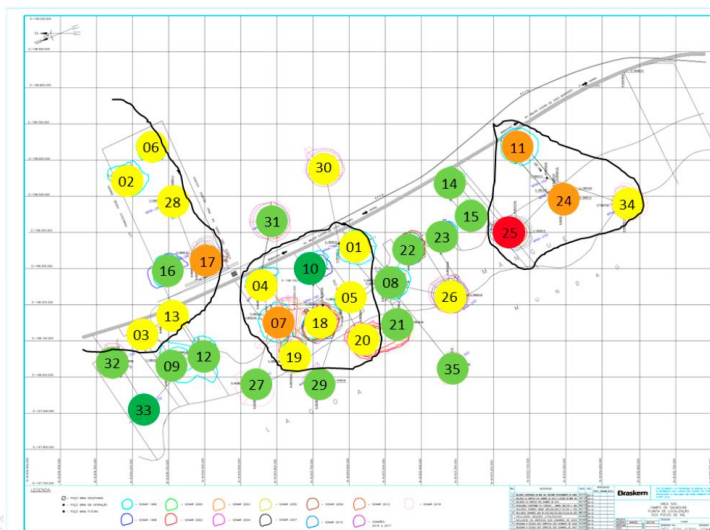


Figura 10: Redução da tensão horizontal próximo ao teto das cavernas. As cores indicaram redução de menos de 30% (verde escuro), 30% a 40% (verde claro), 40% a 50% (amarelo) e mais de 50% (laranja, vermelho).

Observa-se também que as Minas 18 e 05 podem ter se combinado durante o processo de sinkhole, por exemplo, por detritos da Mina 05 movendo-se para a Mina 18 antes que o pistão de rocha se formasse acima de uma cavidade comum. O diâmetro crítico, de acordo com a Equação 9, torna-se menor se a profundidade da caverna z_D diminuir e, portanto, a avaliação apresentada acima é conservadora neste aspecto.

4.3 Deformação superficial

O processo de formação do sinkhole foi acompanhado por grandes deformações superficiais – subsidência de quase dois metros em menos de duas semanas na estação Mina 20 DGPS, que fica próxima à borda do sinkhole. Observa-se que a subsidência é medida continuamente por estações de DGPS, em intervalos regulares pelo InSAR e manualmente por drones aéreos. Dado que as medições por satélite e por drone requerem superfícies sólidas (edifícios, estradas pavimentadas) e a Mina 18 está localizada principalmente abaixo de uma área submersa devido à subsidência geral no campo, o núcleo da bacia de subsidência não é coberto pelas medições.

A Figura 11 mostra a evolução da subsidência ao longo de um perfil que segue a estrada pavimentada que liga as cabeças dos poços da Mina 20 e da Mina 07. A subsidência está fortemente presente na área da mina e na zona de segurança, conforme definido pelo Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019); após o evento, a estrada foi destruída na parte central do perfil, de modo que não há dados de aproximadamente 120 m a 200 m. Mesmo após o evento, a região externa não apresenta deformações significativas. Assim, os dados indicam claramente que o sinkhole foi gerado por uma coluna rochosa localizada e aproximadamente circular (um “pistão” de acordo com a classificação de Berest (2017)).

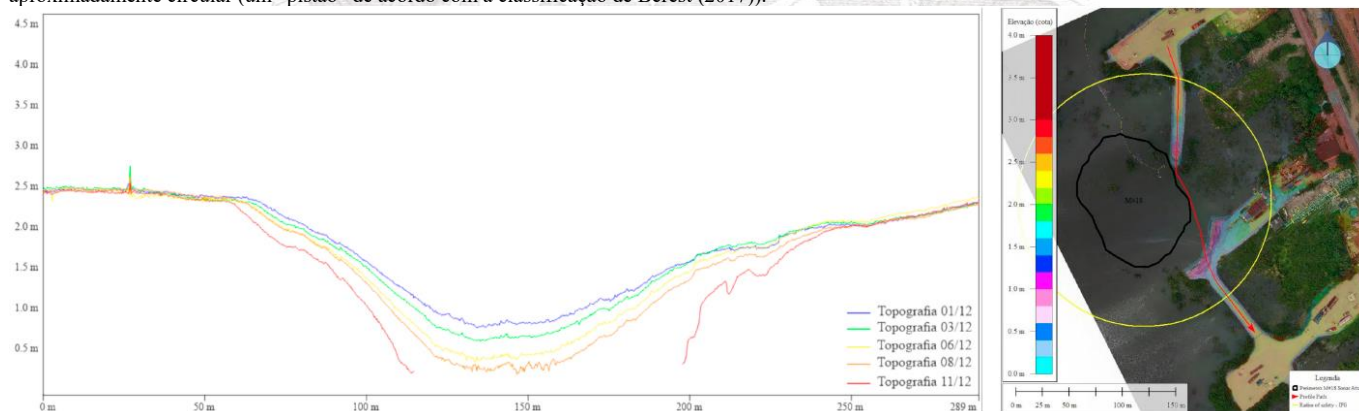


Figura 11: Perfis de subsidência ao longo do caminho marcado em vermelho, acompanhando a estrada pavimentada. Observe que o centro de subsidência está submerso, de modo que a subsidência não pode ser medida por drones aéreos. (Fonte: Braskem)

Consequentemente, o padrão de deformação superficial corrobora o mecanismo de formação de sinkholes por deslizamento de blocos.

A cratera superficial está ligeiramente deslocada para Sudeste (vide Figura 3), o que pode ser devido a fraturas ligeiramente inclinadas na camada superior, à forma não convencional de dois componentes da Mina 18, ou a um efeito do cone de detritos adjacente da Mina 05 (observa-se, entretanto, que um deslocamento de 20 m corresponde, para uma profundidade de 786 m, a um ângulo de apenas $1,5^\circ$). Além disso, a formação Barreiras na superfície consiste em areia consolidada (ou seja, solo) e o turbulento movimento da lagoa e da salmoura pode ter induzido encostas mais rasas para a cratera superficial real.

4.4 Atividade sísmica



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0010

A atividade sísmica, conforme apresentada na seção 2, é consistente com o mecanismo proposto: Eventos sísmicos individuais originam-se de falhas frágeis na camada superior, associadas a redistribuição contínua de tensões. Tais eventos de fratura estão localizados em pequenas juntas tectônicas, e não em falhas geológicas, e a intensidade depende da resistência e rigidez do maciço rochoso da camada superior. Consequentemente, a liberação de energia e a magnitude são comparativamente pequenas.

A interpretação mais plausível é a de que a massa rochosa acima da Mina 18 estava no limite de estabilidade ou próximo a ele antes de novembro de 2023. Com o início da primeira fase da atividade sísmica, o pistão de rocha começou a formar-se, ou seja, as pontes rochosas que ainda ligavam o pistão à rocha circundante começaram a fraturar. As redistribuições de tensão após cada evento de fratura moderam esse processo no tempo; com o início da segunda fase (20 de novembro), a formação do pistão foi acelerada, conforme indicado pelo movimento ascendente dos eventos sísmicos, juntamente com os primeiros indícios de deformações superficiais. O maior aumento na subsidência ocorreu de 28 de novembro a 1 de dezembro, período durante o qual a atividade sísmica subiu acima de 300 m, ou seja, saiu das formações de Poção e Ibura, mais fortes e rígidas, para os estratos de Marituba 2 e Mosqueiro.

A série de eventos quase simultâneos que abrangem toda a profundidade em 9 de dezembro (e um aglomerado semelhante em 4 de dezembro) são plausivelmente interpretados como fraturas ao longo de todo o pistão rochoso quase totalmente formado, ou seja, como eventos que quebram algumas das últimas pontes rochosas restantes.

O processo de deslizamento real de um pistão totalmente formado é amortecido pela salmoura na cavidade e não envolve muitos processos de fratura adicionais. Assim, não está necessariamente associado à forte sismicidade, como é o caso da Mina 18. Isto é semelhante ao caso do sinkhole de Matarandiba (Minkley et al., 2022), em que nenhuma sismicidade foi registrada pela rede sísmica regional (observa-se, no entanto, que o monitoramento sísmico em Matarandiba foi muito menos sensível do que em Maceió, portanto esta é apenas uma analogia aproximada). Por outro lado, a sismicidade foi, por vezes, observada em conjunto com a formação de sinkholes, por exemplo, para os sinkholes Solvayhall (1969) e Neustassfurt (1975) (Neunhöfer, 1997) sobre minas convencionais ou nas cavernas rasas de Ocnele Mari ou Cerville-Bouissoncourt (Jousset et al., 2012), em que foram registradas magnitudes de até 1,5. Para a caverna profunda de Oxy3 (Napoleonville), (Nayak et al., 2014) foram relatadas magnitudes de até $M_w = 2$. Nestes casos, os mecanismos subjacentes diferem do claro deslizamento do pistão aparente em Maceió.

A localização dos eventos (vide Figura 2) é consistente com fraturas acima da Mina 18, mas não mostra claramente uma “chaminé” delineando um pistão. No entanto, isto está provavelmente (pelo menos parcialmente) relacionado com a incerteza na posição, que é maior na direção Leste-Oeste do que na direção Norte-Sul (devido ao posicionamento dos sensores), aparente na forma elíptica do envelope do evento.

Entre 26 e 29 de novembro, foram registrados alguns eventos com magnitudes acima de 1. Esses eventos ocorreram fora do aglomerado principal, a várias centenas de metros a Oeste e Noroeste, em profundidades de 300 m a 500 m. Dentro da incerteza dos eventos e da localização das falhas, estes eventos são consistentes com as posições das falhas do Lago e do TMS. Assim, a interpretação mais provável é que estes eventos foram eventos de deslizamento nestas falhas, desencadeados pela redução da tensão normal devido à subsidência sobre a Mina 18. Assim, não estão diretamente relacionados com o processo de formação do sinkhole (mas sim com as deformações anteriores). O mecanismo subjacente é semelhante ao tremor de 2018 com $M = 2,4$ (ACCMS 2020; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a) (vide Figura 12). (Observa-se que esses eventos também podem representar eventos de deslizamento em planos de estratificação horizontais, como o topo da formação Poção; se os mecanismos focais puderem ser determinados, a direção do deslizamento poderá ser inferida).

Devemos observar que eventos como estes não estão relacionados com eventos de colapso, mas com redistribuições de tensão devido a processos de subsidência no campo. Como tal, eventos semelhantes podem ocorrer novamente. A estabilização do campo por meio do backfilling e tamponamento das cavidades reduz as taxas de deformação e, portanto, o risco de eventos futuros. As simulações no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) indicam que as magnitudes estão provavelmente limitadas a $M \leq 2,5$ devido à baixa queda de tensão e pequenos deslocamentos na camada superior.

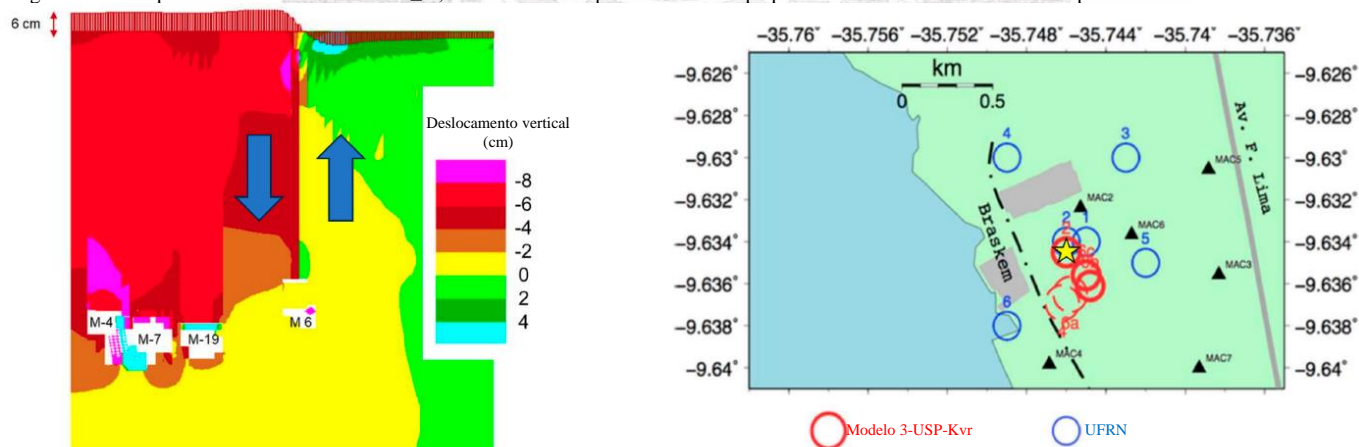


Figura 12: À esquerda: Simulação descontinua acoplada hidromecanicamente de evento de deslizamento dinâmico de junta acima do limite do campo da caverna (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a). Cores e perfis mostram um deslocamento após 1,6 s de tempo de simulação dinâmica; a camada superior sobre o campo da caverna desce, a região externa sobe. À direita: Epicentros dos terremotos mais bem registrados. Epicentros preliminares (UFRN/CPRM) em azul. Reanálise por ACCMS (2020) em vermelho. Estrela amarela: Epicentro do principal tremor de magnitude ML de Maceió de 3 de março de 2018 localizado via evento de 6 de fevereiro de 2019, considerado como réplica (modificado de ACCMS (2020)).

4.5 Resumo

Em conjunto, a análise apresentada nesta seção apresenta uma interpretação bastante consistente dos acontecimentos de novembro e dezembro de 2023: Um sinkhole se formou sobre a Mina 18 devido ao deslizamento de um bloco na camada superior.

Como discutido acima, este mecanismo é



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0011

- consistente com as propriedades mecânicas das rochas da camada superior,
- geomecanicamente plausível a partir de dados sobre o estado de tensão e pressão do fluido no maciço rochoso,
- consistente com a atividade sísmica observada e deformação superficial,
- com o baixo bulking inferido de cerca de 4%, e
- corresponde bem às análises numéricas descontínuas hidromecanicamente acopladas apresentadas no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) e no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b).

Sob esta interpretação, a atividade sísmica a partir de 6 de novembro indica a formação da coluna rochosa (o "pistão"), que induz deformações superficiais localizadas uma vez que as fraturas prosseguiram para as formações mais fracas Marituba 2 e Mosqueiro. Na formação real do sinkhole, o pistão totalmente formado deslizou para dentro da cavidade da Mina 18.

As variações observadas nas pressões das cavernas tamponadas podem estar relacionadas com conexões hidráulicas ao longo das camadas de folhelho, ou com a transferência de carga na camada superior devido a uma perda de arqueamento por tensão sobre a Mina 18.

Um processo de formação de sinkholes, envolvendo quedas sequenciais do teto e um movimento ascendente gradual da cavidade, parece improvável devido ao padrão de atividade sísmica e ao baixo efeito de bulking. O cone de detritos da Mina 05 possivelmente contribuiu para a menor resistência ao cisalhamento e tensão horizontal no maciço rochoso.

Devemos encerrar esta seção com algumas observações:

- A mina 18 agora está naturalmente preenchida. Devido ao caráter dinâmico do processo de formação, é improvável que permaneçam cavidades significativas no espaço vazio original.
- A rede microssísmica emitiu um aviso cinco semanas antes da formação do sinkhole. Deformações superficiais distintas foram observadas cerca de duas semanas antes; observa-se, entretanto, que o monitoramento da superfície não seria sensível a sinkholes em minas sob a lagoa (como Minas 20/21).
- O sinkhole não envolveu o colapso de um pilar. Na próxima Seção, discutiremos possíveis influências indiretas sobre outras cavernas no campo de Maceió.

5 Possíveis efeitos em outras cavidades

5.1 Colapsos da reação em cadeia?

Uma série de intensas explosões de rochas ocorreram na mineração convencional de sal e potássio (vide, por exemplo, Minkley et al., 2016). Portanto, pode-se perguntar se um colapso em grande escala é possível no campo de Maceió. Não acreditamos que isso possa ocorrer.

Primeiramente, observamos que a formação de sinkholes na Mina 18 não induziu imediatamente eventos de falha adicionais nas cavernas vizinhas.

Em segundo lugar, o mecanismo de ruptura de rocha na mineração convencional é significativamente diferente do processo de formação de sinkholes. Lembre-se que as rupturas de rocha convencionais iniciam com a ruptura frágil de um pilar, que transfere a carga da camada superior para os pilares circundantes que, por sua vez, também se rompem, resultando em uma reação em cadeia de colapsos de pilares, que só termina quando pilares de barreira maiores são alcançados. As minas são abertas, ou seja, preenchidas com ar, de modo que não há pressão confinante atuando sobre os pilares e nenhum amortecimento da camada superior em queda. Com sinkholes em uma caverna, a situação é bem diferente: As cavernas são preenchidas com salmoura, de modo que sempre há uma tensão confinante atuando nas paredes da caverna (a menos que as rochas salinas estejam suficientemente danificadas, de modo que o fluido tenha se infiltrado em uma grande parte do pilar), e o movimento das rochas em queda é amortecido. Além disso, um sinkhole representa uma falha da camada superior, e não um colapso do pilar. Assim, não há transferência de carga para os pilares circundantes, o que poderia desencadear uma sequência crescente de colapso.

Em terceiro lugar, analisamos especificamente a estabilidade dinâmica do campo de Maceió no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021b) e no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2021a) e descobrimos que, mesmo uma excitação dinâmica forte e irrealista (remoções instantâneas de pilares), não induziu falhas nos pilares circundantes.

Sendo assim, nossas análises indicam consistentemente a estabilidade do campo de cavernas de Maceió em relação a colapsos dinâmicos de pilares de reação em cadeia.

Observa-se que isso não exclui a possibilidade de que a formação do sinkhole na Mina 18 influencie indiretamente as cavernas circundantes, por exemplo, alterando o estado de tensão ou a pressão dos poros na camada superior.

5.2 Alterações geomecânicas na camada superior

Como discutido acima, a formação de sinkholes é bastante sensível ao estado de tensão e à pressão do fluido nas juntas da camada superior.

A formação do sinkhole na Mina 18 muito provavelmente modificou o estado geomecânico localmente e possivelmente regionalmente:

- O processo de formação e deslizamento da coluna rochosa presumivelmente levou a uma zona de dano local ao longo da superfície da "chaminé". A área danificada é mais fraca e menos rígida do que o maciço rochoso intacto, de modo que a tensão horizontal da camada superior circundante é reduzida.
- Devido às grandes deformações induzidas pelo aglomerado central de cavernas, a camada superior já estava próxima do limite de escoamento. As redistribuições de tensões, associadas ao processo de formação de sinkholes, provavelmente induziram deformações plásticas adicionais, ou seja, fraturas locais, que podem atuar como caminhos de fluidos. Assim, a salmoura das cavidades, que estão sob pressão halmostática, podem penetrar mais facilmente na massa rochosa de camada superior.
- Além disso, as sobrepressões dinâmicas que ocorrem durante o processo de deslizamento provavelmente causaram fraturas hidráulicas nas proximidades, introduzindo novamente salmoura a pressões mais elevadas na camada superior.
- Finalmente, alguns dos eventos sísmicos mais intensos, registrados em novembro e dezembro, foram interpretados como eventos de deslizamento em falhas regionais ou planos de estratificação horizontais. Embora os pontos anteriores afetem principalmente a área local em torno da Mina 18, este processo pode alterar potencialmente o estado de tensão em uma área maior.

Consequentemente, a formação do sinkhole na Mina M18 reduziu potencialmente a tensão horizontal e aumentou a pressão do fluido (diretamente pela injeção de fluido de alta pressão e indiretamente pela substituição de água doce por salmoura). Como resultado, outras cavernas podem agora correr um risco maior de desenvolver um sinkhole, em comparação com a situação anterior a novembro de 2023. A este respeito, as cavernas próximas e não preenchidas são de maior preocupação, especificamente a Mina 20/21.

5.3 Análise numérica preliminar

A formação de sinkholes é fundamentalmente um processo descontínuo que depende crucialmente da pressão do fluido nas juntas. Consequentemente, as análises numéricas requerem métodos descontínuos acoplados hidromecanicamente para obter uma compreensão do mecanismo subjacente.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0012

No entanto, tal modelagem é numericamente exigente e demorada. Para obter uma avaliação preliminar mais rápida dos efeitos da formação de sinkholes nas cavidades circundantes, utilizamos o modelo contínuo calibrado existente do campo de cavernas (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2023) para criar um modelo de faixa com foco no aglomerado central em torno da Mina 18. A modelagem descontínua da área está atualmente em andamento.

5.3.1 Abordagem de modelagem

O modelo de faixa (strip model) discutido aqui é baseado no Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023), em que o código numérico, a estratigrafia, os modelos e parâmetros constitutivos e a sequência de modelagem são descritos detalhadamente. Aqui, descrevemos brevemente os principais aspectos, na medida em que sejam relevantes para o problema em questão.

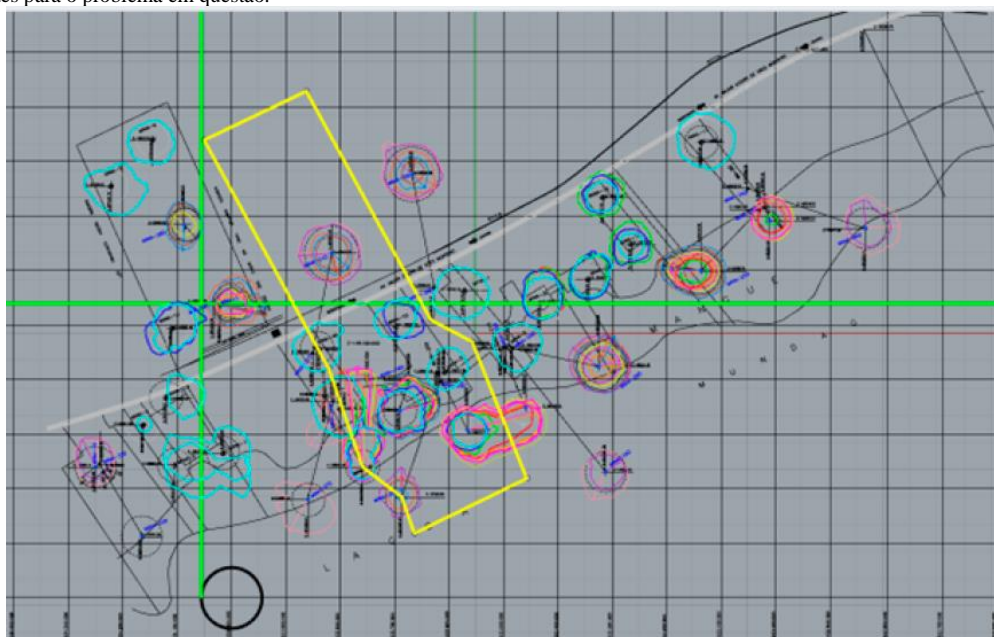
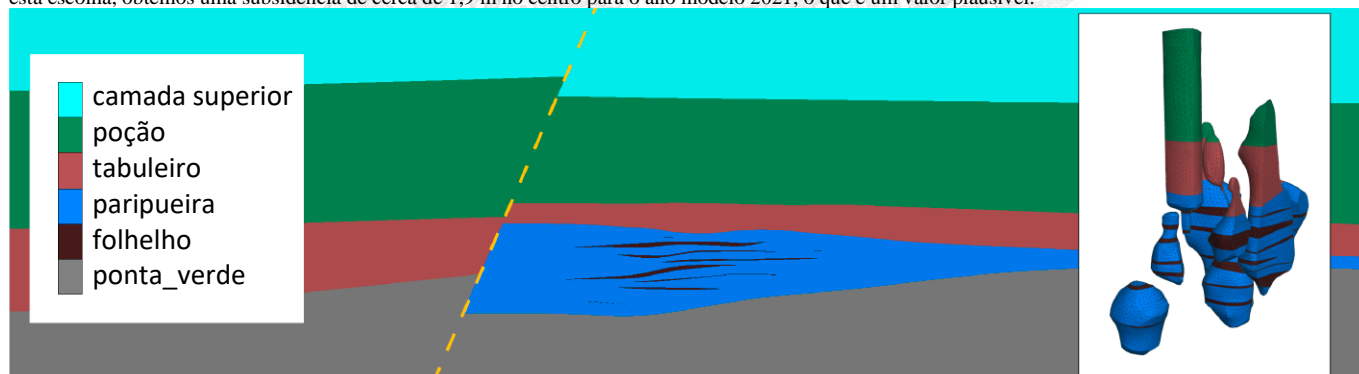


Figura 13: Localização do modelo de faixa considerado para análise do sinkhole. No modelo geomecânico, as posições das cavernas foram adaptadas de forma que o modelo seja retangular, em boa aproximação da situação do campo.

Para concentrar o esforço numérico no aglomerado de cavernas central, construímos um modelo de faixa ao longo da seção delineada na Figura 13, com a Mina M18 no centro. O modelo usa as simetrias aproximadas do campo: A orientação da faixa é ortogonal ao eixo do campo principal. As cavernas estão incluídas no modelo com propriedades de simetria apropriadas: Devido a reflexões nos limites do modelo, a Mina 31 está relacionada às Minas 30 e 17; Mina 10 à Mina 01; Mina 05 à Mina 08; As minas 20/21, 04, 07, 19 e 21 sem parceiros de simetria são incluídas como meias-cavernas cortadas ao longo de sua linha central.

A camada superior é modelada com um modelo de juntas ubíquas modificado, compreendendo quatro planos verticais de fraqueza implícita em ângulos de 45°. Estes planos de fraqueza fornecem uma descrição eficaz da degradação do maciço rochoso em comparação com a rocha intacta. As propriedades de cisalhamento foram determinadas em uma calibração adaptando a bacia de subsidência às observações (InSAR e DGPS) em campo. As propriedades da rocha intacta foram derivadas de testes laboratoriais.

O modelo de faixa representa uma seção através da parte mais intensamente minerada do campo e, portanto, superestimaria significativamente a subsidência no centro quando as propriedades de cisalhamento calibradas fossem usadas. Assim, presumimos uma coesão adicional nas juntas ubíquas de 1 MPa, reduzindo para um valor residual de 0,1 MPa uma vez que as juntas implícitas tenham falhado. Todos os outros parâmetros do modelo são mantidos inalterados. Com esta escolha, obtemos uma subsidência de cerca de 1,9 m no centro para o ano modelo 2021, o que é um valor plausível.





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0013

Figura 14: Estratigrafia do modelo; internamente uma imagem aproximada da composição estratigráfica das cavernas. Os estratos acima de Poção (Barreiras a Mosqueiro) são combinados em uma camada superior. O estrato salino de Paripueira contém diversas camadas de folhelho cortadas pelas cavernas. A maioria das cavernas do modelo migrou para a camada superior (formação Tabuleiro dos Martins ou Poção).

O sinkhole é explicitamente incluído no modelo por meio da reinicialização da tensão na rocha. O novo estado de tensão no cilindro vertical que conecta a Mina 18 e a superfície, que representa o contorno estimado do sinkhole, é calculado presumindo conservadoramente uma densidade de $1,5 \text{ t/m}^3$ e um coeficiente de tensão lateral de 0,5. Além disso, os parâmetros mecânicos são modificados: A coesão é zero e os parâmetros elásticos são presumidos como $E = 30 \text{ MPa}$ e $\nu = 0,15$. Finalmente, uma poro-pressão halmostática é aplicada em todo o cilindro do sinkhole. A massa rochosa no cilindro se equilibrará com o entorno, levando à subsidência no sinkhole e à redução da tensão horizontal nas proximidades.

Para obter resultados em tempos razoáveis, as simulações são puramente mecânicas, ou seja, não modelamos explicitamente a propagação de fluidos. Consideramos indiretamente a migração da salmoura das cavidades para a camada superior, de acordo com o seguinte algoritmo:

- Assim que a salmoura no interior das cavernas entra em contato com a camada superior (ou seja, as cavernas migram para cima devido ao colapso do teto), um ciclo de busca de zona procura as zonas fraturadas no limite da caverna, ou seja, aquelas em que as juntas implícitas e ubíquas falharam. Essas zonas estão marcadas.
- Assim que todas as zonas com falha ao longo do contorno da caverna forem identificadas, outro processo de busca procura zonas com falha adjacentes às zonas marcadas.
- A segunda etapa é repetida até que não sejam encontradas mais zonas com falha conectadas a quaisquer zonas marcadas no modelo.

Presume-se que as zonas marcadas sejam preenchidas com salmoura a partir das cavidades (ou do cilindro do sinkhole); assim, eles recebem uma poro-pressão halmostática e uma coesão residual da junta ubíqua. O algoritmo é repetido regularmente para atualizar a lista de zonas influenciadas pela salmoura após o processo de deformação na camada superior.

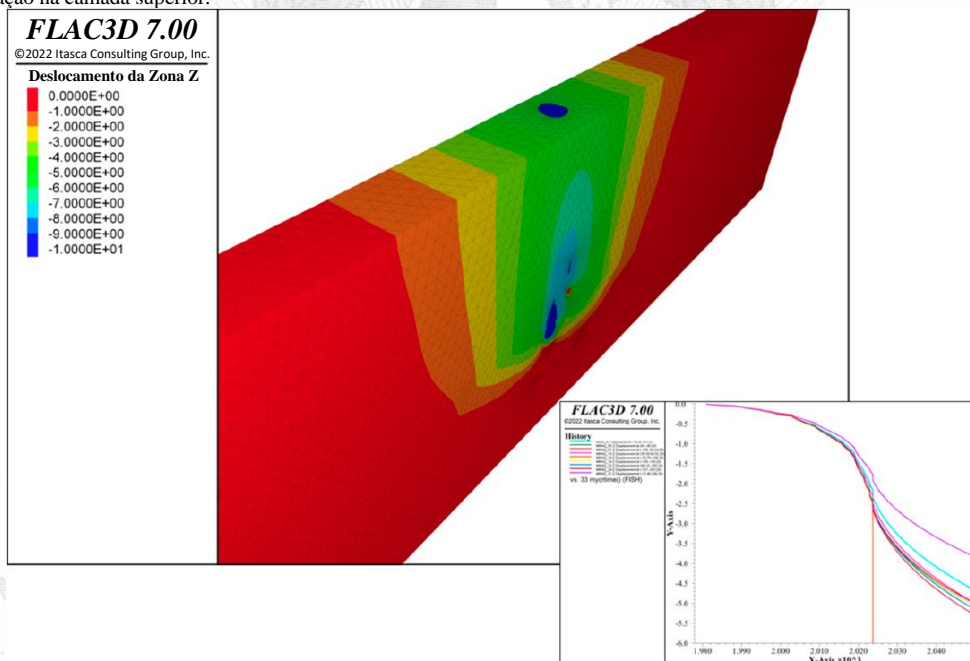


Figura 15: Deslocamento vertical no modelo em dezembro de 2023. O sinkhole localizado é sobreposto à bacia de subsidência contínua. O canto inferior direito mostra o deslocamento vertical em pontos superficiais acima das cavernas, com a formação do sinkhole visível como uma linha vertical. As taxas de subsidência continuam diminuindo, de modo semelhante ao modelo de campo completo (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2023).

5.3.2 Resultados

Na Figura 15, mostramos o deslocamento vertical no modelo, após a formação do sinkhole. O deslocamento do sinkhole é nitidamente localizado e sobreposto ao vale de subsidência suavizada, criado pela convergência da caverna. No modelo contínuo, a formação de sinkholes não leva a instabilidades em outros locais; em vez disso, a subsidência superficial sobre as cavernas restantes desacelera devido às medidas de backfilling implementadas até 2023 (observa-se que não consideramos cenários específicos de abandono; nenhuma medida adicional de backfilling ou pressurização foi implementada após 2023).

Por outro lado, a pressão dos poros no modelo muda, como podemos observar nas Figuras 16 e 17: Os gráficos mostram a pressão dos poros imediatamente antes e depois da formação do sinkhole para uma seção central por meio do modelo (incluindo as Minas 18 e 31) e o limite Sudeste (intersectando a Mina 20). Especificamente, novas zonas danificadas aparecem no topo da formação Poção. Vale também ressaltar o formato da região infiltrada de salmoura acima da Mina 20, em que se formaram estruturas verticais. Devido à sua posição na borda da caverna, a tensão horizontal acima da Mina 20 é reduzida devido às deformações extensionais da deformação da camada superior, induzida pelo aglomerado de cavernas.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0014

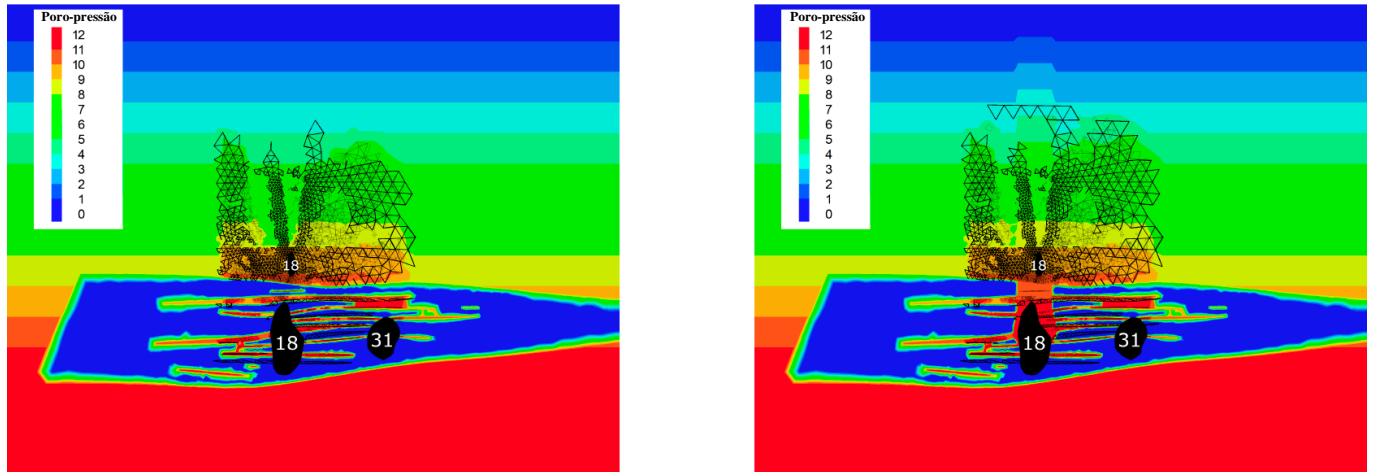


Figura 16: Poro-pressão no modelo de faixa (em MPa): Corte ao longo do centro do modelo através das Minas 18 e 31. Os contornos das zonas visíveis indicam a região influenciada pela salmoura antes (esquerda) e imediatamente após a formação do sinkhole. Nenhuma poro-pressão é aplicada no sal.

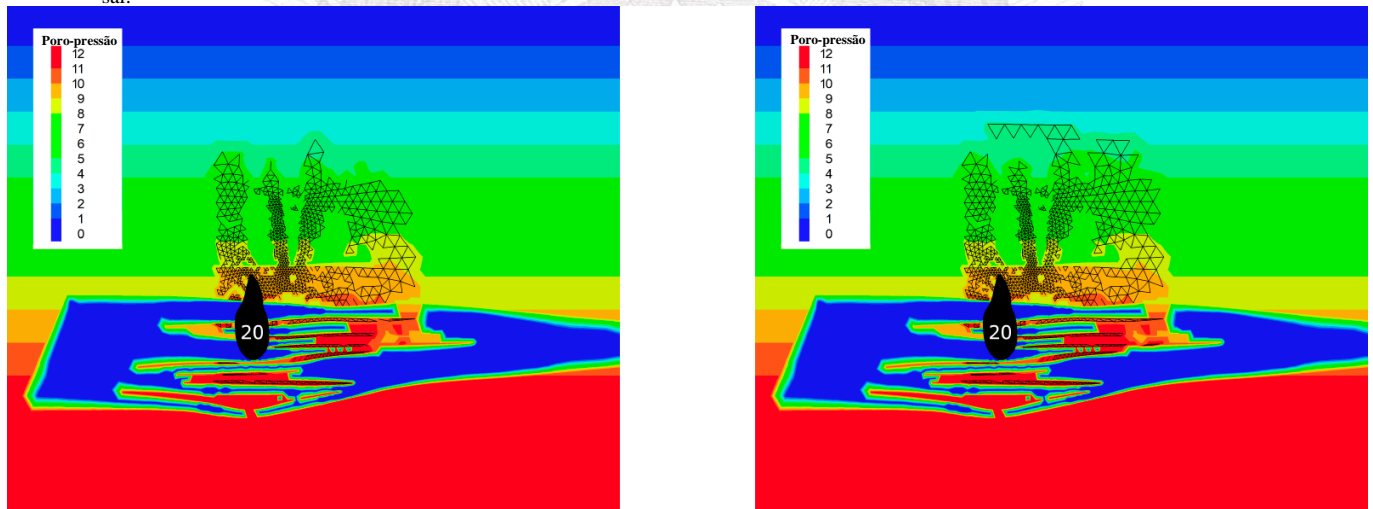


Figura 17: Poro-pressão no modelo de faixa (em MPa): Limite Sudeste do modelo com a Mina 20. Os contornos das zonas visíveis indicam a região influenciada pela salmoura antes (esquerda) e depois (direita) da formação do sinkhole.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0015

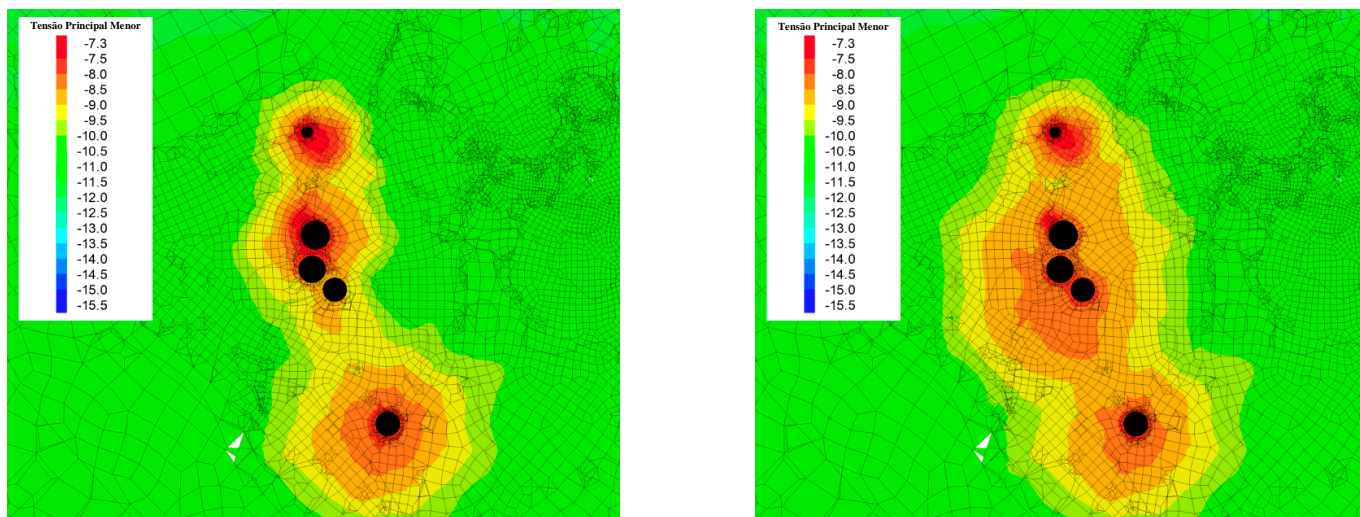


Figura 18: Tensão principal menor no modelo do campo completo antes (esquerda) e depois (direita) do sinkhole. Seção horizontal em profundidade de 750 m, Norte para cima. Cavernas visíveis (de cima para baixo) M03, M07, M18, M05 e M25.

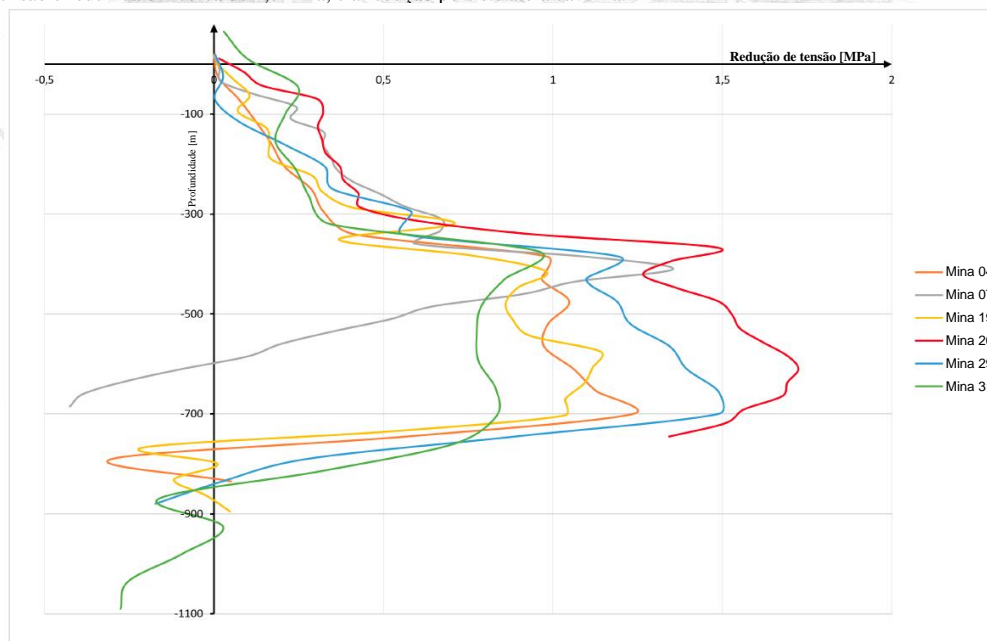
O modelo de faixa cruza a falha do lago a Oeste do campo da caverna (vide Figura 14). Em uma variação do modelo, incluímos a falha como uma interface com ângulo de atrito de 30° e sem coesões. O Apêndice 3-2 mostra o estado mecânico da interface. Claramente, a formação de sinkholes leva à falha localizada, de forma consistente com os eventos sísmicos observados localizados a Oeste do aglomerado central de cavernas.

5.3.3 Modelo de campo

Para analisar as mudanças no estado de tensão em todo o campo da caverna, o sinkhole foi incluído no modelo completo do Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2023) da mesma forma descrita acima (observa-se que o algoritmo de busca de zona realizado no modelo de faixa é computacionalmente dispendioso e aumenta significativamente o tempo de execução, não sendo viável para o modelo em escala de campo, dado o escopo deste Memorando).

A Figura 18 mostra a tensão principal menor (horizontal) imediatamente antes e depois da formação do sinkhole. O relaxamento das tensões do processo de formação reduziu as tensões horizontais em uma região significativa, especificamente no aglomerado central.

A redução de tensão acima de uma caverna pode ser avaliada ao longo de uma linha que vai do teto até a superfície, tomando uma média adequada para suavizar a dispersão entre zonas vizinhas. A Figura 19 mostra as curvas correspondentes para as Minas 04, 07, 19, 20, 29 e 31. A tensão é reduzida em até 1,5 MPa; os valores são geralmente mais elevados na formação Poção e significativamente mais baixos na camada superior e no folhelho do Tabuleiro dos Martins. Para a maioria das cavernas, a tensão na área imediata do teto da caverna não é significativamente reduzida ou mesmo ligeiramente elevada. Em contraste, para a Mina 20, a tensão é reduzida em cerca de 1,7 MPa, e a redução persiste até a caverna.





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0016

Figura 19: Redução de tensões principais menores acima das Minas 04, 07, 19, 20, 29 e 31.
Tabela 1: Alterações da pressão interior em cavernas tamponadas versus distância até a Mina 18.

Mina	Distância até M18 (m)	Alteração de pressão (MPa)
M10	160	0,61
M01	250	0,47
M31	320	0,16
M35	400	0,16
M13	430	0,18
M30	440	0,14
M32	570	0,09

As cavernas tamponadas são incluídas no modelo como um fluido rígido (com módulo de volume [bulk modulus] $K = 2,5$ GPa). A pressão interior reage às mudanças de tensão na camada superior, conforme resumido na Tabela 1. A alteração de pressão está na faixa de 0,1 MPa a 0,6 MPa, e mostra uma clara relação inversa com a distância da Mina 18. Os valores calculados são superiores às alterações de pressão observadas 2; entretanto, no modelo, a formação de sinkholes foi simulada como um processo instantâneo, enquanto *in situ* durou várias semanas. Portanto, a redistribuição da tensão elástica é provavelmente superestimada. Assim, o modelo oferece uma reprodução plausível do comportamento do sistema nesse aspecto.

6 Conclusões e recomendações

Nesta nota técnica, apresentamos nossa primeira avaliação do processo de formação de sinkholes na Mina 18, no campo de cavernas de Maceió, com base nos dados disponíveis e em simulações numéricas preliminares.

A interpretação mais provável é que um sinkhole foi formado pelo deslizamento de blocos na camada superior. Este mecanismo é geomecanicamente plausível em relação às propriedades mecânicas das rochas de camada superior, ao estado de tensão e à pressão do fluido. É consistente com o padrão de atividade sísmica e de deformação superficial. Finalmente, está de acordo com investigações numéricas descontínuas anteriores (Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021a; Institut für Gebirgsmechanik GmbH 2021b).

É provável que todo o espaço relevante da cavidade na Mina 18 tenha sido preenchido. O IfG não espera mais deformações significativas acima da Mina 18. Provavelmente, tentar localizar os espaços vazios restantes não será eficiente. Análises sísmicas de poços cruzados (tomografia sísmica crosswell) podem confirmar o preenchimento da cavidade. Recomendamos manter o raio de segurança em torno da Mina 18 no lugar, de forma conservadora.

A rede microssísmica provou ser uma ferramenta muito valiosa para fornecer aviso prévio antes do sinkhole e monitorar os processos de fratura na camada superior. O padrão característico de deformações superficiais fortaleceu a interpretação das observações antes mesmo da formação do sinkhole; observa-se, entretanto, que as deformações superficiais não seriam observáveis nas cavidades sob a lagoa.

Recomendamos continuar o programa de monitorização, com especial atenção ao aglomerado central de cavernas.

A formação do sinkhole é um processo fortemente localizado, que não envolve o colapso de pilares e não se espera que conduza a colapsos de cavernas com efeito dominó. No entanto, o processo alterou o estado de tensão e a pressão do fluido na camada superior localmente e, possivelmente, regionalmente. Assim, a suscetibilidade de outras cavernas à formação de sinkholes provavelmente aumentou. Simulações preliminares mostram uma diminuição da tensão horizontal e um aumento da pressão dos poros acima de outras cavernas, principalmente acima da Mina 20/21. É possível que potenciais futuros eventos de sinkholes tenham um tempo de alerta mais curto entre os primeiros eventos sísmicos e a formação do sinkhole propriamente dito. Simulações descontínuas hidromecanicamente acopladas para reproduzir a formação do sinkhole e para melhor avaliar a evolução futura estão atualmente em andamento.

As minas preenchidas nas proximidades permaneceram estáveis. Assim, o objetivo principal do backfilling foi alcançado. Por outro lado, é possível que as atividades de backfilling tenham contribuído para o aumento da pressão do fluido na camada superior, substituindo a água doce por salmoura e introduzindo sobrepressões durante a injeção do backfilling. Aconselha-se monitorar a pressão da caverna durante o processo de backfilling e minimizar as sobrepressões, por exemplo, controlando a taxa de retirada.

Devido à natureza localizada do processo, os efeitos da formação de sinkholes nas regiões externas da bacia de subsidência são plausivelmente pequenos. Vale ressaltar que o sinkhole não causou danos a pessoas, apenas pequenos danos materiais.

Os raios de segurança e o sistema de alerta sísmico indicam que potenciais futuros sinkholes apresentam um risco administrável. No entanto, o backfilling representa a forma mais segura de descartar novos eventos. Isto também se aplica às cavidades que estão atualmente no grupo de "monitoramento". Recomendamos considerar os resultados da modelagem em andamento para determinar as prioridades de backfilling. Entretanto, recomendamos a continuação das atuais atividades de backfilling (Minas 25 e 27).

Referências

- ACCMS (2020). *Analysis Report of the possible causes of land instabilities in Pinheiro, Mutange and Bebedouro districts, Maceió (AL)*. Tech. rep. Marcelo Assumpção et al.
- Bérest, P. (2017). "Cases, causes and classifications of craters above salt caverns." Em: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 100, pp. 318–329. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2017.10.025.
- Brandt Meio Ambiente Ltd. (2021). *Closing Plan of Mining Fronts 05, 06, 08, 14, 24 D*. Tech. rep. Nova Lima, Minas Gerais, Brasil, outubro de 2021. Brandt Meio Ambiente Ltda.
- Farina, P. and A. Ciampalini (2024). *Calculation of the subsidence volume resulting from the event occurred in the period 20 November – 10 December 2023*. Tech. rep. Geoapp.
- Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2019). *Expert Judgement Cavern Field Maceió: Recommendations*. Report B IfG 41a/2019. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2020). *Cavern Field Maceió: Expert Judgement System Stability*. Report B IfG 41e/2019. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2021a). *Cavern Field Maceió: 2D Discontinuous Models and Geomechanical Process Understanding*. Report B IfG 41b/2019. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0017

- (2021b). *Cavern Field Maceió: 3D Discontinuous Modelling and System Stability*. Report B IfG 41g/2019. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2021c). *Cavern Field Maceió: Analysis of Subsidence and Remediation Measures*. Report B IfG 41c/2019. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2021d). *Cavern Field Maceió: Memo Regarding Safe Cavern Abandonment*. Report B IfG 41d/2019. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2021e). *Cavern Field Maceió: Recommendations Regarding Backfill of Additional Caverns*. Report B IfG 22a/2021. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2022). *Rock Mechanical Investigations of the Salt Formation and the Overburden of the Braskem Cavern Field Maceió – Test Results and Parameter Evaluation* –. Report B IfG 22b/2021. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- (2023). *Cavern Field Maceió: Modelling and Assessment of Current State and Stabilisation Measures and Their Future Effects*. Report B IfG 22c/2021. Leipzig, Alemanha: Institut für Gebirgsmechanik GmbH.
- Jousset, P. and J. Rohmer (2012). “Evidence for remotely triggered microearthquakes during salt cavern collapse”. Em: *Geophysical Journal International* 191.1, pp. 207–223. ISSN: 0956-540X. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2012.05598.x. eprint: <https://academic.oup.com/gji/article-pdf/191/1/207/5893839/191-1-207.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05598.x>.
- Minkley, W. and U. Groß (1990). “Sliding of blocks in the top rock, a model for rockburst of the regional type”. Em: *Gerlands Beiträge Geophysik* 99.5, pp. 487–491.
- Minkley, W., J. Mühlbauer and C. Lüdeling (2016). “Dimensioning Principles in Potash and Salt: Stability and Integrity.” Em: *Rock Mechanics and Rock Engineering* 49.11, pp. 4537–4555. ISSN: 1434-453X. DOI: 10.1007/s00603-016-1086-x. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1086-x>.
- Minkley, W., C. Lüdeling and A. Taghichian (2022). “Mechanism for the formation of sinkholes above deep salt caverns.” Em: *Mechanical Behavior of Salt* X. Ed. by J. de Bresser, M. Drury, P. Fokker, M. Gazzani, S. Hangx, A. Niemeijer and C. Spiers. Leiden: CRC Press/Balkema. ISBN: 9781032282206. DOI: 10.1201/9781003295808.
- Nayak, A. and D. S. Dreger (2014). “Moment Tensor Inversion of Seismic Events Associated with the Sinkhole at Napoleonville Salt Dome, Louisiana.” Em: *Bulletin of the Seismological Society of America* 104.4, pp. 1763–1776. ISSN: 0037-1106. DOI: 10.1785/0120130260. eprint: <https://pubs.geoscienceworld.org/bssa/article-pdf/104/4/1763/2674106/1763.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1785/0120130260>.
- Neunhöfer, H. (1997). “Überwachung nichttektonischer Erderschütterungen in Mittel-/Ostdeutschland mit lokalen seismischen Stationen.” Em: *Zur Geschichte der Geophysik in Deutschland. Jubiläumsschrift zur 75jährigen Wiederkehr der Gründung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*. Ed. by H. Neunhöfer, M. Bömgén, A. Junge and J. Schweitzer.
- Royal HaskoningDHV (2013). *Milieu-effectrapport Pilot Stabilisatie Cavernes Twente*. Tech. rep. https://lap3.nl/publish/pages/138150/royalh_milieu-effectrapport_pilot_stabilisatie_cavernes_twente.pdf. Royal HaskoningDHV.
- WEP (2020). *Cavern migration risk analysis regarding the Maceió brine field*. Tech. rep. Preparado por A. Duquesnoy. Well Engineering Partners, Hoogeveen, Países Baixos.

Apêndice

Apêndice 1: Layout do campo

1-1: Layout do campo da caverna

Apêndice 2: Detalhes de eventos

2-1: Mina 18: Levantamentos por sonar

2-2: Deslocamentos DGPS nos estágios iniciais da Fase 2

2-3: Deslocamentos de DGPS

Apêndice 3: Simulações numéricas

3-1: Modelo de faixa com cavernas

3-2: Estado de deslizamento de falha



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

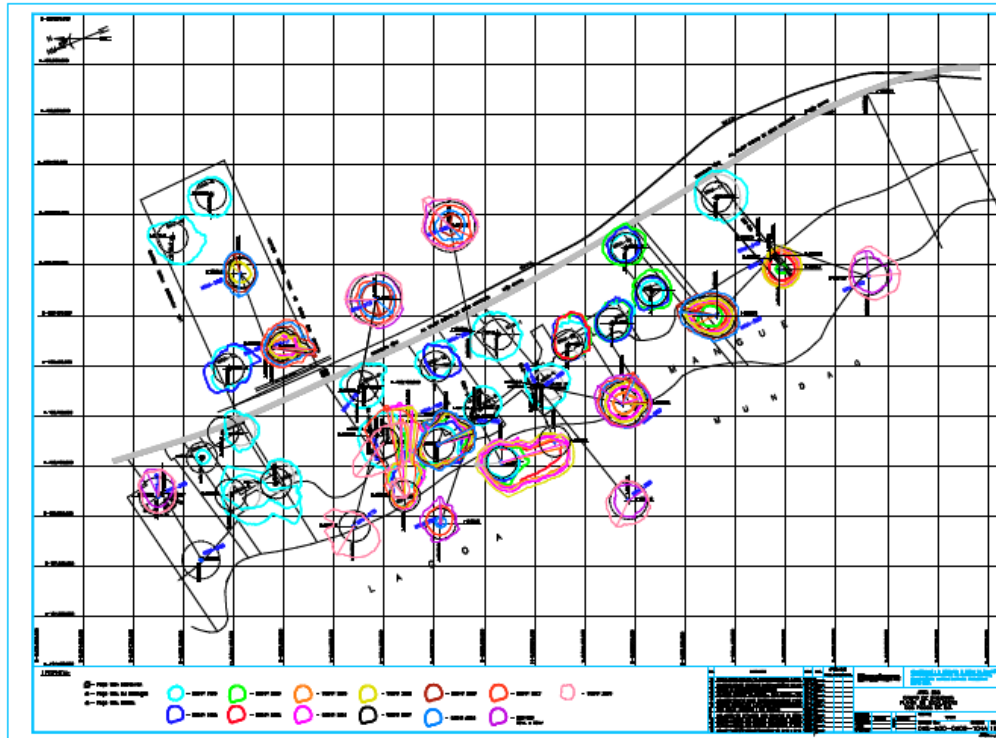
Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

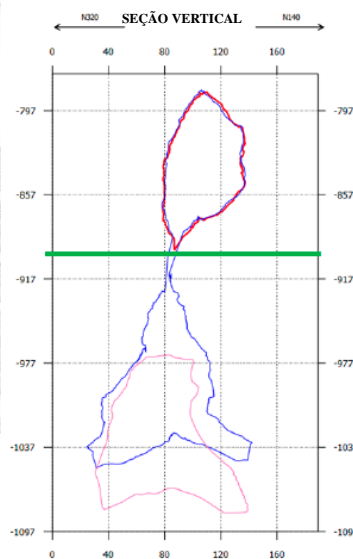
TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0018



	<p>Institut für Gebirgsmechanik GmbH Modelagem Geomecânica</p>	<p>Layout do campo de cavernas de Maceió (Fonte: Braskem)</p>	<p>Apêndice 1-1</p>
--	--	---	---------------------



	<p>Institut für Gebirgsmechanik GmbH Modelagem Geomecânica</p>	<p>Mina 18: Levantamentos por sonar realizados em agosto de 2019 (rosa), agosto de 2023 (azul) e novembro de 2023, pouco antes do início dos eventos sísmicos (vermelho; componente inferior inacessível). (Fonte: Braskem)</p>	<p>Apêndice 2-1</p>
--	--	---	---------------------



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

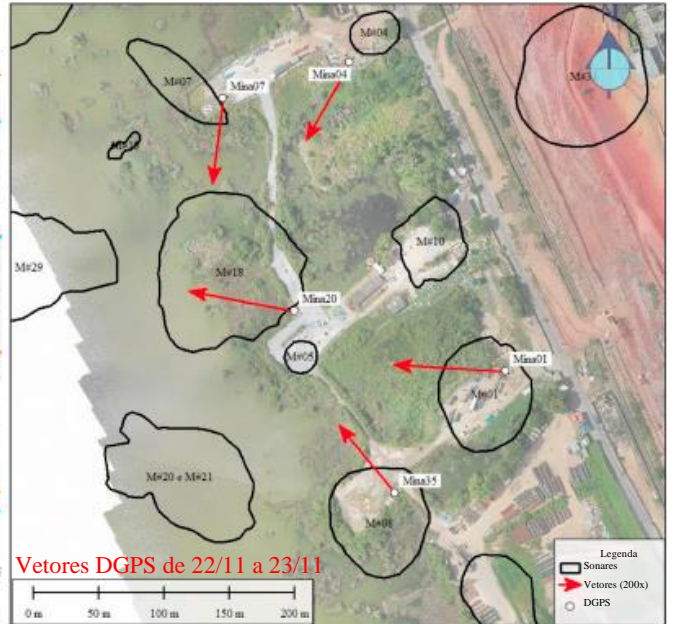
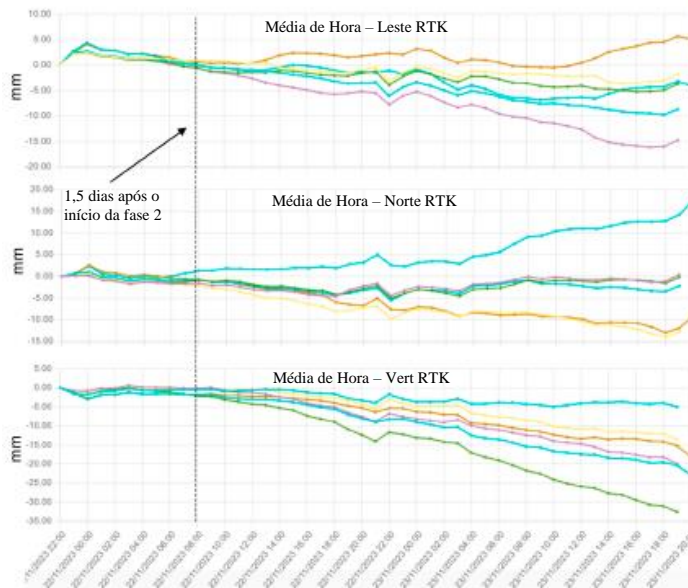
TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0019

Instrumentos

DG02, Mina01, Mina04, Mina07, Mina20, Mina35



Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Modelagem Geomecânica

Deslocamentos de DGPS nas etapas iniciais da Fase 2.
(Fonte: Braskem) (Fonte: Braskem)

Apêndice 2-2

Média de Hora – Leste 1h



Média de Hora – Norte 1h



Média de Hora – Vert 1h



Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Modelagem Geomecânica

Deslocamentos de DGPS. A estação Mina 20 mostrou
aceleração significativa a partir de 27 de novembro. (Fonte: Braskem)

Apêndice 2-3



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

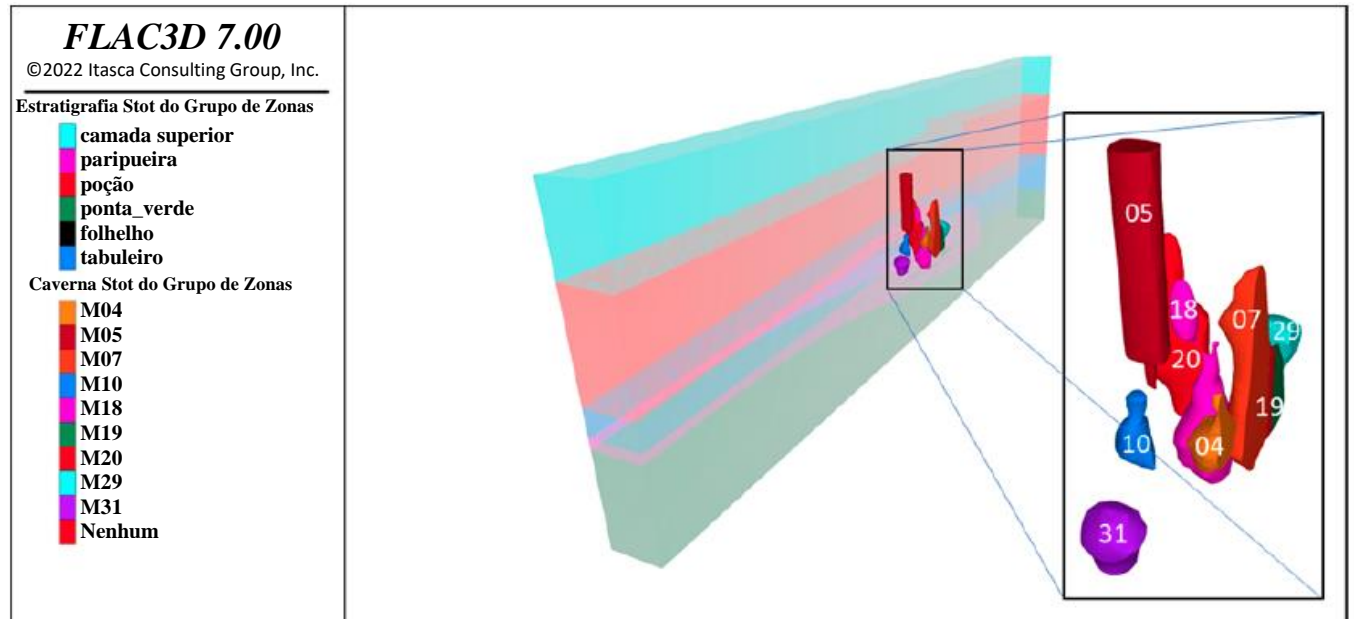
Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

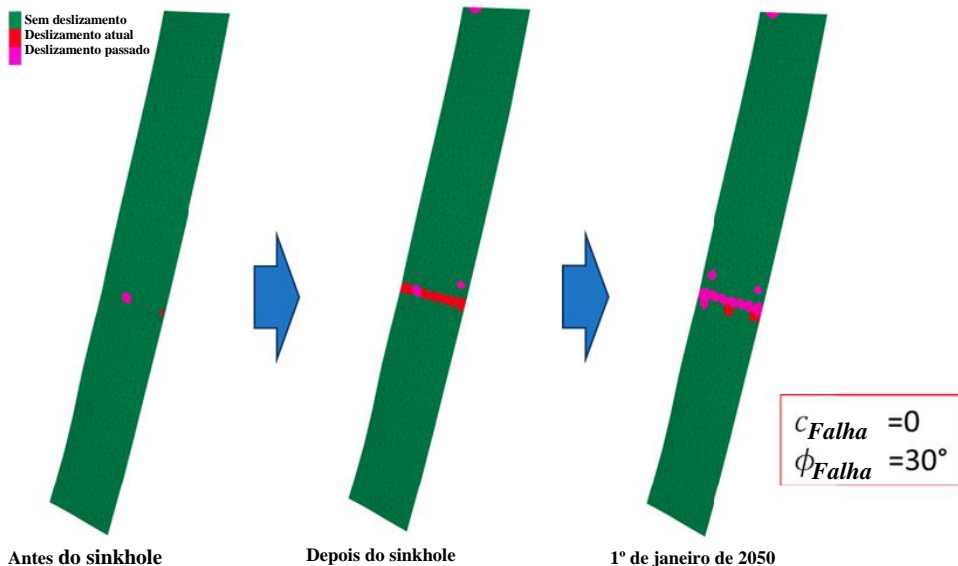
TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0020



	Institut für Gebirgsmechanik GmbH Modelagem Geomecânica	Modelo de faixa do aglomerado central do campo de Maceió, com cavernas destacadas no centro do modelo	Apêndice 3-1
--	--	---	--------------



Antes do sinkhole

Depois do sinkhole

1º de janeiro de 2050

	Institut für Gebirgsmechanik GmbH Modelagem Geomecânica	Estado de deslizamento ao longo da falha indicada na Figura 14.	Apêndice 3-2
--	--	---	--------------



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA**

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL-- *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/*English - Portuguese*

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21 0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.281

LIVRO Nº 64

PÁGINA Nº 0021

NADA MAIS constava do referido original, que devolvo ao interessado com esta tradução fiel que conferi, achei conforme e assino, na data abaixo. DOU FÉ. Em 20 de março de 2024.

Emolumentos de acordo com a lei.



Este documento foi assinado digitalmente por ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA.

Para verificar as assinaturas acesse <https://www.qrassinaturas.com.br/>

e informe o código GPBH-95ZF-D6UF-YZFF





ID: 5891487

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.

ATUALIZAÇÃO PLANO DE FECHAMENTO

22/03/2024



- **Apresentação Relatório IfG**
 - **Análise dos dados da ocorrência da cavidade 18**
 - Descrição do mecanismo de *sinkhole* de acordo com o IfG
 - Análises numéricas preliminares
 - Conclusões e Recomendações
- Proposta de atualização do Plano de Fechamento das frentes de lavra

ANÁLISE DOS DADOS DE MONITORAMENTO

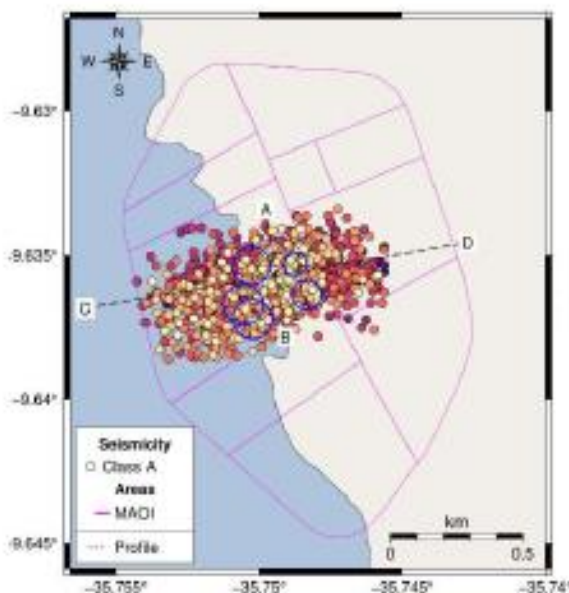
OCORRÊNCIA CAVIDADE 18

Sismicidade

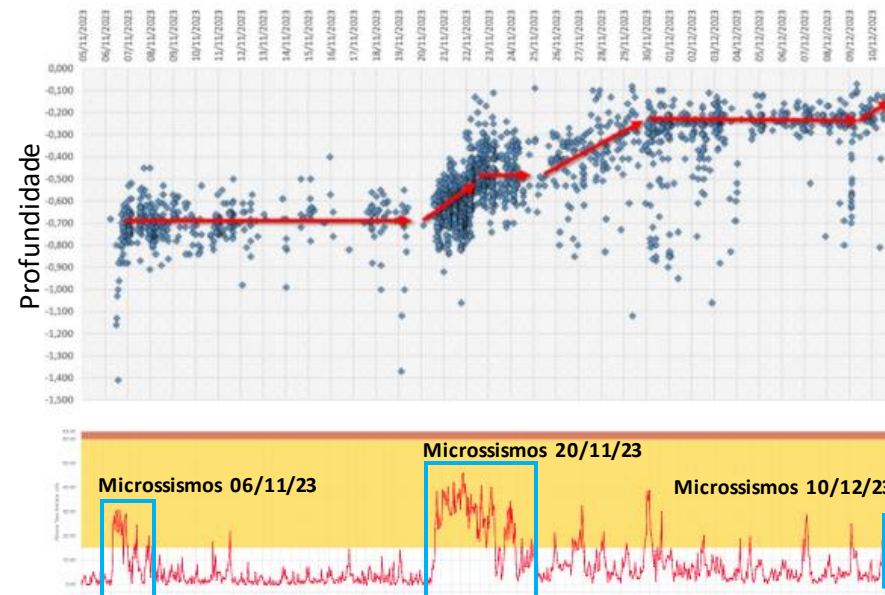
- Duas fases de alta sismicidade durante o mês de novembro (Fase 1 em 06 a 08/11/23 e Fase 2 em 20 a 23/11/23), com eventos localizados na área da cavidade 18 e com profundidades ascendentes ao longo do tempo
- A partir da Fase 2, sismos com maior magnitude foram registrados, tendo atingido a maior magnitude (1,77 MI) em 28/11/23
- No dia da ocorrência (10/12/23), não houve sismicidade relevante

Deslocamento do solo

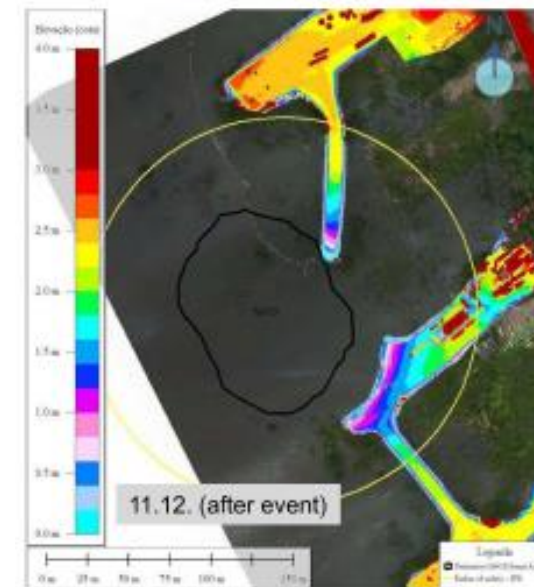
- A partir do dia 21/11/23, sensores DGPS instalados na superfície no entorno da cavidade 18 começaram a registrar deslocamentos atípicos
- O deslocamento agravou durante o período de 27/11 a 01/12/23, atingido valores próximos a 1,4 metros no sensor DGPS “Mina 20” localizado próximo ao local
- A partir do dia 29/11/23, fissuras começaram a ser observadas no solo, formando um padrão concêntrico no entorno da cavidade



Localização dos eventos



Taxa horária de eventos sísmicos



Deslocamento do solo

ESTUDO DE BATIMETRIA E FATOR DE EMPOLAMENTO

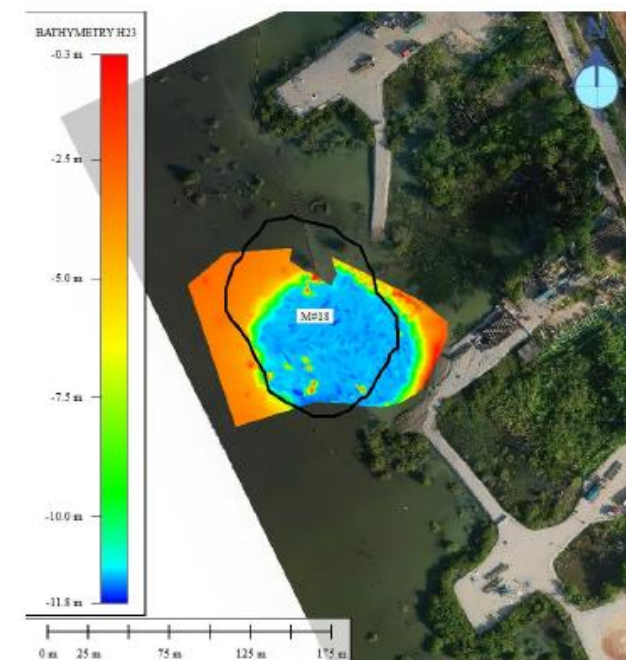
OCORRÊNCIA CAVIDADE 18

Batimetria

- Após a ocorrência do sinkhole, em 10/12/23, campanhas de batimetria foram realizadas com ecobatímetro não tripulado, a partir das quais foi identificada a área de afundamento
- Análises realizadas pela Geoapp indicaram um volume de influência em superfície em torno de **230.000 m³**

Sinkhole x Fator de Empolamento

- A formação de um sinkhole pode ser ocasionada por deslizamento de blocos ou por outro mecanismo conhecido como fraturas sucessivas da camada sobrejacente
- Este processo de fraturas sucessivas do teto de uma cavidade é típico de camadas friáveis e explica o mecanismo de autopreenchimento de algumas cavidades no campo de Maceió, como exemplo a M05
- Os detritos frágeis e fraturados da sequência de pequenas fraturas e quedas de teto preenchem um volume maior do que o volume original da rocha, fenômeno este conhecido como fator de empolamento, que geralmente se apresenta em valores entre 1,1 a 1,3
- Para o caso da cavidade 18, a partir do volume estimado de **230.000 m³** em superfície, encontrou-se um fator de empolamento em torno de 1,04, o que é compatível com um processo de deslizamento de blocos e não de quedas sucessivas de teto
- Observa-se, inclusive, que o fator de empolamento estimado para outras cavidades autopreenchidas, como a M05, foi em torno de 1,17



Superfície gerada pelo estudo de Batimetria

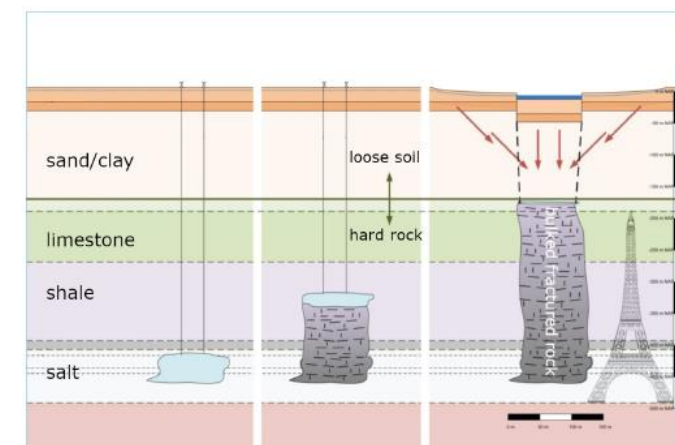
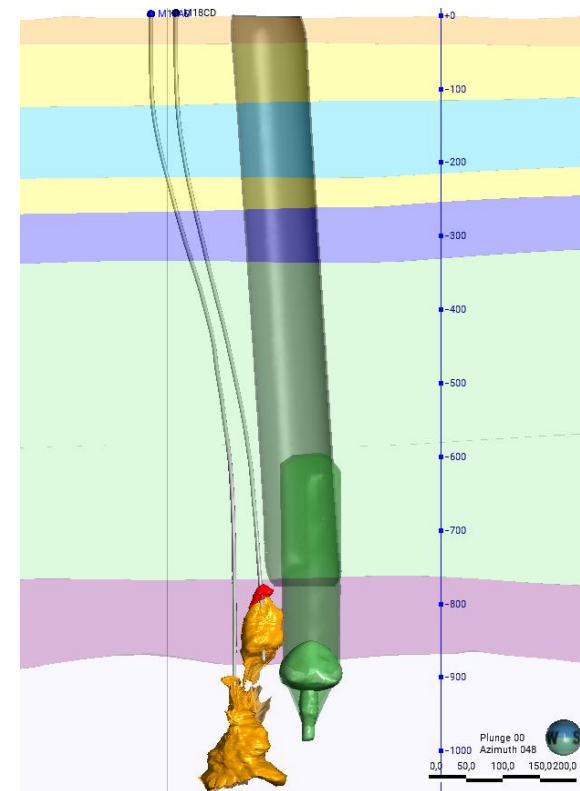


Ilustração não exaustiva do empolamento de rochas

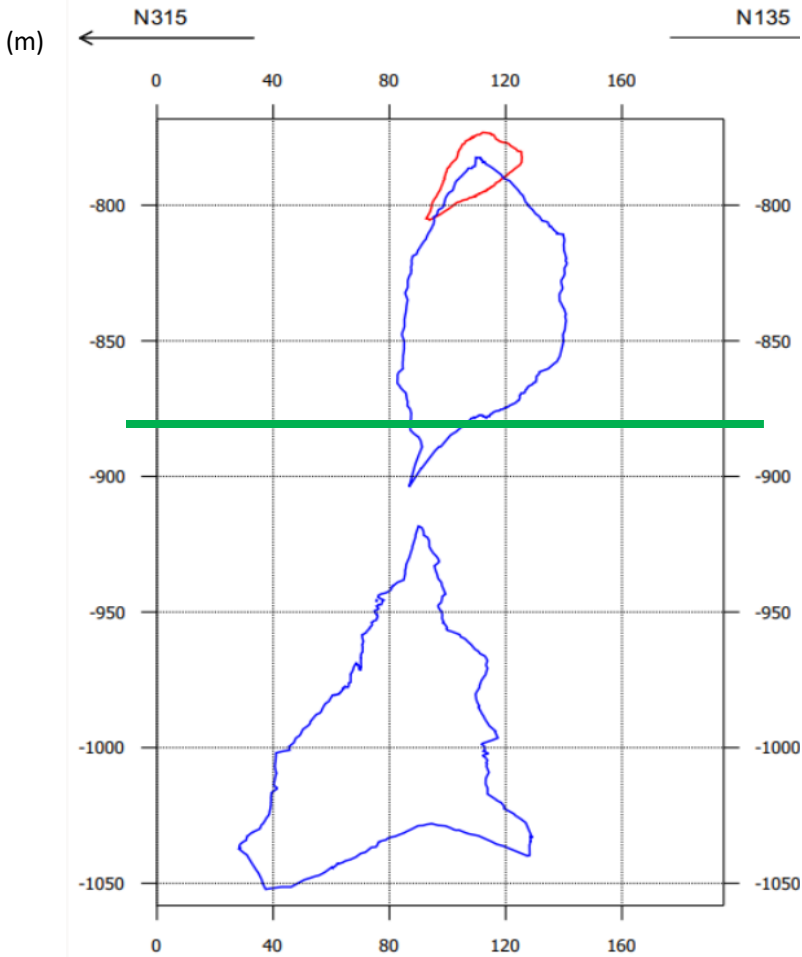
DADOS DA CAVIDADE 18



- Inferência do cone de ascensão da cavidade 05
- Sonar da cavidade 18 em Ago/23
- Sonar da cavidade 18 em Mar/24

O cilindro que conecta o último sonar da cavidade 05 e o potencial remanescente preenchido é denotado como o cone de detritos da cavidade 05 – esse se aproxima do caminho potencial da cavidade durante o processo de autopreenchimento e é plausível que esteja preenchido com detritos não compactados. Esse cone de detritos possivelmente toca a parte superior da cavidade 18, em sua antiga geometria.

CAVIDADE 18: Provável autopreenchimento em função do sinkhole



Legenda

- Sonar Fev/2024
- Sonar Ago/2023

Página 93



Volume

Ago/23 – 489.527 m³
Mar/24 – 4.971m³

Topo da cavidade

Ago/23 – 786 m
Mar/24 – 773 m

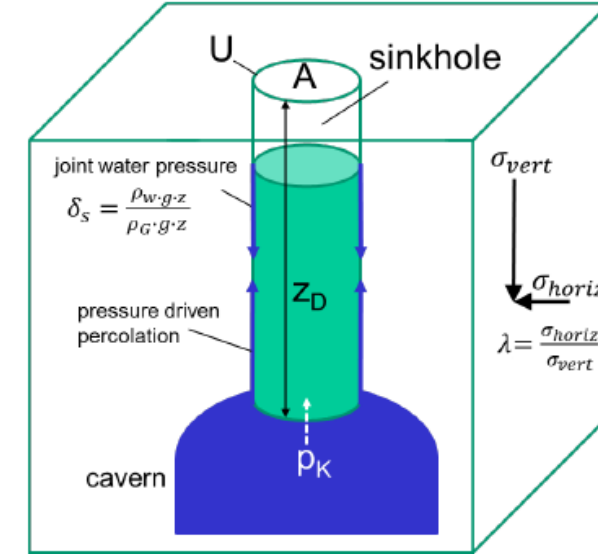
Topo do Sal 891m*

*Topo do sal: Dados de topo de sal retirados do poço principal

- **Apresentação Relatório IfG**
 - Análise dos dados da ocorrência da cavidade 18
 - **Descrição do mecanismo de *sinkhole* de acordo com o IfG**
 - Análises numéricas preliminares
 - Conclusões e Recomendações
- Proposta de atualização do Plano de Fechamento das frentes de lavra

DESCRIÇÃO DO MECANISMO DE *SINKHOLE* DE ACORDO COM O IFG

- Formação de sinkhole por deslizamento de blocos, definido pelo mecanismo exemplificado ao lado
- Pela equação, o diâmetro crítico aumenta com o aumento da profundidade z , então em geral, cavidades mais profundas são mais seguras. No entanto, o diâmetro crítico depende, sensivelmente, da tensão horizontal e da poro-pressão**
- O mecanismo de deslizamento de blocos não está associado a fatores de empolamento significativos. Portanto, sinkholes podem se formar por este mecanismo em cavidades profundas
- A tensão horizontal em um campo de cavidades será diferente da tensão de um campo virgem. Por exemplo, a tensão horizontal é geralmente decrescida devido a deformação extensional na borda do campo de cavidades
- Para tensão horizontal isotrópica, uma coluna circular é a configuração menos estável, o que está de acordo com o fato de sinkholes serem frequentemente circulares. Para tensões horizontais anisotrópicas, o sinkhole se torna elíptico
- Para uma cavidade selada propriamente abandonada, a pressão interior é igual a pressão litostática ($F_g - F_{cav} = 0$), portanto sinkholes não podem se formar



$$F_G = gz_D A \rho_{\text{rock}} \quad F_{\text{cav}} = p_{\text{cav}} A. \quad F_G - F_{\text{cav}} < F_{\text{shear}}^{\text{max}}$$

$$\left(\frac{A}{U}\right)_{\text{crit}} = \frac{1}{2} \tan \phi \frac{z_D (\lambda \rho_{\text{rock}} - \rho_{\text{fl}}) - 2 \frac{p_a}{g}}{\rho_{\text{rock}} - \rho_{\text{br}}}$$

For a circular column, $A/U = D/4$

ANÁLISE DO MECANISMO PARA O CASO DA CAVIDADE 18

- Consolidando os dados, tem-se uma interpretação consistente dos eventos ocorridos entre novembro dezembro/2023. O mecanismo ocorreu por deslizamento de blocos, de forma que:
 - **É consistente com as propriedades geomecânicas das camadas sobrejacentes;**
 - **Geomecanicamente os dados são plausíveis com o estado de tensão e poro-pressão no maciço rochoso;**
 - **É consistente com a atividade sísmica observada e com a deformação em superfície;**
 - **É consistente com o baixo fator de empolamento, próximo a 4%.**
- Diante dessa interpretação, a atividade sísmica iniciada em 06/11/23 indica a formação da coluna de rocha (“pistão”), que induz deformações superficiais localizadas quando as fraturas progredem até as camadas mais frágeis Marituba 2 e Mosqueiro. No momento do sinkhole, o pistão totalmente formado desliza, até o preenchimento da cavidade 18.
- As variações observadas na pressão das cavidades pressurizadas podem estar relacionadas a conexões hidráulicas pelas lentes de folhelho e/ou por transferência de carga para as camadas sobrejacentes devido a perda da tensão de arqueamento sobre a cavidade 18
- **Uma formação de sinkhole por queda sucessiva de teto e subida gradual da cavidade parece improvável devido ao padrão de atividade sísmica e o efeito de baixo empolamento. Os detritos do cone da Cavidade 5 possivelmente contribuiu para a redução da força de atrito e tensão horizontal do maciço rochoso**
- Algumas conclusões a partir desta análise:
 - **A cavidade 18 está agora naturalmente preenchida. Devido ao caráter dinâmico do processo de formação, é improvável que existam significativas cavidades remanescentes no espaço vazio original**
 - **O sinkhole representou uma falha das camadas sobrejacentes e não um colapso de pilar. Por isso, não há transferência significativa de carga para os pilares no entorno que pudesse ser um gatilho para um colapso escalado em sequência**

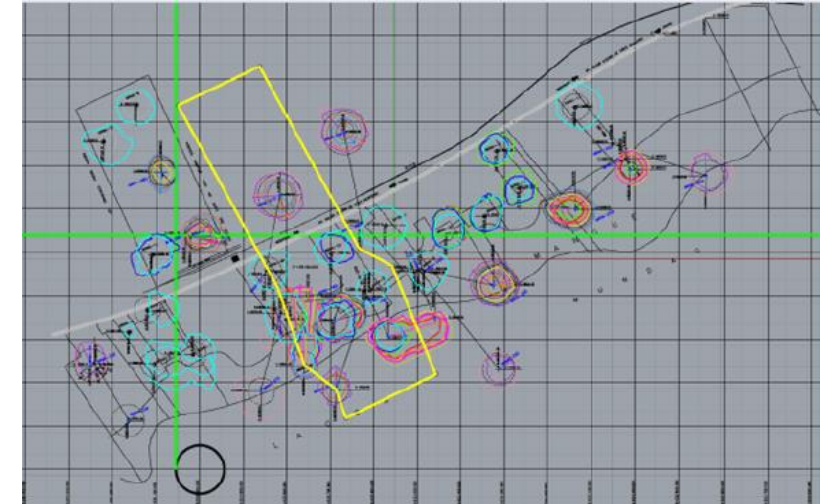
ALTERAÇÕES GEOMECÂNICAS NA CAMADA SOBREJACENTE

- A formação do sinkhole na cavidade 18 muito provavelmente modificou o estado geomecânico localmente e possivelmente regionalmente
 - A formação e o processo de deslizamento da coluna de rocha levou a uma zona de danos localizada ao longo da cavidade até a superfície. **A área danificada é mais frágil e menos rígida que o maciço rochoso intacto, e, por isso, a tensão horizontal no maciço do entorno está reduzida**
 - Devido às grandes deformações induzidas pelo cluster central de cavidades, a camada sobrejacente já está perto da condição de limite. As redistribuições de tensão associadas ao processo de formação de sinkhole provavelmente induziram deformações plásticas adicionais, como por exemplo fraturas localizadas, que podem agir como passagem de fluido. Portanto, a salmoura das cavidades, que está em pressão halmostática, pode penetrar mais facilmente no maciço sobrejacente
 - **Adicionalmente, sobrepressões dinâmicas durante o processo de deslizamento provavelmente causaram fraturas hidráulicas na vizinhança, introduzindo novamente salmoura a pressões mais elevadas no sobrejacente**
- **Em resumo, a formação de sinkhole reduziu potencialmente a tensão horizontal e aumentou a poro-pressão. Como resultado outras cavidades agora podem estar em um risco mais elevado de desenvolvimento de sinkhole, comparado à situação antes de novembro/2023. Neste sentido, no entorno, cavidades não preenchidas possuem maior atenção, em particular as cavidades 20/21**

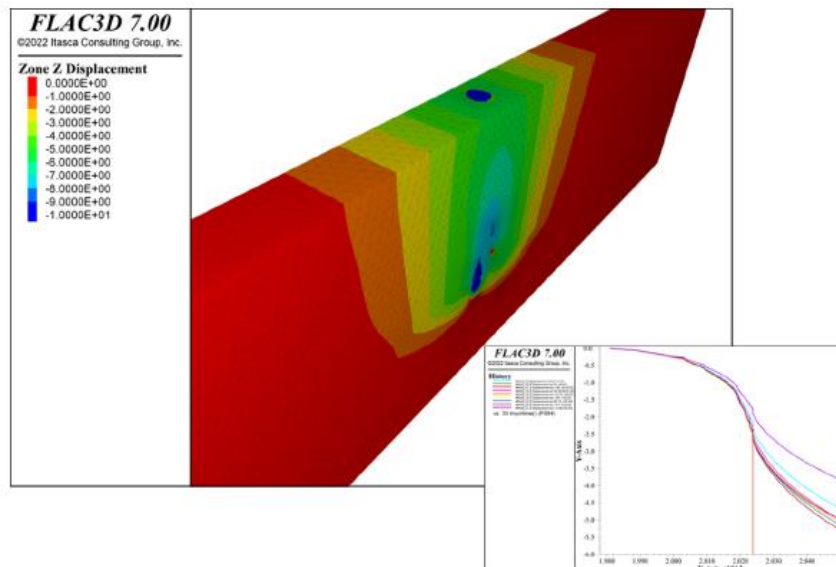
- **Apresentação Relatório IfG**
 - Análise dos dados da ocorrência da cavidade 18
 - Descrição do mecanismo de *sinkhole* de acordo com o IfG
 - **Análises numéricas preliminares**
 - Conclusões e Recomendações
- Proposta de atualização do Plano de Fechamento das frentes de lavra

CONTINUOUS STRIP MODEL

- Para focar os esforços numéricos no cluster central de cavidades, foi construído um strip model ao longo da seção amarela sinalizada na figura ao lado, com a cavidade 18 no centro
- O strip model representa uma seção na zona mais intensamente minerada do campo e, por isso, superestimaria significativamente a subsidência no centro quando as propriedades de cisalhamento são usadas. Desta forma, foram revisados alguns parâmetros de coesão para aproximar a bacia à realidade. Com esta revisão, foram obtidos valores de 1,9 metros de subsidência no centro até 2021, o que é um valor plausível
- **Como resultado, foi observado: a formação de sinkhole não levou à instabilidade em outras regiões, a poro-pressão mudou, em particular novas zonas danificadas surgiram no topo da formação Poção, a tensão horizontal na cavidade 20 reduziu devido à deformação extensional a partir da deformação do sobrejacente no cluster central**



Resultado do deslocamento localizado, no mês de dez/23



Poro-pressão antes e depois do sinkhole

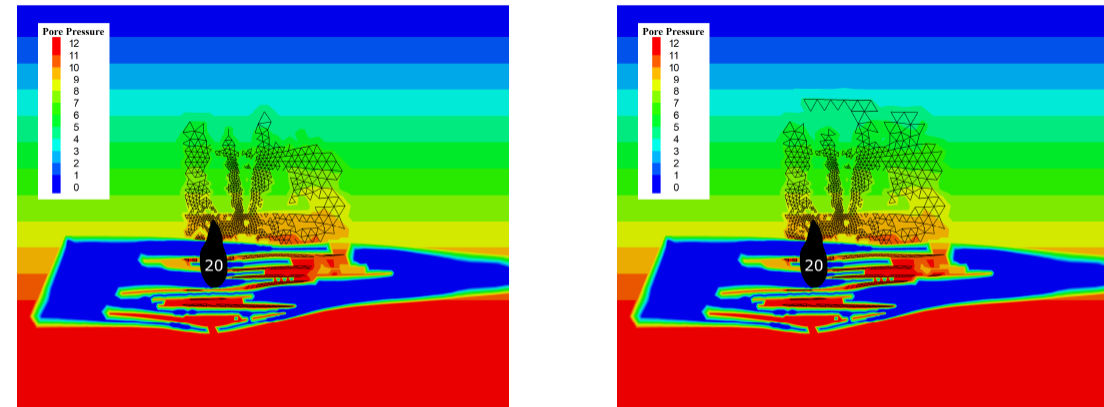


Figure 17: Pore pressure in the strip model (in MPa): Southeastern boundary of the model with Mine 20. Visible zone outlines indicate brine-influenced region before (left) and after (right) sinkhole formation.

CONTINUOUS FIELD MODEL

- Para analisar as mudanças no estado de tensões em todo o campo de cavidades, o sinkhole foi incluso no modelo geomecânico apresentado em 2023, com as mesmas condições apresentadas no strip model
- **A figura abaixo mostra a tensão principal menor imediatamente antes e depois da formação do sinkhole. O relaxamento da tensão a partir do processo de formação reduziu a tensão horizontal em uma região significativa, em particular no cluster central**
- Para as cavidades pressurizadas, a pressão interior reage à alteração de tensão da camada sobrejacente, conforme apresentado na tabela abaixo. Os valores computados são maiores que as alterações de pressão observadas pelos piezômetros, no entanto, no modelo, a formação de sinkhole foi simulada como um processo instantâneo, enquanto, no campo, isto durou algumas semanas, então a redistribuição da tensão elástica foi provavelmente superestimada
- O modelo forneceu uma reprodução plausível do comportamento do sistema

Tensão principal antes e depois do evento

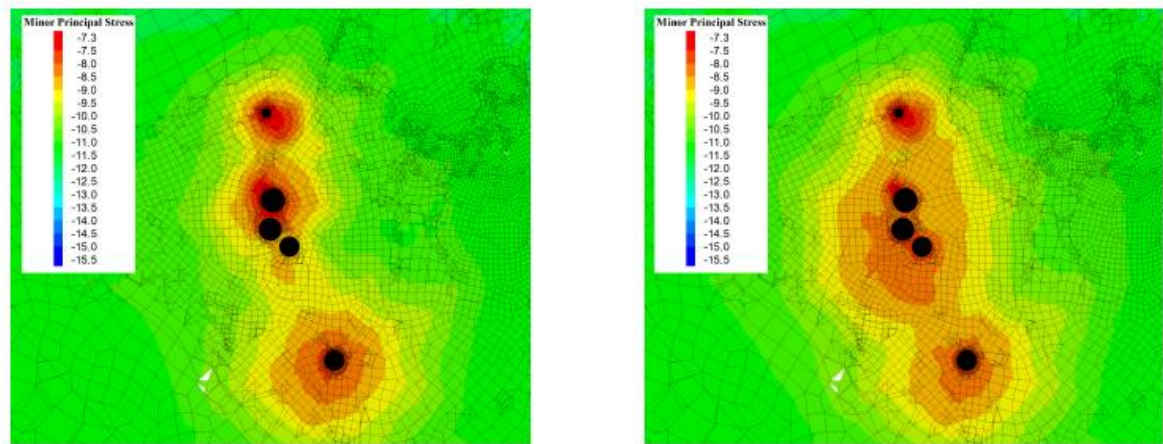


Figure 18: Minor principal stress in the full-field model before (left) and after (right) the sinkhole. Horizontal section in a depth of 750 m, North up. Visible caverns (from top to bottom) M03, M07, M18, M05, M25.

Table 1: Changes in interior pressure in plugged caverns versus distance to Mine 18.

Mine	Distance to M18 m	Pressure change MPa
M10	160	0.61
M01	250	0.47
M31	320	0.16
M35	400	0.16
M13	430	0.18
M30	440	0.14
M32	570	0.09

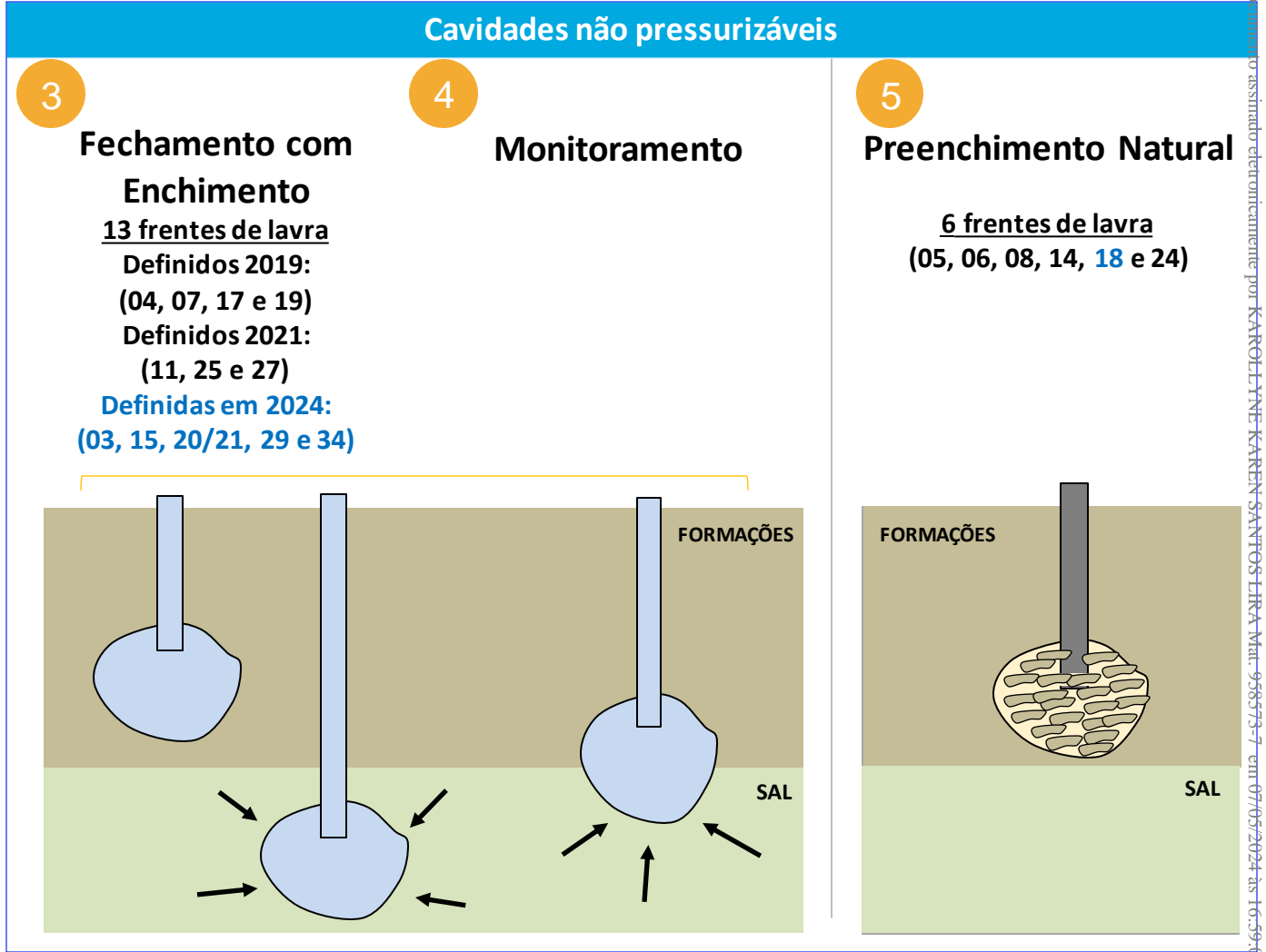
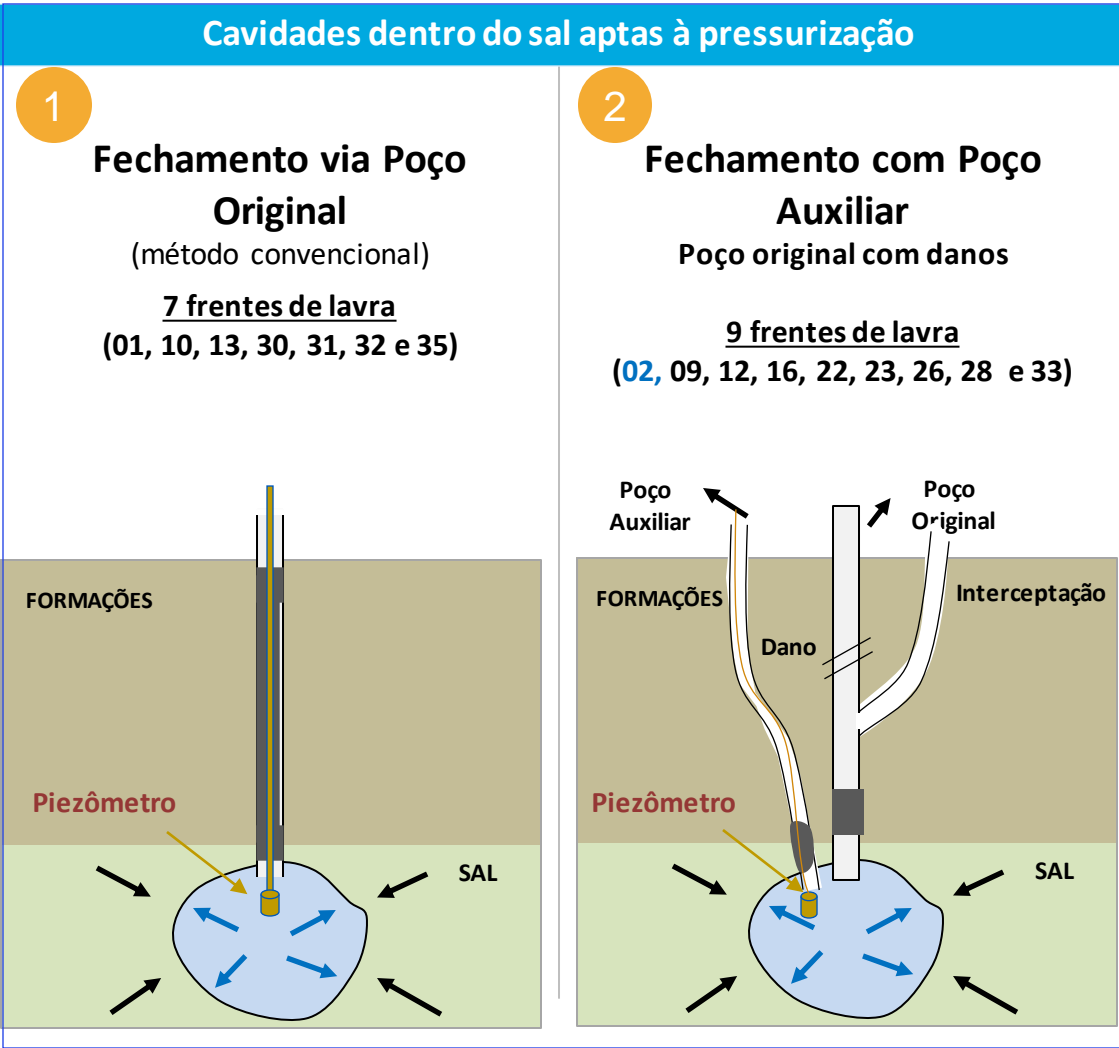
- **Apresentação Relatório IfG**
 - Análise dos dados da ocorrência da cavidade 18
 - Descrição do mecanismo de *sinkhole* de acordo com o IfG
 - Análises numéricas preliminares
 - **Conclusões e Recomendações**
- Proposta de atualização do Plano de Fechamento das frentes de lavra

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A interpretação mais provável é que o sinkhole ocorreu por deslizamento de bloco
- É provável que todo o espaço relevante da cavidade 18 tenha sido preenchido. O IfG não espera futuras deformações significativas acima da cavidade 18. É provável que não seja eficiente tentar localizar espaços vazios remanescentes. Nós conservativamente recomendamos manter o raio de segurança instalado ao redor da cavidade 18
- A rede microssísmica provou ser uma ferramenta valiosa para promover alertas preditivos antes do sinkhole e monitorar processos de fraturamento nas camadas sobrejacentes. O padrão característico das deformações de superfície fortaleceu a interpretação das observações antes mesmo da formação do sinkhole
- Nós recomendamos a continuação do programa de monitoramento, com maior atenção para o cluster central de cavidades
- A formação de sinkhole é um processo localizado, não envolve colapso de pilar e não é esperado o desenvolvimento de colapso das cavidades por efeito dominó. Não obstante, o processo alterou o estado de tensões e a poro-pressão no sobrejacente localmente e possivelmente regionalmente. Por isso, a susceptibilidade de formação de sinkhole em outras cavidades provavelmente aumentou
- Preliminarmente, simulações mostraram uma redução da tensão horizontal e um aumento da poro-pressão acima das cavidades, mais notavelmente acima das cavidades 20/21. É possível que potenciais eventos de sinkhole futuros terão um tempo de alerta menor entre os primeiros eventos sísmicos e a formação do sinkhole propriamente.
- Simulações hidromecânicas acopladas descontínuas estão em andamento para reproduzir a formação do sinkhole e melhor avaliar a evolução futura
- Devido à natureza localizada do processo, o efeito da formação do sinkhole nas regiões mais externas da bacia de subsidência é plausivelmente pequena
- Nós devemos ressaltar que o sinkhole não machucou pessoas e causou apenas pequenos danos materiais
- O raio de segurança e o sistema de alerta sísmico indicou que potenciais futuros sinkholes apresentam um risco gerenciável. Contudo, o backfilling representa o caminho mais seguro para eliminar futuros eventos. Isto também se aplica às cavidades que estão atualmente no grupo de monitoramento
- Nós recomendamos considerar os resultados da modelagem em andamento para determinar as prioridades para o backfilling. Neste intervalo de tempo, recomendamos continuar com as atividades de backfilling atuais (cavidades 25 e 27)

- Apresentação Relatório IfG
 - Análise dos dados da ocorrência da cavidade 18
 - Descrição do mecanismo de *sinkhole* de acordo com o IfG
 - Análises numéricas preliminares
 - Conclusões e Recomendações
- **Proposta de atualização do Plano de Fechamento das frentes de lavra**

PROPOSTA DE ATUALIZAÇÃO DO PLANO DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA



Em azul as cavidades que sofrerão alteração de grupo

IMAGEM ILUSTRATIVA

STATUS DO PLANO DE FECHAMENTO

● Concluído³ ● Em andamento
● Em planejamento/preparação

PROVÁVEL CONDIÇÃO FUTURA DO PLANO DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA

Abordagem	#	Cavidades de Sal	Prazo	
Fechamento via poço original ¹	7	1 10 13 31 30 32 35	2022	<ul style="list-style-type: none">As sete cavidades encontram-se com acompanhamento de pressão (cavidade 01, 10, 13, 30, 31, 32 e 35 sendo monitoradas por piezômetro)
Fechamento com poço auxiliar ¹	9	9 12 16 22 23 26 28 33 02	2024	<ul style="list-style-type: none">Atividades de perfuração de poços auxiliares em andamento, para viabilizar verificação de pressão e instalação de piezômetro para monitoramento.Reclassificação da cavidade 02 para este grupo. Cavidade já monitorada por piezômetro
Fechamento com Enchimento (Backfilling)	13	BK I 4 7 17 19 BK II 11 27 25 BK III 3 15 20 21 29 34	2026	<ul style="list-style-type: none">Backfilling I: ConcluídoBackfilling II:<ul style="list-style-type: none">Avanço físico de injeção de areia da cavidade 11: 86% até 13/03/24 (novo sonar realizado)Avanço físico de injeção de areia da cavidade 25: 44% até 13/03/24Avanço físico de injeção de areia da cavidade 27: 17% até 13/03/24Backfilling III<ul style="list-style-type: none">Inclusão das 6 cavidades, monitoradas por sonar, para o grupo de enchimento com material sólidoNovo cronograma com previsão de conclusão em junho/2026
Preenchimento Natural	6	5 6 8 14 24 18	2024	<ul style="list-style-type: none">Poços tamponados e descomissionados para as cavidades 05, 06, 08, 14 e 24. Em elaboração, pelo Brandt, relatório de conclusão de execução do fechamentoReclassificação da cavidade 18 para este grupo, considerando sua nova condição após o sinkhole. Estudos adicionais estão sendo executados para confirmação do preenchimento natural

Nota: (1) Etapas do Processo de Fechamento via Poço Original: 1ª Pressurização e 2ª Monitoramento da Pressão e Temperatura; (2) Etapas do Processo de Fechamento com Poço Auxiliar: 1ª Interceptação; 2ª Pressurização e 3ª Monitoramento da Pressão e Temperatura
Nota (2): O volumes injetado alterado em função do resultado de sonar e variações da compactação de areia

OBRIGADO!

**RECIBO ELETRÔNICO DE PROTOCOLO - SEI Nº 27225.006648/1965-86**

Solicitante:		
NATALIA CALIXTO MARQUES		
IP Utilizado:		
Conta Comprovada	15/04/2024 - 20:59:01.218	10.30.0.67
Cadastro via certificado digital		
Unidade:		
ENTRADA-AL		
Tipo Protocolo:		
Entregar Documento Diverso		
Interessado		
BRASKEM S.A		
Terceiro Interessado:		
Natália Calixto Marques		
Relacionamento entre o Solicitante e o Interessado:		
NATALIA CALIXTO MARQUES, por meio de Conta Comprovada, Cadastro via certificado digital, operando por Natália Calixto Marques. via:		
Relacionamento pessoa física-pessoa física (PF-PF)		
Protocolos dos Documentos (Número SEI):		

Processo 27225.006648/1965-86

- Documento Complementar (12461139)
- Documento Complementar (12461145)
- Documento Complementar (12461153)
- Documento Complementar (12461162)
- Documento Complementar (12461174)
- Documento Complementar (12461184)
- Documento Complementar (12461197)
- Requerimento (12461212)

O usuário acima identificado foi previamente avisado que o protocolo importa na aceitação dos termos e condições que regem o processo eletrônico, além do disposto no credenciamento prévio, e na assinatura dos documentos nato-digitais e declaração de que são autênticos os digitalizados, sendo responsável civil, penal e administrativamente pelo uso indevido. Ainda, foi avisado que os níveis de acesso indicados para os documentos estariam condicionados à análise por servidor público, que poderá alterá-los a qualquer momento sem necessidade de prévio aviso, e de que são de sua exclusiva responsabilidade:

- a conformidade entre os dados informados e os documentos;
- a conservação dos originais em papel de documentos digitalizados até que decaia o direito de revisão dos atos praticados no processo, para que, caso solicitado, sejam apresentados para qualquer tipo de conferência;
- a realização por meio eletrônico de todos os atos e comunicações processuais com o próprio usuário ou, por seu intermédio, com a entidade porventura representada;
- a observância de que os atos processuais se consideram realizados no dia e hora do recebimento pelo Protocolo, considerando-se tempestivos os praticados até último dia do prazo, considerado sempre o horário oficial de Brasília, independente do fuso horário em que se encontre;
- a consulta periódica aos sistemas da ANM, a fim de verificar o recebimento de intimações eletrônicas.

A existência deste Recibo, do processo e dos documentos acima indicados pode ser conferida no Portal na Internet da Agência Nacional de Mineração.

Maceió, 15 de abril de 2024.

Ilmo. Sr. Fernando José da Costa Bispo

Gerente Regional da Agência Nacional de Mineração em Alagoas

Processo 006.648/1965 – NUP: 27225.006648/1965-86

Assunto: Resposta ao Ofício 48/2020 – Juntada de Relatório Mensal de Atividades de Fechamento de Mina relativo a março/2024.

BRASKEM S/A, já qualificada nos presentes autos, vem, respeitosamente, perante V. S^a., por seus procuradores que ao final subscrevem, em atendimento ao que consta do Ofício nº 48/2020/GER - AL (SEI 1337966), apresentar o anexo Relatório Mensal Consolidado relativo às atividades de fechamento das frentes de lavra no período de março/2024.

Sendo o que nos cumpria para o momento, permanecemos à disposição deste i. órgão, ao tempo em que oferecemos nossos votos de elevada estima e consideração.

Atenciosamente,




Braskem S.A.

Klinger Isaac Luz Santos



Silvia Albuquerque Correa de Araújo

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 1	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt



UN Vinílicos

MINERAÇÃO

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE
FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA
REFERENTE AO MÊS DE MARÇO DE 2024

Emitente: Wilfred Brandt


Área/Unidade: Mineração

Data de emissão: 15/04/2024

Distribuição: Mineração, ANM


Palavras-chave:

frente de lavra, sonar, tamponamento


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 2	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

SUMÁRIO


1. INTRODUÇÃO - ATUALIZADO	8
1.1 NOMENCLATURA DOS POÇOS	10
1.2 INDICADOR DE ATUALIZAÇÕES MENSAS DESTE RELATÓRIO	10
2. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DOS SONARES	15
2.1 INTRODUÇÃO	15
2.2 FRETE DE LAVRA M#01 - ATUALIZADO	15
2.3 FRETE DE LAVRA M#02	17
2.4 FRETE DE LAVRA M#03	18
2.5 FRETE DE LAVRA M#04 - ATUALIZADO	19
2.6 FRETE DE LAVRA M#05	21
2.7 FRETE DE LAVRA M#06	22
2.8 FRETE DE LAVRA M#07	24
2.9 FRETE DE LAVRA M#08	26
2.10 FRETE DE LAVRA M#09 - ATUALIZADO	27
2.11 FRETE DE LAVRA M#10 - ATUALIZADO	28
2.12 FRETE DE LAVRA M#11 - ATUALIZADO	29
2.13 FRETE DE LAVRA M#12 - ATUALIZADO	31
2.14 FRETE DE LAVRA M#13	32
2.15 FRETE DE LAVRA M#14	33
2.16 FRETE DE LAVRA M#15	34
2.17 FRETE DE LAVRA M#16	36
2.18 FRETE DE LAVRA M#17	37
2.19 FRETE DE LAVRA M#18D	39
2.20 FRETE DE LAVRA M#19D	43
2.21 FRETE DE LAVRA M#20D - ATUALIZADO	44
2.22 FRETE DE LAVRA M#21D - ATUALIZADO	46
2.23 FRETE DE LAVRA M#22	49
2.24 FRETE DE LAVRA M#23	50
2.25 FRETE DE LAVRA M#24D	51
2.26 FRETE DE LAVRA M#25D	52
2.27 FRETE DE LAVRA M#26D	54
2.28 FRETE DE LAVRA M#27D	56
2.29 FRETE DE LAVRA M#28D	58

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 3	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


2.30	FRENTE DE LAVRA M#29D	59
2.31	FRENTE DE LAVRA M#30D	61
2.32	FRENTE DE LAVRA M#31D	63
2.33	FRENTE DE LAVRA M#32	64
2.34	FRENTE DE LAVRA M#33D	65
2.35	FRENTE DE LAVRA M#34D - ATUALIZADO	66
2.36	FRENTE DE LAVRA M#35D	67
3.	JUSTIFICATIVA TÉCNICA PARA ESCOLHA DO FECHAMENTO DE CADA CAVIDADE -	
ATUALIZADO	68
3.1	FRENTE DE LAVRA M#01	68
3.2	FRENTE DE LAVRA M#02	69
3.3	FRENTE DE LAVRA M#03 - ATUALIZADO	70
3.4	FRENTE DE LAVRA M#04	70
3.5	FRENTE DE LAVRA M#05	71
3.6	FRENTE DE LAVRA M#06	71
3.7	FRENTE DE LAVRA M#07	71
3.8	FRENTE DE LAVRA M#08	71
3.9	FRENTE DE LAVRA M#09	72
3.10	FRENTE DE LAVRA M#10	72
3.11	FRENTE DE LAVRA M#11	73
3.12	FRENTE DE LAVRA M#12	74
3.13	FRENTE DE LAVRA M#13	74
3.14	FRENTE DE LAVRA M#14	75
3.15	FRENTE DE LAVRA M#15 - ATUALIZADO	75
3.16	FRENTE DE LAVRA M#16	76
3.17	FRENTE DE LAVRA M#17	77
3.18	FRENTE DE LAVRA M#18D	77
3.19	FRENTE DE LAVRA M#19D	78
3.20	FRENTE DE LAVRA M#20D - ATUALIZADO	78
3.21	FRENTE DE LAVRA M#21D - ATUALIZADO	78
3.22	FRENTE DE LAVRA M#22	79
3.23	FRENTE DE LAVRA M#23	79
3.24	FRENTE DE LAVRA M#24D	80
3.25	FRENTE DE LAVRA M#25D	81

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 4	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


3.26	FRENTE DE LAVRA M#26D	81
3.27	FRENTE DE LAVRA M#27D	82
3.28	FRENTE DE LAVRA M#28D	83
3.29	FRENTE DE LAVRA M#29D - ATUALIZADO	83
3.30	FRENTE DE LAVRA M#30D	83
3.31	FRENTE DE LAVRA M#31D	84
3.32	FRENTE DE LAVRA M#32	85
3.33	FRENTE DE LAVRA M#33	86
3.34	FRENTE DE LAVRA M#34D - ATUALIZADO	86
3.35	FRENTE DE LAVRA M#35D	87
4.	EVENTUAIS ALTERAÇÕES DOS PLANOS DE FECHAMENTO EM ANÁLISE E/OU JÁ APROVADOS - ATUALIZADO	87
4.1	FRENTE DE LAVRA M#01	87
4.2	FRENTE DE LAVRA M#02	88
4.3	FRENTE DE LAVRA M#03 - ATUALIZADO	89
4.4	FRENTE DE LAVRA M#04	90
4.5	FRENTE DE LAVRA M#05	90
4.6	FRENTE DE LAVRA M#06	90
4.7	FRENTE DE LAVRA M#07	91
4.8	FRENTE DE LAVRA M#08	91
4.9	FRENTE DE LAVRA M#09	91
4.10	FRENTE DE LAVRA M#10	91
4.11	FRENTE DE LAVRA M#11	92
4.12	FRENTE DE LAVRA M#12	92
4.13	FRENTE DE LAVRA M#13	92
4.14	FRENTE DE LAVRA M#14	92
4.15	FRENTE DE LAVRA M#15 - ATUALIZADO	93
4.16	FRENTE DE LAVRA M#16	93
4.17	FRENTE DE LAVRA M#17	94
4.18	FRENTE DE LAVRA M#18D	94
4.19	FRENTE DE LAVRA M#19	94
4.20	FRENTE DE LAVRA M#20D - ATUALIZADO	94
4.21	FRENTE DE LAVRA M#21D - ATUALIZADO	95
4.22	FRENTE DE LAVRA M#22	95

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 5	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


4.23	FRENTE DE LAVRA M#23	96
4.24	FRENTE DE LAVRA M#24D	96
4.25	FRENTE DE LAVRA M#25D	96
4.26	FRENTE DE LAVRA M#26D	96
4.27	FRENTE DE LAVRA M#27D	97
4.28	FRENTE DE LAVRA M#28D	97
4.29	FRENTE DE LAVRA M#29D - ATUALIZADO	97
4.30	FRENTE DE LAVRA M#30D	98
4.31	FRENTE DE LAVRA M#31D	99
4.32	FRENTE DE LAVRA M#32	99
4.33	FRENTE DE LAVRA M#33D	100
4.34	FRENTE DE LAVRA M#34D - ATUALIZADO	100
4.35	FRENTE DE LAVRA M#35D	100
4.36	HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS PIEZÔMETROS	102
5.	RELATÓRIO DE EXECUÇÃO DOS PLANOS DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA	
-	ATUALIZADO	103
5.1	FRENTE DE LAVRA M#01 - ATUALIZADO	103
5.2	FRENTE DE LAVRA M#02	105
5.3	FRENTE DE LAVRA M#03	107
5.4	FRENTE DE LAVRA M#04	108
5.5	FRENTE DE LAVRA M#05	111
5.6	FRENTE DE LAVRA M#06	112
5.7	FRENTE DE LAVRA M#07	113
5.8	FRENTE DE LAVRA M#08	119
5.9	FRENTE DE LAVRA M#09 - ATUALIZADO	119
5.10	FRENTE DE LAVRA M#10 - ATUALIZADO	121
5.11	FRENTE DE LAVRA M#11 - ATUALIZADO	123
5.12	FRENTE DE LAVRA M#12 - ATUALIZADO	125
5.13	FRENTE DE LAVRA M#13	127
5.14	FRENTE DE LAVRA M#14	129
5.15	FRENTE DE LAVRA M#15	130
5.16	FRENTE DE LAVRA M#16 - ATUALIZADO	130
5.17	FRENTE DE LAVRA M#17	132
5.18	FRENTE DE LAVRA M#18D	136

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 6	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

5.19	FRENTE DE LAVRA M#19D	138
5.20	FRENTE DE LAVRA M#20D	139
5.21	FRENTE DE LAVRA M#21D	140
5.22	FRENTE DE LAVRA M#22	141
5.23	FRENTE DE LAVRA M#23	142
5.24	FRENTE DE LAVRA M#24D	143
5.25	FRENTE DE LAVRA M#25D - ATUALIZADO	144
5.26	FRENTE DE LAVRA M#26D	147
5.27	FRENTE DE LAVRA M#27D – ATUALIZADO	148
5.28	FRENTE DE LAVRA M#28D	151
5.29	FRENTE DE LAVRA M#29D	153
5.30	FRENTE DE LAVRA M#30D	154
5.31	FRENTE DE LAVRA M#31D	155
5.32	FRENTE DE LAVRA M#32	156
5.33	FRENTE DE LAVRA M#33D	157
5.34	FRENTE DE LAVRA M#34D	159
5.35	FRENTE DE LAVRA M#35D	159
5.36	RESUMO DAS ATIVIDADES - ATUALIZADO	160
6.	AÇÕES DE MONITORAMENTO DURANTE E PÓS-FECHAMENTO DA MINA - ATUALIZADO	160
6.1	MEDIÇÃO DE PRESSÃO NAS CAVIDADES SALINAS - ATUALIZADO	162
6.1.1	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#01 - ATUALIZADO	170
6.1.1	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#02 - ATUALIZADO	171
6.1.2	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#10 - ATUALIZADO	172
6.1.3	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#13 - ATUALIZADO	173
6.1.4	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#26D - ATUALIZADO	174
6.1.5	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#30D - ATUALIZADO	175
6.1.6	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#31D - ATUALIZADO	176
6.1.7	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#32 - ATUALIZADO	177
6.1.8	MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#35D - ATUALIZADO	178
6.2	SISTEMA DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE LAVRA - ATUALIZADO	179
6.2.1	MONITORAMENTO DA SUBSIDÊNCIA POR DGPS - ATUALIZADO	179
6.2.2	MONITORAMENTO DA SUBSIDÊNCIA POR TOPOGRAFIA - ATUALIZADO	181
6.2.3	MONITORAMENTO DA SUBSIDÊNCIA POR INTERFEROMETRIA - ATUALIZADO	182

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 7	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.2.4 MONITORAMENTO DA ÁREA AFETADA PELO EVENTO DE 10/12/2023 POR RADAR - ATUALIZADO	184
6.2.5 MONITORAMENTO DA ÁREA AFETADA PELO EVENTO DE 10/12/2023 POR BATIMETRIA NÃO TRIPULADA - ATUALIZADO	185
6.2.6 MONITORAMENTO DAS ATIVIDADES DE PERFURAÇÕES COM GEOFONES	186
6.2.7 MONITORAMENTO POR MICROSSÍSMICA, TILTÍMETROS E INCLINÔMETROS - ATUALIZADO	187
6.2.8 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM SUPERFÍCIE CONSIDERANDO A OCORRÊNCIA DA CAVIDADE 18 EM 10/12/2023	191
ÁREA DIRETAMENTE AFETADA	192
ÁREA DO ENTORNO DO EVENTO	193
ÁREA DA BORDA DO MAPA	197
6.2.9 INSPEÇÃO DOS POÇOS	201
7. INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES INTEGRADAS DE DPGS, INTERFEROMETRIA E TOPOGRAFIA NA ÁREA DA LAVRA - ATUALIZADO	212
8. CRONOGRAMAS DAS PRÓXIMAS AÇÕES PREVISTAS NAS FRENTES DE LAVRA – ATUALIZADO	213
8.1 CRONOGRAMA DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA POR MEIO DE INTERCEPTAÇÃO COM INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETROS	213
8.2 CRONOGRAMA DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA POR MEIO DE ENCHIMENTO (BACKFILLING)	214
8.2.1 BACKFILLING I (CAVIDADES M#04; M#07; M#19D; M#17)	214
8.2.2 BACKFILLING II (CAVIDADES M#02; M#11; M#18D; M#25D; M#27D)	215
8.3 ANDAMENTO DAS ATIVIDADES DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA POR PREENCHIMENTO NATURAL (GRUPO 5)	216
8.4 PLANO DE SONAR - ATUALIZADO	216
8.5 SONDAS EM OPERAÇÃO - ATUALIZADO	218
9. ANÁLISE DE POSSÍVEIS RISCOS NO PROCESSO DE FECHAMENTO	219
10. BIBLIOGRAFIA	220
11. ANEXOS - ATUALIZADO	221

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 8	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

1. INTRODUÇÃO - ATUALIZADO


O presente documento foi elaborado com base no modelo de Relatório Consolidado Mensal de Fechamento de Mina, emitido pela Agência Nacional de Mineração (ANM), por meio do ofício ANM nº 48/2020.

Esse relatório mensal consolida as principais informações já apresentadas sobre o fechamento das frentes de lavra, abordando os detalhes de cada uma, e apresentando as atualizações relativas ao mês de [março/2024](#), conforme discussões e esclarecimentos obtidos em reuniões realizadas com o Grupo de Trabalho.

Seguindo um sumário sugerido pela ANM, o documento é dividido em nove capítulos que discorrem sobre os seguintes tópicos:

- 1) Introdução
- 2) Relatório interpretativo e conclusivo dos resultados dos sonares para cada cavidade, contendo, o número de levantamentos sônicos realizados para determinação da geometria das cavidades, datas de realização e eventuais intercorrências e a evolução e movimentação das cavidades em relação à estratigrafia local;
- 3) Justificativa técnica para escolha do tipo de fechamento para cada frente de lavra (poço e cavidade);
- 4) Eventuais alterações dos planos de fechamento das frentes de lavra em análise e/ou já aprovados;
- 5) Relatórios de execução dos planos, quando realizados;
- 6) Ações de monitoramento durante e pós-fechamento (tipo, metodologia, periodicidade, contendo os planos de monitoramento, levando em conta a progressão da subsidência e monitoramento de movimento);
- 7) Relatório interpretativo integrando as informações obtidas da Interferometria, topografia, DGPS e demais levantamentos contemplando interpretação e relacionando estas aos cenários e simulações de subsidência, movimentação do terreno e evolução da instabilidade do teto das cavidades e reflexos na área total de influência da mina;
- 8) Cronograma das próximas ações previstas na frente de lavra e respectivo poço
- 9) Análise de possíveis riscos após fechamento e planos de contingência.

Apresenta-se, no presente relatório mensal as informações que passaram a ser incorporadas, em atendimento as recomendações apresentadas por esta Gerência Regional por meio dos Ofícios


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 9	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

emitidos. Destaca-se aqui, em atendimento ao Ofício 5129/2022/GER-AL/ANM, a inserção de tabela (1.1) com as informações relativas à posição do teto das cavidades em relação ao topo da camada salina e da superfície do terreno, registradas em 2019, 2020 2021 e 2022, a fim de ser possível identificar situações de eventuais migrações ascendentes. Além disso, no capítulo 2 foram inseridas as informações sobre possíveis riscos associados na avaliação das cavidades por meio de sonares referentes à presença ou não de zonas ocultas e podem constituir uma significativa subestimação de valores, incluindo as medidas para mitigar esta condição, caso seja necessário. É importante ressaltar que, presença de zonas ocultas não é uma condição que requeira, necessariamente, a adoção de ações mitigadoras, haja vista que as demais informações da frente de lavra devem ser consideradas na avaliação deste cenário, tais como, pressurização, posição da cavidade em relação ao topo do sal, posição da zona oculta, dentre outras. Desta forma, como indicado no referido Ofício ANM, em situações específicas em que esta necessidade se apresente, a Braskem adota como ação a realização de poço auxiliar em uma posição que permita o mapeamento da zona oculta em questão. Esta solução foi adotada na cavidade 25, onde a zona oculta identificada se encontrava na parte superior da cavidade, razão pela qual a profundidade do teto se alterou em 12,7m, bem como seu volume.

Reforça-se também, que a medição das cavidades por meio de sonar, atualmente utilizada, é uma tecnologia de medição direta, e por isso, é considerada a mais adequada e a mais precisa, perante as demais tecnologias que são indiretas. Como toda medição, o exame de sonar está sujeito às condições do meio, tais como, formato irregular da cavidade, densidade da salmoura etc.

As tabelas 1, 1.1 e 2 sintetizam as condições de cada frente de lavra, no que diz respeito, aos exames de sonar, bem como sobre a situação do plano de fechamento das frentes, conforme modelo sugerido pela ANM.

Adicionalmente, em atendimento as recomendações apresentadas por meio do item 03 do Ofício nº 7369/2022/GER-AL/ANM, foi inserida no capítulo 2 a análise individualizada da movimentação ascendente e alterações dos volumes das cavidades, com base nas interpretações realizadas pela consultoria Sabine Storage and Operations (SSO). Os relatórios de sonar, juntamente com as condições de migração/movimentação de cada cavidade, são avaliados individualmente com base nas informações diretas obtidas por meio destes monitoramentos recorrentes. A periodicidade destes monitoramentos foi definida pela própria SSO com base nas condições particulares de cada frente de lavra.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 10	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

1.1 NOMENCLATURA DOS POÇOS

Em atendimento a solicitação de esclarecimentos sobre a padronização da nomenclatura dos poços utilizada pela Braskem na área de concessão de lavra, segue abaixo breve explicação do padrão que vem sendo utilizado.

Um poço original se refere ao poço que foi utilizado no processo de lavra, cujo nome começa com a letra “M” maiúscula, acompanhado do símbolo “#” (sustenido) e dois numerais cardinais (ex.: M#30). Quando o poço é original e vertical, o nome do poço termina com um numeral que representa a sequência da sua construção. Entretanto, se o poço for original e direcional termina com a letra D. Por exemplo, M#01 se trata do primeiro poço original, sendo ele vertical, enquanto, M#18D é o décimo oitavo poço original, sendo ele direcional (D).

Um poço auxiliar é um poço que foi construído para acessar a cavidade a partir de 2019. Esses poços são identificados apenas por um ou dois numerais cardinais que correspondem ao numeral da cavidade acessada. Além disso, o numeral é acompanhado por uma letra do alfabeto romano sequencial, onde a ordem cronológica de perfuração coincide com a sequência das letras do alfabeto romano. Por exemplo poço 01A, é o primeiro poço auxiliar que acessa a cavidade 01. Se o poço auxiliar for direcional, existirá uma letra D após a primeira letra. Por exemplo, poço 06AD é o primeiro poço auxiliar que acessa a cavidade 6, e é direcional.

1.2 INDICADOR DE ATUALIZAÇÕES MENSAS DESTE RELATÓRIO

Em virtude de manter a padronização da expedição de relatórios, tendo em vista que o histórico dos acontecimentos entre os meses contribui para o melhor entendimento do contexto das atividades de descomissionamento das frentes de lavra, a Braskem adota o modelo de adicionar marcadores de cor **AZUL** nos textos e com a escrita - **ATUALIZADO** no tópico dos capítulos.


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 11	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

TABELA 1 - SITUAÇÃO DA AFERIÇÃO DE SONARES – ATUALIZADA EM 31/03/2024				
Frente de Lavra	Nº de Sonares Realizados	Data do último sonar	Rel. Conclusivo e 3D Apresentado/Em execução	Dentro da camada de sal?
M#01	10	17.03.2024	Sim	Sim. 23,6 m dentro do sal.
M#02	9	10.02.2023	Sim	Sim. 20,4 m dentro do sal.
M#03	16	21.02.2024	Sim	Não. 222,35 m fora do sal.
M#04	20	18.03.2024	Sim	Parcialmente. 72,6 m fora do sal.
M#05	2	16.06.1978	Não	Preenchimento natural.
M#06	3	19.06.1989	Não	Preenchimento natural.
M#07	26	22.03.2023	Sim	Não. 197,9 m fora do sal.
M#08	4	10.05.1995	Não	Preenchimento natural.
M#09	3	13.10.2019	Sim	Sim. 32,2 m dentro do sal.
M#10	7	29.03.2024	Sim	Sim. 19,5 m dentro do sal.
M#11	14	16.03.2024	Sim	Não. 113 m fora do sal.
M#12	2	22.10.2019	Sim	Sim. 52,5 m dentro do sal.
M#13	4	20.03.2023	Sim	Sim. 76,3 m dentro do sal.
M#14	3	22.08.2000	Não	Preenchimento natural.
M#15	14	29.02.2024	Sim	Sim. 0,3 m dentro do sal.
M#16	4	18.01.2022	Sim	Sim. 92,1 m dentro do sal.
M#17	27	15.09.2022	Sim	Não. 183,4 m fora do sal.
M#18D	17	02.03.2024 ⁽²⁾	Sim	Parcialmente. 113,8 m fora do sal
M#19D	10	23.12.2022	Sim	Não. 21,05m fora do sal.
M#20D	19	20.01.2024	Sim	Não. 140,22 m fora do sal.
M#21D	18	20.01.2024	Sim	Não. 147,22 m fora do sal.
M#22	8	02.12.2021	Sim	Sim. 43,2m dentro do sal.
M#23	4	16.11.2019	Sim	Sim. 51,8m dentro do sal.
M#24D	7	04.10.2020	Sim	Preenchimento natural.
M#25D	26	23.02.2024	Sim	Não. 357,46 m fora do sal.
M#26D	14	08.09.2023	Sim	Sim. 84,48 m dentro do sal.
M#27D	10	22.02.2024	Sim	Sim. 7,1 m dentro do sal.
M#28D	8	01.12.2021	Sim	Sim. 76 m dentro do sal.
M#29D	13	19.11.2023	Sim	Parcialmente. 20,4 m fora do sal.
M#30D	10	01.04.2023	Sim	Sim. 76,2 m dentro do sal.
M#31D	8	29.01.2020	Sim	Sim. 107,6 m dentro do sal.
M#32	7	16.08.2023	Sim	Sim. 61,32 m dentro do sal.
M#33D	1	27.09.2019	Sim	Sim. 120 m dentro do sal.
M#34D	11	31.08.2023	Sim	Parcialmente. 20,6 m fora do sal.
M#35D	6	27.08.2023	Sim	Sim. 97,4 m dentro do sal.

Nota ⁽¹⁾: Em referência ao sonar realizado em 20/10/19.

Nota⁽²⁾: Trata-se do sonar realizado apenas na parte superior da cavidade visível pelo poço 18CD.



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 12	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

TABELA 1.1 – HISTÓRICO DO TOPO DAS CAVIDADES EM TVD (m) – ATUALIZADA EM 31/03/2024							
TVD = Distância vertical entre o topo da cavidade e a superfície em metros.							
Frente de Lavra	2019	2020	2021	2022/23	2024	Topo do Sal ⁽¹⁾	Distância entre o topo do sal e o topo da cavidade ⁽⁴⁾
M#01	905	905	903,3	902,8	902,6	879	23,6
M#02	942	938	937,4	938,07	-	917	20,4
M#03	706,9	709,5	705,9	698,71	695,65	918	-222,35
M#04	852	845	841,8	825	823,4	896	-72,6
M#07	718	708	695,52	692,1	-	890	-197,9
M#09	942,2	-	-	-	-	910	32,2
M#10	922	-	919,9	919,3	918,5	899	19,5
M#11	821	816	823,5	812,8	812	925	-113
M#12	942,5	-	-	-	-	890	52,5
M#13	1000	-	997,3	997,9	-	921	76,3
M#15	894,2	911,8	906,8	907,06	906,3	906	0,3
M#16	1023,2	-	-	1021,1	-	929	92,1
M#17	766	741	736,6	738,7	-	920	-183,4
M#18D	948	-	-	786,2	773,2	887	-113,8
M#19D	874,2	-	-	842,95	-	864	-21,05
M#20D	879	841	868,1 ⁽³⁾	728,1	723,78	864	-140,22
M#21D	825	787,9	764	728,1	723,78	871	-147,22
M#22	914,2	-	909,2	-	-	866	43,2
M#23	929,8	-	-	-	-	878	51,8
M#25D	577,8	575,1	559,4	544,8	541,54	899	-357,46
M#26D	966	-	966,3	957,48	-	873	84,48
M#27D	898	-	890,1	887,3	887,1	880	7,1
M#28D	995	987	990,6	-	-	911	76
M#29D	855	855,46	852,3	842,6	-	863	-20,4
M#30D	945 ⁽²⁾	947,2	-	945,2	-	869	76
M#31D	992 ⁽²⁾	991,6	-	-	-	884	107,6
M#32	979	976	-	978,32	-	917	61,32
M#33D	1044	-	-	-	-	924	120
M#34D	899,87	893,8	892,99	889,2	-	909,8	-20,6
M#35D	955,2	942,2	-	945,4	-	848	97,4

*Dados do relatório da versão preliminar, ainda podem sofrer alterações.

Nota ⁽¹⁾: As medidas de referência estão apresentadas em metros (TVD) e referenciadas em relação a cota da cabeça do poço original da frente de lavra.


Nota ⁽²⁾: Aquisição realizada em Dez/2018 referente a 1ª campanha de sonar realizada 2018/2019.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 13	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Nota ⁽³⁾: No último sonar não foi possível visualizar o ponto mais alto da cavidade devido à dificuldade de acesso na cavidade.

Nota ⁽⁴⁾: Considera o sonar que apresentou o topo da cavidade mais próximo da camada de sal, para cavidades dentro do sal, e topo da cavidade mais distante do sal, para cavidades fora do sal.

TABELA 2 - SITUAÇÃO DO PLANO DO FECHAMENTO DA MINA - ATUALIZADA					
Frente de Lavra	PFM proposto (nº documento SEI)	Tipo de Fechamento	Aprovado / Não aprovado	Não iniciado/ Em execução/Executado	Relatório de Execução Apresentado (Sim / Não)
M#01	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Executado	Sim
M#02	(SEI 3033103)	Em reavaliação	-	-	-
M#03	(SEI 1579575)	Enchimento	Não ²	Não iniciado ¹	-
M#04	Não existia SEI	Enchimento	Sim	Em execução	Não
M#05	(SEI 310327)	Tamponamento do poço	Sim (Ofício 1262/2022)	Executado	Sim; parcial (SEI 5709533) ⁽¹⁾
M#06	(SEI 310327)	Tamponamento do poço	Sim (Ofício 1262/2022)	Executado	Sim parcial (SEI 5468041) ⁽¹⁾
M#07	Não existia SEI	Enchimento	Sim	Executado	Não
M#08	(SEI 310327)	Tamponamento do poço	Sim (Ofício 1262/2022)	Executado	Sim; parcial (SEI 5468043) ⁽¹⁾
M#09	(SEI 1237539)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 7957822)
M#10	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 4750794)
M#11	(SEI 0779505)	Enchimento	Sim (Ofício 7369/2022)	Em execução	Sim; parcial (SEI 5804917)
M#12	(SEI 1237539)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 8810625)
M#13	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Executado	Sim; parcial (SEI 4993909)
M#14	(SEI 310327)	Tamponamento do poço	Sim (Ofício 1262/2022)	Executado	Sim; parcial (SEI 7957823) ⁽¹⁾
M#15	(SEI 1424718)	Enchimento	Não ²	Não iniciado ¹	-
M#16	(SEI 1237539)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 6289914)
M#17	Não existia SEI	Enchimento	Sim	Executado	Sim; parcial (SEI 7318887)
M#18D	(SEI 1247638)	Em reavaliação.	-	-	-
M#19D	Não existia SEI	Enchimento	Sim	Executado	Sim; parcial (SEI 6503279)


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 14	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

M#20D	Não existia SEI	Enchimento	Não ²	Não iniciado ¹	–
M#21D	(SEI 1424718)	Enchimento	Não ²	Não iniciado ¹	–
M#22	(SEI 1347902)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 5659346)
M#23	SEI (1255758)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 6047941)
M#24D	(SEI 310327)	Tamponamento do poço	Sim (Ofício 1262/2022)	Executado	Sim; parcial (SEI 5741547) ⁽¹⁾
M#25D	(SEI 1454072)	Enchimento	Sim (Ofício 7369/2022)	Em execução	Sim; parcial (SEI 5947897)
M#26D	(SEI 1247638)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Não
M#27D	(SEI 3114183)	Enchimento	Sim (Ofício 7369/2022)	Em execução	Sim; parcial (SEI 5334118)
M#28D	(SEI 1247638)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 7318888)
M#29D	(SEI 1424718)	Enchimento	Não ²	Não iniciado ¹	–
M#30D	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Executado	Sim; parcial (SEI 4750795)
M#31D	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Executado	Sim (SEI 1303201)
M#32	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Executado	Sim; parcial (SEI 4993910)
M#33D	(SEI 1347902)	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Em execução	Sim; parcial (SEI 6426826)
M#34D	Não existia SEI	Enchimento	Não ²	Não iniciado ¹	–
M#35D	Não existia SEI	Fechamento c/ Piezômetro	Sim	Executado	Sim; parcial (SEI 7957824)

Nota 1: O relatório final está em elaboração.

Nota 2: Sugerida pela ANM a aprovação de reclassificação das frentes de lavra M#03, M#15, M#20/21, M#29 e M#34 do Grupo de Monitoramento para o Grupo de Enchimento, após a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra.

No anexo 01 deste relatório é apresentada síntese das ações integradas ao descomissionamento de mina, de forma a manter a Agência atualizada sobre as ações em curso e possibilitar uma visão sistêmica.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 15	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

2. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DOS SONARES

2.1 INTRODUÇÃO


A interpretação dos dados dos sonares de cada frente de lavra é realizada pela Sabine Storage & Operation Inc. (SSO), empresa americana especializada em mineração por dissolução (*solution mining*). A análise da evolução de cada cavidade de acordo com o histórico dos sonares anteriores é parte integrante do Relatório Analítico elaborado pela SSO, que além da interpretação das imagens obtidas por meio do sonar, apresenta um conjunto de dados referente à cada frente de lavra, cujas principais informações estão listadas abaixo:

- Localização do poço e da cavidade;
- Cota da cabeça do poço;
- Data da perfuração do poço;
- Dados da completação do poço;
- Topo e base do sal;
- Tipo de poço: vertical ou direcional;
- Perfis geofísicos realizados durante a construção dos poços;
- Data de início e fim de produção da frente de lavra;
- Data de realização dos sonares;
- Quantidade de sonares realizados;
- Profundidade do topo e base da cavidade de cada sonar realizado;
- Data das intervenções de manutenção realizados nas frentes de lavra (*workovers*);
- Seção estratigráfica na direção N-S, contemplando todas as imagens de sonar.

Nos próximos capítulos serão abordados os dados de cada frente de lavra de forma resumida e atualizada, assim como a interpretação elaborada pela SSO no período.

2.2 FRETE DE LAVRA M#01 - ATUALIZADO

A frente de lavra M#01 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#01 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.362,2 mE e 8.933.573,05 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 16	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O poço M#01 foi construído em outubro de 1967 com 1.162m de profundidade, como poço de pesquisa, mas foi completado para a produção de salmoura apenas em 1975. A operação da frente de lavra foi iniciada em dezembro de 1975, sendo desativada em setembro de 1991, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 16 anos de operação.

No dia 24 de agosto de 2020, foi iniciada a perfuração do poço M#01A com o objetivo de reestabelecer o acesso à frente de lavra M#01, que havia sido cimentado após a primeira tentativa de instalação do piezômetro. A construção deste poço foi finalizada no dia 08 de setembro de 2020 com a instalação do revestimento de 7" em 887,5m de profundidade. Após esta etapa, foi realizada uma injeção do tampão provisório dentro do revestimento de 7", a fim de aguardar o início do processo de fechamento dessa frente de lavra.

De acordo com o relatório analítico emitido, o poço dessa frente de lavra estaria apto a ser tamponado, o que foi autorizado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL. O processo de fechamento dessa frente de lavra foi iniciado no dia 28 de fevereiro de 2021 por meio da instalação do piezômetro no poço auxiliar 1A e concluído no dia 19 de março de 2021, dando início a etapa de monitoramento da pressão e temperatura da cavidade.


Entre 1975 e 2024 foram realizados 10 exames de sonar (tabela 3) que revelaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração até a suspensão de sua operação.

Um novo exame de sonar, realizado em 17 de março de 2024, por meio do poço 01A (SEI (12418218), demonstra uma cavidade completamente dentro da camada salina cujo topo está localizado em 902,6 m (TVD) de profundidade, cerca de 23,6 m abaixo do topo da camada de sal que está em 879m (TVD).

Analisando os resultados dos sonares entre 2021 e 2024, observa-se que o teto e volume da cavidade se encontram numa condição de estabilidade.

Tabela 3 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#01 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Base da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
2-mai-81	Dowell	995	1.050	91.587
30-out-85	Ciech-Techn.	970	1.041	226.263
14-fev-89	Microgage	961	1.034	270.133
19-abr-95	Sonarwire	950	1.015	248.261
29-abr-19	Flodim	905	980	135.593
08-jun-20	Flodim	905	982	135.840
12-mar-21	Flodim	904,25	976,55	129.805

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 17	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

28-ago-21	Flodim	903,30	976,30	137.689
01-mar-23	Flodim	902,8	976,8	142.200
17-mar-24	Flodim (01A)	902,6	973,43	139.394

Profundidade em TVD

2.3 FRETE DE LAVRA M#02

A frente de lavra M#02 situa-se no bairro do Pinheiro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#02 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.554 mE e 8.934.222 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#02 foi construído em outubro de 1967 com 1.210m de profundidade, como poço de pesquisa, mas foi completado para a produção de salmoura apenas em 1975. A operação da frente de lavra foi iniciada em março de 1977, sendo desativada em setembro de 1991, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 14 anos de operação.

Entre 1978 e 2023 foram realizados nove exames de sonar (tabela 4) que revelaram uma cavidade dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na intervenção, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade através do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 8 5/8" por meio da perfilagem ótica. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 32m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar 02AD foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em junho de 2019.

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2023, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade, cujo valor acumulado é de 3,53m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de intercalações de folhelhos contidas no teto, induzido pelo processo de fluência do sal. A redução do volume identificada nos últimos sonares pode ser justificada pelo empolamento das camadas sobrejacentes.

Tabela 4 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#02 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Base da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
12-jul-1978	Dowell	1.075	1.118	22.467
19-out-1985	Ciech-Techn.	990	1.053	
14-fev-1989	Sonarwire	971	1.049	229.859

20-jun-19	Flodim	942	990	90.850
26-jun-20	Flodim (02AD)	938	988	86.499
11-mai-21	Flodim (02AD)	937,4	983,9	80.805
13-dez-21	Flodim (02AD)	939,38	984,05	78.627
30-mai-22	Flodim (02AD)	937,9	983,2	78.463
10-fev-23	Flodim (02DD)	938,07	983,47	76.309

Profundidades em TVD em relação a cota da cabeça do poço original.

O exame de sonar realizado em fevereiro de 2023, revelou uma cavidade completamente dentro da camada salina. O topo da cavidade salina está localizado à aproximadamente 938,07m (TVD) de profundidade, cerca de 21,07m abaixo do topo da camada de sal (917m TVD). Durante a realização do sonar de fevereiro de 2023 não foram identificadas zonas ocultas.

De acordo com a interpretação da SSO, o poço dessa frente de lavra estava apto a ser tamponado, o que foi autorizado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL. Porém, devido à cavidade na época do tamponamento do poço original, ter sido encontrada despressurizada e, considerando, a sua localização e características específicas, o plano de fechamento dessa frente de lavra foi reavaliado e alterado para enchimento, método que foi aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

2.4 FRENTE DE LAVRA M#03

A frente de lavra M#03 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Bebedouro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#03 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.116,58 mE e 8.934.162,42 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#03 foi construído em outubro de 1967 com 1.171m de profundidade, como poço de pesquisa, mas foi completado para a produção de salmoura apenas em 1975. A operação da frente de lavra foi iniciada em maio de 1976, sendo desativada em agosto de 1981, após 5 anos de operação.

Entre 1978 e 2024 foram realizados dezesseis exames de sonar (tabela 5). Onze sonares foram executados por meio do poço auxiliar 03AD, haja vista que uma obstrução foi identificada no poço original na profundidade de 291m (TVD), e quatro exames de sonar foram executados pelo novo poço auxiliar 03BD. Os resultados dos sonares entre 2019 e 2023 revelaram uma cavidade totalmente fora da camada salina.

O novo poço auxiliar 03BD foi perfurado, com a finalidade de melhorar a visão da cavidade e eliminar eventuais zonas ocultas.

Nota-se também, por meio dos últimos sonares, que não se observa migração ascendente significativa nos últimos anos, revelando um topo da cavidade praticamente na mesma posição, o que se confirmou com a perfuração do novo poço auxiliar (03BD). O poço auxiliar 03BD permitiu a visualização da cavidade M#03 em sua totalidade, não sendo observadas zonas ocultas.

Em 21/02/2024 foi realizada uma campanha de sonar na cavidade M#03 por meio do poço auxiliar 03BD (SEI 11853138, protocolado em 06/03/2024).

Tabela 5 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#03 (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
29 mai 78	Dowell	~923	~1.008	36.447
01 nov 19	Flodim (03AD)	706,9	757,7	31.070,1
19 fev 2020	Flodim (03AD)	707,8	756,6	30.556,8
12 mai 2020	Flodim (03AD)	712,8	755,5	17.561,6
10 ago 2020	Flodim (03AD)	711,3	754,8	20.823,4
07 nov 2020	Flodim (03AD)	709,5	754,4	17.961,4
03 fev 2021	Flodim (03AD)	709,3	754,6	16.247,06
18 mai 2021	Flodim (03AD)	709,75	753,27	10.786
18 ago 2021	Flodim (03AD)	705,90	749,4	9.638,9
18 nov 2021	Flodim (03AD)	705,98	749,33	9.701
24 fev 2022	Flodim (03AD)	705,40	749,41	10.212
26 set 2022	Flodim (03BD)	702,53	746,62	26.472
10 dez 2022	Flodim (03BD)	699,1	745,8	26.197
24 mar 2023	Flodim (03BD)	698,69	744,20	25.981
05 ago 2023	Flodim (03BD)	698,71	743,82	24.800
21 fev 2024	Flodim (03BD)	695,65	743,20	24.930

Profundidades em TVD

2.5 FRETE DE LAVRA M#04 - ATUALIZADO

A frente de lavra M#04 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#04 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.258 mE e 8.931.843 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#04 foi construído em outubro de 1975 com 1.115m de profundidade e sua operação foi iniciada em abril de 1976, sendo desativado em dezembro de 1988, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 12 anos de operação.

Entre 1981 e 2024 foram realizados 20 exames de sonar (tabela 6), dos quais onze foram realizados por meio do poço original M#04, dois foram realizados pelo poço auxiliar 04CD, dois exames de sonar foram realizados por meio dos poços 04BD (auxiliar) e M#04 (original), e cinco exames de sonar realizados por meio do poço auxiliar 04BD.


Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2023, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade, cujo valor acumulado é de 32,5m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de rochas pertencentes ao Membro Tabuleiro dos Martins, haja vista que a cavidade está parcialmente dentro da camada salina. A redução do volume, observada (tabela 6), identificada nos últimos sonares, vem ocorrendo devido ao processo de enchimento com areia e o empolamento das camadas sobrejacentes. Foi observado um incremento de volume em relação ao sonar realizado no mês de março de 2023, este aumento do volume se deve ao processo de decantação dos sólidos que estavam em suspensão durante a execução do exame de sonar março/2023.

Um novo exame de sonar, realizado em 18 de março de 2024, por meio do poço 04BD (SEI 12117321) demonstra, em versão preliminar, uma cavidade fora da camada salina cujo topo está localizado em 823,4 m (TVD) de profundidade, cerca de 72,6 m acima do topo da camada de sal que está em 896 m (TVD). O relatório final do referido exame de sonar será apresentado a esta Agência tão logo disponível.

O processo de enchimento desta cavidade, está descrito com detalhes no capítulo 5 deste relatório, o qual foi aprovado pela ANM por meio do Ofício 15/2020/GER-AL.

Tabela 6 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#04 (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	Topo da Cavidade (m TVD)	Profundidade da Cavidade (m TVD)	Volume da Cavidade (m³)
26 abr 81	Dowell	908	984	118.596
04 nov 85	Ciech-Techn.	902	970	
11 fev 89	Microgage	900	975	209.984
04 jul 19	Flodim	858	940	121.735
04 dez 19	Flodim	852	940	101.217
20 mai 20	Flodim	845	940	114.041
09 set 20	Flodim	845	941	113.934
26 nov 20	Flodim	847,2	941,3	111.375
12 mai 21	Flodim	842,9	942	108.182
22 out 21	Flodim	841,8	943	109.835
07 nov 21	Flodim	841,8	942,78	110.809

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 21	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

08 fev 22	Flodim (04CD)	835,39	941,31	109.585
08 jul 22	Flodim (04CD)	835,27	940,57	107.962
12 nov 22	Flodim (04BD e M#04)	825,3	924,1	106.934 ⁽¹⁾
27 dez 22	Flodim (04BD e M#04)	825,1	905,4	72.733 ⁽¹⁾
23 jan 23	Flodim (04BD)	825,7	890,8	42.450
27 fev 23	Flodim (04BD)	825,5	869,4	22.313
13 mar 23	Flodim (04BD)	825,5	845,5	6.902 ⁽²⁾
03 mai 23	Flodim (04BD)	825,0	852,4	14.161
18 mar 24	Flodim (04BD)	823,4	852,7	14.195

Profundidades em TVD

Nota ⁽¹⁾: O volume apresentado representa a superposição de dois sonares realizados via poços 04BD e M#04 respectivamente.


Nota ⁽²⁾: O volume medido não representa fielmente o volume da cavidade devido à presença de sólidos em suspensão verificada na porção inferior da cavidade durante o exame de sonar.

2.6 FRETE DE LAVRA M#05

A frente de lavra M#05 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#05 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.213,99 mE e 8.933.608,62mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#05 foi construído em maio de 1975 com 1.115m de profundidade e sua operação foi iniciada em agosto de 1976, sendo desativado em outubro de 1985, após 9 anos de operação. Entre 1976 e 2019 foram realizados dois exames de sonar, todos realizados através do poço original M#05. O exame de sonar realizado em outubro de 1985 revelou que a cavidade estava parcialmente fora da camada salina, com o topo localizado em 852m (TVD) de profundidade, cerca de 28m acima do topo da camada salina que está em 880m (TVD).

Em 2019, devido à inacessibilidade do poço original, foram construídos dois poços auxiliares para realizar o exame de sonar, porém em ambos não foi possível obter imagens da cavidade. De acordo com Silva (2019), a interpretação das informações da perfuração, das perfilagens, da gravimetria utilizando técnica de aquisição microgravimétrica associada aos dados da sísmica de reflexão sugerem que a cavidade possui o topo situado em 641m (TVD) e possivelmente está preenchida por sedimentos, pelo menos, na região do alvo dos poços auxiliares. Conforme protocolo SEI nº 1983379 de 30.11.2020, no período de 10 de agosto e 20 de setembro de 2020, mais uma campanha de microgravimetria foi realizada na região, cujos resultados demonstram que a cavidade se encontra acima do topo da camada salina.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 22	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Em setembro de 2020, foi realizada uma intervenção no poço original com o objetivo de realizar o exame de sonar por esse acesso, porém não foi possível obter as imagens do sonar, evidenciando assim, um possível preenchimento da cavidade.

Ainda em setembro de 2020, um estudo de VSP (Vertical Seismic Profile) foi realizado com a finalidade de obter um mapeamento da região, na tentativa de gerar uma seção vertical da cavidade. O processamento dos dados do VSP referente à cavidade M#05 já foi concluído e, estudos complementares foram realizados, por meio da técnica de tomografia sísmica com a finalidade de gerar uma seção vertical da cavidade utilizando os poços M#18 e M#22AD, porém com maior resolução e uma maior profundidade.

Entre os dias 17 e 31 de julho de 2021 foi realizada uma segunda aquisição de tomografia sísmica referente à frente de lavra M#05, dessa vez utilizando uma nova seção transversal utilizando os poços 10AD e M#20D. A realização desta seção complementar foi sugerida pela companhia Schlumberger com o objetivo de fornecer mais informações em relação à frente de lavra.

Cumpramos ressaltar que, em 09.01.2023 foi protocolizado junto esta Agência (SEI nº 6058252), os Estudos desenvolvidos pelas empresas Schlumberger e BRGM, relacionados à Vertical Seismic Profile (VSP) e Tomografia Sísmica realizados na cavidade da Frente de Lavra M#05, em suas versões originais, em inglês e respectivas traduções.


Oportuno lembrar que, para a referida Frente de Lavra foi apresentado pela Braskem em 13.10.2021 Relatório Técnico elaborado pela empresa BRANDT Meio Ambiente (SEI 3103727), no qual foi apresentado seu Plano de Fechamento, considerando a conclusão da condição de autopreenchimento desta cavidade, o qual foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

2.7 FRENTE DE LAVRA M#06

A frente de lavra M#06 situa-se no bairro do Pinheiro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#06 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.640,04mE e 8.934.144,94mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#06 foi construído em fevereiro de 1975 com 1.170m de profundidade e sua operação foi iniciada em dezembro de 1976, sendo desativado em maio de 1986, por meio do bloqueio de válvulas, após 10 anos de operação.

Entre 1976 e 2019 foram realizados três exames de sonar, todos realizados através do poço original M#06. O último exame de sonar foi realizado em 1989 e revelou que a cavidade estava

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 23	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

parcialmente fora da camada salina, com o topo situado em 975m (TVD) de profundidade, cerca de 3m acima do topo da camada salina que está em 978m (TVD).

Em 2019, devido à existência de um dano no poço original situado em 272m de profundidade (figura 1), foram construídos cinco poços auxiliares para realizar o exame de sonar, porém em nenhum poço foi possível obter imagens da cavidade.

De acordo com Silva (2019), a interpretação das informações da perfuração, das perfilagens, gravimetria utilizando técnica de aquisição microgravimétrica associada aos dados de sísmica de reflexão sugerem que a cavidade possui o topo situado em 788m (TVD) e possivelmente está preenchida por sedimentos, pelo menos, na região do alvo dos poços auxiliares. Conforme protocolo SEI nº 1983379 de 30.11.2020, no período de 10 de agosto e 20 de setembro de 2020, mais uma campanha de microgravimetria foi realizada na região, cujos resultados demonstram que a cavidade se encontra acima do topo da camada salina, por volta de 755m.

No mês de dezembro de 2020, foi realizado a aquisição de dados via tecnologia VSP (Vertical Seismic Profile), com o objetivo de mapear a região onde está localizada M#06 na tentativa de gerar uma seção vertical da cavidade.

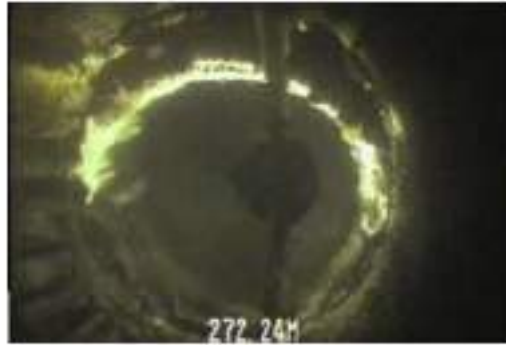
Além disso, o poço TM-01 foi construído com o objetivo de criar condições para a execução da tomografia sísmica. Esta outra tecnologia permitiu o mapeamento da cavidade por meio da sísmica de reflexão entre dois poços com maior resolução do que o VSP, cuja execução foi concluída no mês de janeiro/21, utilizando os poços auxiliares M#2AD e o TM-01.

Cumprе ressaltar que, em 09.01.2023 foi protocolizado junto esta Agência (SEI nº 6058252), os Estudos desenvolvidos pelas empresas Schlumberger e BRGM, relacionados à Vertical Seismic Profile (VSP) e Tomografia Sísmica realizados na cavidade da Frente de Lavra M#06, em suas versões originais, em inglês e respectivas traduções.

Oportuno lembrar que, para a referida Frente de Lavra foi apresentado pela Braskem em 13.10.2021 Relatório Técnico elaborado pela empresa BRANDT Meio Ambiente (SEI 3103727), no qual foi apresentado seu Plano de Fechamento, considerando a conclusão da condição de autopreenchimento desta cavidade, o qual foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 24	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Figura 1 – Dano observado no poço M#06 – vista de topo



2.8 FRETE DE LAVRA M#07


A frente de lavra M#07 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#07 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.145,7 mE e 8.933.800,8mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#07 foi construído em maio de 1979 com 1.154m de profundidade e sua operação foi iniciada em setembro de 1979, sendo desativado em junho de 1997, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 18 anos de operação.

O fechamento dessa frente de lavra está sendo realizado por meio de enchimento da cavidade, o qual foi aprovado pela ANM por meio do Ofício 15/2020/GER-AL e se encontra em execução.

Entre 1979 e 2023 foram realizados vinte e seis exames de sonar (tabela 7). Doze sonares foram realizados por meio do poço original M#07, oito sonares foram realizados por meio do poço auxiliar 7AD e seis sonares realizados pelo poço auxiliar 7BD. O último resultado de sonar foi realizado em 22 de março de 2023, por meio do poço auxiliar 7BD. Como já identificado, o exame revelou uma cavidade totalmente fora da camada salina, cujo topo encontra-se em 692,1m (TVD) de profundidade, cerca de 197,9m acima do topo da camada salina que está em 890m (TVD). Apesar de existir uma conexão com a cavidade da frente de lavra M#19D, identificada no passado, não é mais possível observar essa conexão por meio das imagens de sonar devido ao processo de *backfilling*.

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2023, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade. Entretanto, nos últimos 6 sonares foi observada uma estabilização na posição do teto da cavidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 25	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


Ressaltamos que durante o sonar realizado em março de 2023 não foram identificadas zonas ocultas. Nota-se também, por meio dos últimos treze sonares, que houve uma redução do volume da cavidade em 313.535,9m³, quando comparada com o sonar de 30 de outubro de 2020, devido ao processo de enchimento com areia, concluído.

Tabela 7 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#07 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m ³)
28-abr-81	Dowell (M#07)	987,5	1.068,5	24.722
22-out-1985	Ciech-Techn. (M#07)	970	1.003	
17-jun-89	Sonarwire (M#07)	953	1.039	212.798
11-nov-95	Sonarwire (M#07)	953	1.015	289.103
22-fev-2019	Flodim (M#07)	741	855	359.520
6-ago-19	Flodim (M#07)	722	837	339.587
21-nov-19	Flodim (M#07)	718	839	319.884
5-fev-20	Flodim (M#07)	715	835	322.041
13-mai-20	Flodim (M#07)	711	829	337.312
7-ago-2020	Flodim (M#07)	708	824	348.051
30-out-2020	Flodim (07AD)	710,3	818,4	334.137,9
01-fev-2021	Flodim (M#07)	707,9	814,6	333.850,9
03-mar-2021	Flodim (M#07)	701,5	816,6	329.769
25-jul-2021	Flodim (07BD)	701,5	787,6	294.264
12-ago-2021	Flodim (07AD)	698,4	785,3	280.641
21-out-2021	Flodim (07BD)	697,63	765,66	205.882
06-nov-2021	Flodim (07BD)	698,4	761,32	132.265 ⁽¹⁾
16-dez-2021	Flodim (07BD)	695,52	759,99	191.094
17-fev-2022	Flodim (07BD)	693,91	756,57	136.754
08-mar-2022	Flodim (07BD)	694,51	749,12	107.233
26-abr-2022	Flodim (07AD)	692,86	744,41	95.508
24-jun-2022	Flodim (07AD)	692,67	743,48	76.233
13-ago-2022	Flodim (07AD)	692,86	736,03	48.267
27-ago-2022	Flodim (07AD)	692,9	730,4	46.444
06-out-2022	Flodim (07AD)	692,34	722,26	26.712
22-mar-2023	Flodim (07AD)	692,1	718,0	20.602

Profundidade em TVD

Nota ⁽¹⁾: O volume medido não representa fielmente o volume da cavidade devido à presença de sólidos em suspensão verificada na porção inferior da cavidade durante o exame de sonar.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 26	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

2.9 FRETE DE LAVRA M#08

A frente de lavra M#08 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#08 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.260,48 mE e 8.933.491,71 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#08 foi construído em julho de 1979 com 1.165m de profundidade e sua operação foi iniciada em outubro de 1979, sendo desativado em junho de 1995, por meio do bloqueio de válvulas, após 16 anos de operação.


Entre 1979 e 2019 foram realizados quatro exames de sonar, todos realizados através do poço original M#08. O último exame de sonar foi realizado em 1995 e revelou que a cavidade estava parcialmente fora da camada salina, com o topo situado em 852m (TVD) de profundidade, cerca de 15m acima do topo da camada salina que está em 867m (TVD).

Em 2019, devido à inacessibilidade do poço original, foram construídos quatro poços auxiliares para realizar o exame de sonar, porém em nenhum poço foi possível obter imagens da cavidade. De acordo com Silva (2019), a interpretação das informações da perfuração, das perfilagens, gravimetria utilizando técnica de aquisição microgravimétrica associada aos dados de sísmica de reflexão sugerem que a cavidade possui o topo situado em 554m (TVD) e possivelmente está preenchida por sedimentos, pelo menos, na região do alvo dos poços auxiliares. Conforme protocolo SEI nº 1983379 de 30.11.2020, no período de 10 de agosto e 20 de setembro de 2020, mais uma campanha de microgravimetria foi realizada na região, cujos resultados demonstram que a cavidade se encontra acima do topo da camada salina, por volta de 824m.

Em setembro de 2020, o estudo de VSP (Vertical Seismic Profile) foi realizado com a finalidade de obter um mapeamento da região na tentativa de gerar uma seção vertical da cavidade. Essa investigação foi realizada até a profundidade de 569m MD, devido à presença de danos no poço original M#08.

Estudos complementares foram realizados em dezembro de 2020, por meio da técnica de tomografia sísmica com a finalidade de gerar uma seção vertical da cavidade utilizando os poços M#20 e M#22, porém com maior resolução e uma maior profundidade.

Cumprе ressaltar que, em 09.01.2023 foi protocolizado junto esta Agência (SEI nº 6058252), os Estudos desenvolvidos pelas empresas Schlumberger e BRGM, relacionados à Vertical Seismic Profile (VSP) e Tomografia Sísmica realizados na cavidade da Frente de Lavra M#08, em suas versões originais, em inglês e respectivas traduções.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 27	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Oportuno lembrar que, para a referida Frente de Lavra foi apresentado pela Braskem em 13.10.2021 Relatório Técnico elaborado pela empresa BRANDT Meio Ambiente (SEI 3103727), no qual foi apresentado seu Plano de Fechamento, considerando a conclusão da condição de autopreenchimento desta cavidade, o qual foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

2.10 FRENTE DE LAVRA M#09 - ATUALIZADO

A frente de lavra M#09 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Bebedouro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#09 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.043,29 mE e 8.934.105,5 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#09 foi construído em agosto de 1982 com 1.161m de profundidade e sua operação foi iniciada em setembro de 1982, sendo desativado em agosto de 1997, por meio do bloqueio de válvulas, após 15 anos de operação.


Entre 1982 e 2019 foram realizados três exames de sonar (tabela 8) que relevaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na última intervenção, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade através do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 9,9m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em outubro de 2019.

No dia 15.04.2020, conforme protocolo SEI nº 1237549, foi apresentado plano de fechamento dessa frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

Tabela 8 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#09 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
24 jun 89	Sonarwire	971	1.052	114.921
01 mai 95	Sonarwire	970	1.040	320.096
13 out 19	Flodim	942,2	1.029,9	345.551

Profundidades em TVD

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 28	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O exame de sonar, realizado em 2019, revelou que a cavidade se encontra totalmente dentro da camada de salina e está conjugada com a cavidade M#12. O topo da cavidade está numa profundidade de 942,2m (TVD), 32,2m abaixo do topo da camada de sal que está localizado em 910m (TVD), conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020). Durante o sonar realizado em outubro de 2019, não foram identificadas zonas ocultas que demandassem a adoção de ações associadas.

Um novo exame de sonar foi realizado em 25 de março de 2024 por meio do novo poço auxiliar 09ED. Até a data de fechamento deste relatório as informações se encontravam em processamento e o relatório contendo os resultados serão protocolados assim que consolidados.

De acordo com as interpretações da SSO, os poços (original e auxiliar) dessa frente de lavra estavam aptos a serem tamponados, o que foi autorizado pela ANM por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

2.11 FRENTE DE LAVRA M#10 - ATUALIZADO

A frente de lavra M#10 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#10 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.298 mE e 8.933.697 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#10 foi construído em novembro de 1982 com 1.165m de profundidade e sua operação foi iniciada em novembro de 1982, sendo desativado em março de 1991, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 9 anos de operação.

Entre 1982 e 2023 foram realizados seis exames de sonar (tabela 9) que revelaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. O exame de sonar realizado em março de 2023, apresentou uma cavidade pressurizada e completamente dentro da camada salina, como já identificado, cujo topo está localizado à 919,3m de profundidade, cerca de 20,3m abaixo do topo da camada de sal (899m). De acordo com as interpretações da SSO, o poço dessa frente de lavra está apto a ser tamponado, o que foi autorizado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL.

Comparando os sonares de 2019 e 2023, observa-se uma variação do volume da cavidade. Isto pode ser explicado pelo fato do exame de sonar, realizado em 2021, ter visualizado zonas consideradas ocultas no sonar realizado em 2019, o que levou a perfuração de um poço auxiliar devido às limitações de acesso via poço original. Diante disto, durante a execução dos últimos sonares, realizados em agosto de 2021 e março de 2023, observa-se uma condição de estabilidade do teto e

do volume da cavidade, além de não terem sido observadas zonas ocultas. Cabe observar, que essa cavidade também recebeu injeção de volume proveniente do tratamento de salmoura entre os anos de 2000 e 2011, podendo ter ocasionado uma redução de volume durante este período.

Um novo exame de sonar, realizado em 29 de março de 2024, por meio do poço 10AD (SEI 12454892), demonstra uma cavidade completamente dentro da camada salina cujo topo está localizado em 918,5 m (TVD) de profundidade, cerca de 19,5 m abaixo do topo da camada de sal que está em 899m (TVD).

Tabela 9 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#10 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
28-out-1985	Ciech-Techn.	1.020	1.082	47.000
28-jun-89	Sonarwire	985	1.052	124.168
17-ago-03	Sonarwire	932	1.013	91.043
10-jun-19	Flodim	922	992	45.621
11-ago-21	Flodim	919,9	994,1	62.688
07-mar-23	Flodim	919,3	990,7	63.178
29-mar-24	Flodim(10AD)	918,5	988,1	61.017

Profundidade em TVD


2.12 FRETE DE LAVRA M#11 - ATUALIZADO

A frente de lavra M#11 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#11 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.635,7 mE e 8.933.137,09 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#11 foi construído em março de 1983 com 1.122m de profundidade e sua operação foi iniciada em novembro de 1986, sendo desativado em junho de 1995, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 9 anos de operação.

Entre 1986 e 2023 foram realizados treze exames de sonar (tabela 10). Do total, oito sonares foram executados por meio do poço auxiliar 11A, haja vista que um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" foi identificado no poço original na profundidade de 355m (TVD) em 2019, impossibilitando assim a realização do exame de sonar pelo poço original.

Os resultados dos sonares 2019 e 2023, como já informado, revelaram uma cavidade totalmente fora da camada salina.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 30	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

No exame de sonar realizado em 25 de abril de 2023, por meio do poço auxiliar 11BD (protocolado em sua versão preliminar no dia 05/05/2023 - SEI nº 7250873), observou-se uma oscilação da posição do teto da cavidade, tendo sido verificado um pequeno desmoronamento do teto. A pequena migração ascendente observada, neste período, está relacionada ao desprendimento de rochas pertencentes ao Membro Tabuleiro dos Martins, haja vista que esta cavidade está fora da camada salina.


Nota-se também, por meio do referido exame de sonar realizado em abril de 2023, que houve uma redução do volume da cavidade em 58.355m³, quando comparada com o sonar de 16 de novembro de 2022, devido ao processo de enchimento com areia desta cavidade.

No dia 25.11.2019, conforme protocolo SEI nº 0779506, foi apresentado plano executivo relacionado a esta frente de lavra, o qual recomenda o tamponamento do poço original e a continuidade do monitoramento por meio de sonar no poço auxiliar, para avaliação futura sobre a necessidade de enchimento, ou não, da cavidade com material sólido. Porém, considerando à condição locacional e características específicas desta cavidade, o plano de fechamento dessa frente de lavra foi reavaliado e alterado para enchimento, método aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

Um novo exame de sonar realizado em 16 de março de 2024, executado por meio do poço 11BD (SEI 12161304) observa-se uma atualização na profundidade final da cavidade, que passou de 828,5 m para 836,8 m, e no volume que passou de 6.999,0 m³ para 15.322,0 m³. A atualização nos valores é referente a decantação de finos no fluido que permitiu uma melhor visualização do fundo da cavidade e um consequente aumento no volume medido.

Tabela 10 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#11 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
20 jun 1989	Sonarwire	989	1.015	33.249,5
5 mai 1995	Sonarwire	939	997	220.980
10 ago 2019	Flodim (11A)	821	912,8	120.546,8
15 mai 2020	Flodim (11A)	816	909	115.395
24 nov 2020	Flodim (11A)	811,9	903,4	110.366,3
15 mai 2021	Flodim (11A)	825,4	913,2	103.369
22 out 2021	Flodim (11A)	823,77	909,66	105.207
05 dez 2021	Flodim (11A)	823,54	909,38	105.146
23 abr 2022	Flodim (11A)	822,16	908,83	104.499
02 out 2022	Flodim (11CD)	820,8	906,4	100.366
16 nov 2022	Flodim (11BD)	818,6	906,8	100.580

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 31	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

25 abr 2023	Flodim (11BD)	815,8	859,3	42.225
05 out 2023	Flodim (11BD)	812,8	828,5	6.999
16 mar 2024	Flodim (11BD)	812,0	836,8	15.322

Profundidade em TVD

2.13 FRETE DE LAVRA M#12 - ATUALIZADO

A frente de lavra M#12 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Bebedouro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#12 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.065,45 mE e 8.934.015,69 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#12 foi construído em fevereiro de 1987 com 1.206m de profundidade e sua operação foi iniciada em abril de 1987, sendo desativado em agosto de 1996, por meio do bloqueio de válvulas, após 9 anos de operação.


Entre 1987 e 2019 foram realizados dois exames de sonar (tabela 11) que relevaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na última intervenção, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade através do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 2,4m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em outubro de 2019.

Tabela 11 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#12 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
06 dez 1995	Sonarwire	984	1.075	291.654
22 out 2019	Flodim	942.5	1.029,4	279.394

Profundidades em TVD

O exame de sonar, realizado em 2019, revelou que a cavidade se encontra totalmente dentro da camada de salina e está conjugada com a cavidade M#09. O topo da cavidade está numa profundidade de 942,5m (TVD), cerca de 52,5m abaixo do topo da camada de sal que está localizado em 890m (TVD), conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020). De acordo com a interpretação da SSO, os poços (original e auxiliar) dessa frente de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 32	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

lavra estão aptos a serem tamponados. Durante o último sonar, realizado em outubro de 2019, não foram identificadas zonas ocultas que demandem adoção de ações associadas.

Um novo exame de sonar foi realizado em 25 de março de 2024 por meio do novo poço auxiliar 09ED. Até a data de fechamento deste relatório as informações se encontravam em processamento e o relatório contendo os resultados serão protocolados assim que consolidados.

No dia 15.04.2020, conforme protocolo SEI nº 1237549, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

2.14 FRENTE DE LAVRA M#13

A frente de lavra M#13 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Bebedouro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#13 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.167,37mE e 8.934.120,4mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#13 foi construído em julho de 1987 com 1.214m de profundidade e sua operação foi iniciada em janeiro de 1988, sendo desativado em dezembro de 1998, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 10 anos de operação.


Entre 1988 e 2023 foram realizados quatro exames de sonar (tabela 12) que relevaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. O exame de sonar realizado em março de 2023, revelou uma cavidade pressurizada e completamente dentro da camada salina, como já identificado. Além disso, revelou que o topo da cavidade está localizado à 997,9m de profundidade, cerca de 76,9m abaixo do topo da camada de sal (921m). Durante o sonar realizado em março de 2023, não foram identificadas zonas ocultas que demandassem a adoção de ações associadas.

Analisando os resultados dos sonares entre 2021 e 2023, observa-se uma condição de estabilidade do teto e do volume da cavidade.

De acordo com a interpretação da SSO, o poço dessa frente de lavra está apto a ser tamponado, o que foi autorizado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL.

Tabela 12 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#13 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
13-mai-95	Sonarwire	1.060	1.113	79.850
15-mai-19	Flodim	1.000	1.069	117.451

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 33	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

24-jul-21	Flodim	997,3	1060,0	100.422
20-mar-23	Flodim	997,9	1061,0	100.720

Profundidade em TVD

2.15 FRENTE DE LAVRA M#14

A frente de lavra M#14 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#14 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198534,00 mE e 8.933.317,94mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.


O poço M#14 foi construído novembro de 1988 com 1.117m de profundidade e sua operação foi iniciada em novembro de 1992, sendo desativado em janeiro de 2003, por meio do bloqueio de válvulas, após 11 anos de operação.

Entre 1992 e 2000 foram realizados três exames de sonar, todos realizados através do poço original M#14. O exame de sonar realizado em 2000 revelou que a cavidade estava totalmente dentro da camada salina, com o topo situado em 961m (TVD) de profundidade, cerca de 68m abaixo do topo da camada salina que está em 893m (TVD).

Em 2019, devido à inacessibilidade do poço original, foram construídos dois poços auxiliares para realizar o exame de sonar, porém em nenhum poço foi possível obter imagens da cavidade. De acordo com Silva (2019), a interpretação das informações da perfuração, das perfilagens, gravimetria utilizando técnica de aquisição microgravimétrica associada aos dados de sísmica de reflexão sugerem que a cavidade possui o topo situado em 881m (TVD) e possivelmente está preenchida por sedimentos, pelo menos, na região do alvo dos poços auxiliares. Conforme protocolo SEI nº 1983379 de 30.11.2020, no período de 10 de agosto e 20 de setembro de 2020, mais uma campanha de microgravimetria foi realizada na região, cujos resultados demonstram que a cavidade se encontra acima do topo da camada salina, por volta de 845m. Entretanto, vale ressaltar que a Braskem programou estudos adicionais para confirmar essa interpretação.

Em julho de 2020, o estudo de VSP (Vertical Seismic Profile) foi realizado em caráter piloto para obter um mapeamento da região da cavidade M#11, já que existem dados desta cavidade já mapeados. Nesta mesma operação foram instalados receptores no poço original da cavidade M#14 na tentativa de gerar dados. Essa investigação foi realizada até a profundidade de 534m MD, devido à presença de danos no poço original M#14.

Estudos complementares foram realizados, por meio da técnica de tomografia sísmica com a finalidade de gerar uma seção vertical da cavidade utilizando os poços 14FD e TM-03, porém com

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 34	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

maior resolução e uma maior profundidade. A perfuração do poço auxiliar 14ED foi iniciada no dia 14 de janeiro de 2021 com objetivo duplo, primeiramente de realizar uma investigação na porção norte da cavidade M#14 com sonar, buscando mapear uma possível migração da cavidade para essa zona. Caso não houvesse sucesso na operação, um side-track no poço 14ED seria realizado que passaria a se chamar 14FD.

No mês de fevereiro de 2021 foi finalizada a perfuração do poço auxiliar 14ED, onde foi realizado uma tentativa de obtenção das imagens com o sonar. Num exame preliminar, chamado de "Explorer", foi observado uma estabilização do gradiente de temperatura numa profundidade de 817m, indicando uma possível presença da cavidade. No entanto, ao tentar realizar o exame de sonar não foi possível obter imagens da cavidade. Diante disso, foi dada continuidade à construção do poço auxiliar 14FD com o objetivo de realizar a tomografia sísmica na região da cavidade. Este poço foi finalizado no dia 20 de fevereiro de 2021 com uma profundidade final de 1050m.


A construção do poço TM-03 foi iniciada no 29 de março de 2021 com o objetivo de criar uma seção vertical com o poço 14FD, permitindo assim, realizar a tomografia sísmica. No dia 24 de maio de 2021, o poço TM-03 foi concluído. Durante o mês de junho de 2021 foram realizados estudos complementares de tomografia sísmica.

Cumprе ressaltar que, em 09.01.2023 foi protocolizado junto esta Agência (SEI nº 6058252), os Estudos desenvolvidos pelas empresas Schlumberger e BRGM, relacionados à Vertical Seismic Profile (VSP) e Tomografia Sísmica realizados na cavidade da Frente de Lavra M#14, em suas versões originais, em inglês e respectivas traduções.

Oportuno lembrar que, para a referida Frente de Lavra foi apresentado pela Braskem em 13.10.2021 Relatório Técnico elaborado pela empresa BRANDT Meio Ambiente (SEI 3103727), no qual foi apresentado seu Plano de Fechamento, considerando a conclusão da condição de autopreenchimento desta cavidade, o qual foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

2.16 FRENTE DE LAVRA M#15

A frente de lavra M#15 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#15 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198448,75mE e 8.933.266,05mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 35	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O poço M#15 foi construído em janeiro de 1989 com 1.129m de profundidade e sua operação foi iniciada em junho de 1992, sendo desativado em setembro de 2000, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 8 anos de operação.

Entre 1992 e 2024 foram realizados quatorze exames de sonar (tabela 13) que relevaram uma cavidade compatível com um processo de lavra ascendente, até a suspensão de sua operação. Na última intervenção no poço original, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica na profundidade de 350m. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 61,67m, valor registrado em abril de 2021.


Diante desse cenário, o poço auxiliar 15AD foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em outubro de 2019. O resultado do sonar de 2019 relevou uma cavidade parcialmente fora da camada salina, cujo topo encontrava-se em 894,2m (TVD) de profundidade, cerca de 12m acima do topo da camada salina que está em 906m (TVD). A migração ascendente da cavidade, mesmo que de forma parcial, pode ter ocorrido devido à queda dos folhelhos localizadas acima da camada salina na direção da cavidade M#14. Diante desse fato, a SSO concluiu, que pode ter ocorrido uma conjugação da cavidade M#15 com a M#14.

Em 29/02/2024 foi realizada uma campanha de sonar na cavidade M#15 por meio do poço 15AD. Conforme relatório preliminar (field) do exame de sonar (SEI 11853137, protocolado em 06/03/2024).

No dia 12.06.2020, conforme protocolo SEI nº 1424719, foi apresentado plano executivo relacionado a esta frente de lavra, o qual sugere o monitoramento por sonar de forma regular, visando avaliação futura sobre a evolução da cavidade, o qual teve a aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 6808/2021.

Tabela 13 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#15 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Caverna (m)	Profundidade da Caverna (m)	Volume da Caverna (m³)
28 nov 95	Sonarwire	985	1.063	93.146
15 jan 98	Sonarwire	960	1.039	154.847
25 ago 00	Sonarwire	931	1.021	237.439
20 out 19	Flodim (15AD)	894,2	986.8	210.804
23 mai 20	Flodim (15AD)	911,8	972.6	164.417
14 out 20	Flodim (15AD)	912,5	972.3	147.024
15 abr 21	Flodim (15AD)	906,5	972.3	146.109
08 Set 21	Flodim (15AD)	906,82	969,71	140.643

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 36	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

12 fev 22	Flodim (15AD)	905,80	969,02	143.233
30 ago 22	Flodim (15AD)	904,1	968,1	142.932
27 out 22	Flodim (15AD)	905,51	967,91	137.191
15 mar 23	Flodim (15AD)	906,0	966,7	136.991
03 ago 23	Flodim (15AD)	907,6	964,16	131.293
29 fev 24	Flodim (15AD)	906,3	963,8	130.544

Profundidade em TVD

2.17 FRENTE DE LAVRA M#16

A frente de lavra M#16 situa-se no bairro do Pinheiro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#16 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.293,42mE e 8.934.109,66mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#16 foi construído em janeiro de 1988 com 1.221m de profundidade, e sua operação foi iniciada em setembro de 1988, sendo desativado em março de 1999, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 11 anos de operação.


Na intervenção, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade através do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 35,9m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em setembro de 2019.

Entre 1988 e 2022 foram realizados quatro exames de sonar (tabela 14) que revelaram um processo de lavra ascendente, dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração até a suspensão de sua operação.

Tabela 14 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#16 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
3 dez 95	Sonarwire	1.077	1.155	204.502
8 fev 98	Sonarwire	1.054	1.147	273.406
6 set 19	Flodim (16A)	1.023,2	1.101,6	177.901
18 jan 22	Flodim (16A)	1.021,15	1.088,08	113.615

Profundidades em TVD

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 37	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O exame de sonar realizado em 2022 via poço auxiliar 16AD revelou uma cavidade completamente dentro da camada salina, cujo topo está localizado à 1021m (TVD) de profundidade, cerca de 92,15m abaixo do topo da camada de sal que está em 929m (TVD), conforme apresentado no exame de sonar protocolado na Agência.

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2022, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade, cujo valor acumulado é de 2,05m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de intercalações de folhelhos contidos no teto da cavidade, induzido pelo processo de fluência do sal.

No entanto, observou-se uma subida da base da cavidade entre os sonares de setembro/2019 e janeiro/2022. Além da nova posição da base, observou-se também, uma redução do diâmetro máximo, que resultou na redução do volume. Se encontra em avaliação eventual causa das citadas alterações, sendo que, para conclusão da avaliação será necessária a perfuração de novo poço. Durante a aquisição dos dados do sonar realizado em janeiro de 2022, foram identificadas pequenas zonas ocultas nesta frente de lavra, porém podem ser consideradas irrelevantes, perante o tamanho da cavidade e que, portanto, não demandam a adoção de ações associadas.

De acordo com a interpretação da SSO, os poços (original e auxiliar) dessa frente de lavra estão aptos a serem tamponados.


No dia 15.04.2020, conforme protocolo SEI nº 1237549, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

2.18 FRENTE DE LAVRA M#17

A frente de lavra M#17 situa-se no bairro do Pinheiro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#17 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.336,08mE e 8.934.021,11mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#17 foi construído em outubro de 1987 com 1.225m de profundidade e sua operação foi iniciada em setembro de 1988, sendo desativado em novembro de 2014, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 26 anos de operação.

Entre 1988 e 2022 foram realizados vinte e sete exames de sonar (tabela 15). O exame de sonar, que foi realizado em setembro de 2022, como já informado, revelou uma cavidade totalmente fora da camada salina, sendo que o topo da cavidade se encontra em 738,76 m (TVD) de profundidade, cerca de 181,24 m acima do topo da camada salina que está em 920m (TVD) em referência ao poço

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 38	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

auxiliar 17AD. Durante o sonar realizado em setembro de 2022, não foram identificadas zonas ocultas nesta frente de lavra. Observou-se uma oscilação da posição do teto da cavidade, isso se deve à realização de sonares por poços distintos e o processo de enchimento, no qual alterou a concentração da salmoura da cavidade, consequentemente, a velocidade do som no fluido. Estas flutuações já eram previstas e estão dentro da margem de erro de medição da ferramenta de sonar.

A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de rochas pertencentes à Formação Poção, haja vista que esta cavidade está fora da camada salina.

Nota-se também, por meio dos últimos sete sonares, que houve uma redução do volume da cavidade em 211.393m³, quando comparada com o sonar de 05 de janeiro de 2022, devido ao processo de enchimento com areia. Pode-se observar um pequeno aumento de volume comparando-se os últimos dois sonares realizado em um curto período. Este fenômeno pode estar relacionado à melhor visualização da cavidade devido ao rearranjo da pilha de areia, logo abaixo da região da sapata do poço de injeção. O processo de conclusão do enchimento da cavidade da frente de lavra M#17 está descrito no capítulo 5.17 deste relatório.

No dia 28 de abril de 2023, conforme recomendação da consultoria *Sabine Storage and Operatins* (SSO), foi realizada a Perfilagem Explorer pela empresa Flodim, com o objetivo de verificar a altura do topo da pilha de areia pós compactação. O resultado está descrito no capítulo 5 deste relatório.

O fechamento desta frente de lavra foi realizado por meio de enchimento, o qual foi aprovado pela ANM por meio do Ofício 15/2020/GER-AL.

Tabela 15 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#17 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m ³)
22 ago 2003	Sonarwire	1.010	1.145	79.532,1
2 set 2004	Sonarwire (M#17)	1.004	1.133	103.256
22 out 2005	Sonarwire (M#17)	997	1.117	130.947,3
5 fev 2007	Sonarwire (M#17)	993	1.101	169.345,9
19 jun 2008	Sonarwire (M#17)	958	1.090	201.599
4 abr 2009	Sonarwire (M#17)	954	1.089	222.521
5 jun 2010	Sonarwire (M#17)	952	1.085	266.222,9
23 mai 2012	Sonarwire (M#17)	940	1.073	347.514,9
12 ago 2019	Flodim (17AD)	774	849	165.112,2
16 out 2019	Flodim (17AD)	766	829	160.518,9
16 fev 2020	Flodim (17AD)	760	839	209.362,1

17 mai 2020	Flodim (17AD)	756	842	165.112,2
02 out 2020	Flodim (17AD)	741	826,56	205.169
25 jan 2021	Flodim (17AD)	745,40	831,30	207.934,4
09 abr 2021	Flodim (17AD)	737,1	823,6	204.525
19 mai 2021	Flodim (17AD)	735,4	823,6	203.632
10 set 2021	Flodim (17AD)	735,85	826,37	215.506
30 out 2021	Flodim (17BD)	739,97 ⁽¹⁾	825,72 ⁽¹⁾	212.692
10 nov 2021	Flodim (17AD)	736,63	826,26	225.981
05 jan 2022	Flodim (17CD)	737,71 ⁽²⁾	824,72 ⁽²⁾	222.362
01 abr 2022	Flodim (17BD)	743,61 ⁽¹⁾	814,26 ⁽¹⁾	181.263
19 abr 2022	Flodim (17AD)	736,68	814,21	182.635
26 mai 2022	Flodim (17BD)	740,26 ⁽¹⁾	801,26 ⁽¹⁾	130.965
05 jul 2022	Flodim (17BD)	739,73 ⁽¹⁾	793,77 ⁽¹⁾	83.492
19 ago 2022	Flodim (17BD)	738,88 ⁽¹⁾	767,98 ⁽¹⁾	26.572
06 set 2022	Flodim (17BD)	738,86 ⁽¹⁾	757,16 ⁽¹⁾	8.603 ⁽³⁾
15 set 2022	Flodim (17BD)	738,76 ⁽¹⁾	762,06 ⁽¹⁾	10.969

Profundidades em TVD

Nota ⁽¹⁾: As informações referentes ao topo e base da cavidade estão em referência a cabeça do poço 17AD.

Nota ⁽²⁾: As informações referentes ao topo e base da cavidade estão em referência a cabeça do poço 17CD.

Nota ⁽³⁾: O volume medido não representa fielmente o volume da cavidade devido à presença de sólidos em suspensão verificada na porção inferior da cavidade durante o exame de sonar..


2.19 FRETE DE LAVRA M#18D

A frente de lavra M#18D situa-se às margens da lagoa Mundaú, no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#18D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.142,99mE e 8.933.691,71mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#18D foi construído em outubro de 1988 com 1.270m de profundidade e sua operação foi iniciada em julho de 1989, sendo desativado em outubro de 2014, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 25 anos de operação.

Entre 1988 e 2023 foram realizados dezesseis exames de sonar (tabela 16) que revelaram, um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a paralisação de sua operação em 2014.

O exame de sonar realizado em agosto de 2019, por meio do poço original M#18D, revelou uma cavidade dentro da camada salina, com volume 494.425 e despressurizada, porém, com pequenas zonas ocultas na região superior, não indicando que a cavidade estava fora do sal. Em 19 de maio de 2023, um novo exame de sonar foi realizado por meio do novo poço auxiliar 18BD, construído para o processo de enchimento da cavidade. Este exame de sonar apresentou zonas

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 40	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

ocultas na base e no teto da cavidade, mostrando uma cavidade parcialmente dentro da camada salina, mas com um volume de 111.761m³. Diante deste resultado, o poço auxiliar 18BD foi tamponado para dar início ao poço *side-track* 18CD, a fim de buscar uma melhor visualização da cavidade acessando-a pelo topo. Paralelamente, em 20 de maio de 2023 outro exame de sonar foi realizado por meio do poço original M#18D, com o objetivo de permitir a consolidação das imagens geradas por meio dos sonares realizados em maio de 2023. O relatório final dos referidos exames de sonar realizados em 19 e 20 de maio de 2023 foi apresentado à ANM de forma unificada, por meio do SEI nº 7916059, uma vez que se complementam e por se tratar da mesma frente de lavra.

A partir da consolidação das imagens dos 3 sonares (os dois de maio/2023), observou-se o topo da cavidade a 785,7m (TVD), cerca de 101,3m (TVD) acima do topo da camada de sal (887m TVD) e com volume totalizando 424.516 m³. Cabe informar que foi perfurado o poço auxiliar 18AD para o processo de enchimento, e que minimizou as zonas ocultas. Posteriormente, em 12/06/2023 foi realizado novo exame de sonar, por meio do poço 18CD (SEI nº 8111608).

De acordo com a interpretação da SSO, o poço original M#18D dessa frente de lavra estava apto a ser tamponado. Porém, devido à cavidade ter sido encontrada despressurizada, e considerando a sua condição locacional e características específicas, o plano de fechamento dessa frente de lavra foi reavaliado e alterado para enchimento, método aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM nº 7369/2022.


Na tabela 16 abaixo, são apresentados os resultados dos exames de sonar realizados pelos poços original e auxiliares (M#18D, 18BD e 18CD) em maio e junho de 2023.

Entre os dias 29 de julho de 2023 e 1 de agosto de 2023 foi realizado um novo exame de sonar por meio do poço auxiliar 18AD. O relatório preliminar de campo (*field*) do exame de sonar realizado na frente de lavra foi protocolado por meio do SEI nº 8739218.

No exame de sonar realizado em agosto de 2023 (SEI nº 8993790), como já era esperado, foi possível confirmar a existência de uma parte da cavidade fora da camada salina.

Com o propósito de adquirir imagens da geometria da cavidade antes do início do processo de enchimento, realizou-se um exame de sonar em 04/11/2023 (SEI 10340752) por meio do poço 18CD, relativo à parte superior da cavidade. O resultado indicou a presença de uma cavidade, sem alterações significativas em comparação com a última avaliação realizada em agosto de 2023 (SEI 8993790).

Na sequência estava prevista a realização de sonar da parte inferior da cavidade por meio do poço 18AD, com o intuito de realizar o monitoramento da cavidade M#18 em sua completude. No dia 06.11.2023, já haviam sido iniciados os preparativos, dentre eles, a injeção de água para limpeza da tubulação do poço, quando foi observada uma leve surgência nos poços 18AD e 18CD, caracterizada

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 41	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

pelo retorno da água que havia sido injetada nos poços. Ato contínuo, foi realizado o fechamento dos poços.

Como informado a esta Agência por meio do SEI nº 10340765, essa etapa relativa ao sonar complementar através do poço 18AD não pôde ser realizada devido ao início das atividades microssísmicas em 06/11/2023. As atividades entre as áreas 3 e 4, próximas a Planta de Enchimento foram suspensas, quando preventivamente os funcionários e prestadores de serviço foram retirados, fato comunicado à ANM por meio de correspondência eletrônica encaminhada no dia 07.11.2023.

Após a primeira fase dos eventos microssísmicos (06/11/2023 a 10/11/2023), houve retorno à condição de normalidade dos registros de microssísmica, conforme comunicado realizado à esta Agência via correspondência eletrônica no dia 10.11.2023. Diante desse cenário de condição de normalidade dos registros de microssísmica, as atividades relacionadas à execução do sonar por meio do poço 18AD foram retomadas. No dia 10/11/2023, identificou-se que o revestimento de 7" estava preso, apesar de se tratar de um poço recém-construído.

Frente a essa nova condição, uma tentativa de exame de sonar foi realizada através do poço 18AD, mas, sem êxito, pois a ferramenta não conseguiu entrar na cavidade. Diante dessa situação, optou-se por efetuar um corte no revestimento de 7" com o objetivo de liberá-lo. Apesar do sucesso no procedimento de corte, não foi possível remover a coluna de 7", nem realizar o sonar após o corte.


No dia 19/11/2023, foram realizadas as operações de perfilagem de caliper, giroscópio e MDT (Magnetic Thickness Detector) com o propósito de mapear o revestimento de 7" após os registros microssísmicos. As perfilagens não revelaram anomalias no revestimento até a profundidade perfilada de 958,8 m.

Nesse período, outras tentativas de exames de sonar foram realizadas por meio dos poços 18 AD, 18CD e M#18D, porém, sem sucesso.

Na primeira fase (06/11/2023 a 10/11/2023) os eventos de microssísmica não foram acompanhados de detecção de movimentação no solo. Na segunda fase (20/11/2023 a 04/12/2023), além dos eventos microssísmicos, houve a detecção de movimentação em superfície.

No dia 21/11/2023 pela manhã, foi enviada nova comunicação a ANM por meio de correspondência eletrônica informando que, em função da identificação da elevação dos registros de microssísmica, as atividades nas áreas 3 e 4 foram suspensas para evitar ruídos no sistema de detecção, sendo que as demais atividades permaneceram em curso.

No dia 29.11.2023 (SEI 10344343) foi protocolado comunicado informando que, conforme informações apresentadas a esta Agência por meio de contatos telefônicos, correspondências eletrônicas e reunião presencial realizada com o GT nos dias 22 e 23/11/2023, em razão das recentes atividades microssísmicas e de DGPS identificadas, todas as atividades de fechamento das frentes de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 42	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

lavra, inclusive transporte e armazenagem de areia, foram suspensas desde a noite de 28.11, por volta das 20h, tendo sido retomadas no dia 19/02/2024 conforme Plano de Retorno aprovado por esta Agência.

Nesse sentido, após a atividade de inspeção do poço, verificou-se a possibilidade de realização do exame de sonar da cavidade M#18, o que foi executado por meio do poço M#18CD. Conforme o relatório preliminar do exame de sonar (SEI 11907879, protocolado em 08/03/2024), foi identificado um volume total de 4.971m³, que corresponde ao remanescente da cavidade, após o seu colapso ocorrido em 10/12/2023. Também foi possível verificar que o poço 18CD, que permite o acesso à cavidade, se encontra íntegro.

Tabela 16 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#18D (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m TVD)	Profundidade da Cavidade (m TVD)	Volume da Cavidade (m ³)
16/nov/95	Sonarwire	1.121	1.185	114.590
01/fev/98	Sonarwire	1.117	1.176	161.579
05/set/00	Sonarwire	1.082	1.157	261.216
27/mai/02	Sonarwire	1.054	1.151	314.001
15/ago/03	Sonarwire	1.044	1.150	359.781
27/ago/04	Sonarwire	1.036	1.144	384.425
15/out/05	Sonarwire	1.035	1.140	411.618
30/jan/07	Sonarwire	1.030	1.137	446.034
09/abr/09	Sonarwire	1.023	1.135	521.875
29/mai/10	Sonarwire	1.014	1.138	569.033
15/ago/19	Flodim	948	1.089	494.425
19/mai/23	Flodim (18BD)	784,5	910,59	422.454 ⁽²⁾
20/mai/23	Flodim (M#18D)	910,8	1052,4	422.454 ⁽²⁾
12/jun/23	Flodim (M#18D/18CD)	785,7 ⁽¹⁾	1052,4 ⁽¹⁾	424.516 ⁽²⁾
01/ago/23	Flodim (M#18AD/18CD)	784,3 ⁽³⁾	1057,6 ⁽³⁾	489.525
04/nov/23	Flodim (18CD)	786,2 ⁽⁴⁾	914,0 ⁽⁴⁾	116.747 ⁽⁴⁾
02/mar/24	Flodim (18CD)	773,2 ⁽⁴⁾	805,5 ⁽⁴⁾	4.971 ⁽⁴⁾


Profundidades em TVD

Nota ⁽¹⁾: Os valores de topo e base apresentados referem-se ao topo visualizado pelo poço auxiliar 18CD e a base visualizada pelo poço original M#18D)

Nota ⁽²⁾: O volume apresentado representa a superposição de dois sonares realizados via poços 18BD, 18CD e M#18D respectivamente.

Nota⁽³⁾: Os valores de topo e base apresentados referem-se ao topo visualizado pelo poço auxiliar 18CD e a base visualizada pelo poço auxiliar 18AD.

Nota(4): Valores referentes ao sonar realizado apenas na parte superior da cavidade visível pelo no poço 18CD.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 43	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

2.20 FRETE DE LAVRA M#19D

A frente de lavra M#19D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#19D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.040,3 mE e 8.933.759,24 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020


O poço M#19D foi construído em outubro de 1988 com 1.215m de profundidade e sua operação foi iniciada em agosto de 1989, sendo desativado em outubro de 2005, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 16 anos de operação.

Entre 1989 e 2022 foram realizados dez exames de sonar, oito realizados através do poço original, e dois via poço auxiliar 19AD (tabela 17). O resultado de sonar, que foi realizado em dezembro de 2022, em sua versão final, relevou um volume residual de 632,6 m³ parcialmente fora da camada salina, cujo topo se encontra em 841,18m (TVD) de profundidade, cerca de 23,02m acima do topo da camada salina que está em 864,2m (TVD). A redução de volume observada no sonar realizado em 23 de dezembro de 2022, representado na tabela 17, foi fruto do processo de enchimento da cavidade com areia.

Ainda referente ao sonar realizado em 2019, observa-se um volume reduzido da cavidade quando comparada com os sonares anteriores (tabela 17). Essa redução volumétrica da cavidade M#19D pode ser atribuída ao empolamento dos sedimentos depositados durante o processo de migração ascendente da cavidade M#07. Em novembro de 2019 e fevereiro de 2020, foram realizadas tentativas de execução do sonar para monitoramento, mas não foi possível obter imagens com o sonar nas duas ocasiões. O fechamento desta frente de lavra foi realizado por meio de enchimento, aprovado pela ANM por meio do Ofício 15/2020/GER-AL.

Tabela 17 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#19D (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da cavidade (m TVD)	Profundidade da cavidade (m TVD)	Volume da Cavidade (m³)
04/fev/98	Sonarwire	1.006	1.047	87.818
03/set/00	Sonarwire	988,25	1038,25	125.944
29/mai/00	Sonarwire	960	1.033	180.681
19/ago/03	Sonarwire	957,25	1036,25	206.204
30/ago/04	Sonarwire	941	1.036	279.445
19/out/05	Sonarwire	918,25	1026,25	372.702
26/mai/12	Sonarwire	879	973	495.184

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 44	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

22/fev/19	Flodim	874,25	909,25	7.925
25/jul/22	Flodim	868,33	890,67	7.705
23/dez/22	Flodim 19AD	841,18	870,75	632,6

O exame de sonar realizado em julho de 2022 por meio do poço auxiliar 19AD permitiu uma melhor visualização da cavidade, quando comparada com a aquisição realizada em fevereiro de 2019 por meio do poço original M#19D, reduzindo assim, as zonas ocultas observadas em 2019, que atualmente são consideradas irrelevantes.

2.21 FRETE DE LAVRA M#20D - ATUALIZADO

A frente de lavra M#20D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#20D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.107,3 mE e 8.933.566,24 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.


O poço M#20D foi construído em fevereiro de 1989 com 1.254m de profundidade e sua operação foi iniciada em agosto de 1989, sendo desativada em janeiro de 2008, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 19 anos de operação.

Entre 1989 e 2023 foram realizados dezessete exames de sonar (tabela 18) que revelaram um processo de lavra ascendente compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação.

Durante a aquisição dos dados do sonar, realizada em abril de 2021, foi identificado um empeno na sapata que não permitiu um acesso pleno à cavidade, gerando assim uma limitação de visão do teto. Esta leitura revelou um topo da cavidade mais profundo quando comparado com a leitura anterior. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de a ferramenta do sonar não ter visualizado a cavidade em sua totalidade.

Vale salientar que entre os dias 30 de março e o dia 2 de abril de 2021 foi realizada uma operação especial com uso da ferramenta “casing impact” com diâmetro de 4 ¾” no poço M#20D, objetivando reestabelecer o acesso à cavidade M#20, devido a uma obstrução encontrada durante a descida da ferramenta de sonar. O acesso à cavidade foi reestabelecido com sucesso no dia 02 de abril de 2021, permitindo a realização do exame de sonar. Entretanto, no segundo semestre de 2021, constatou-se uma nova obstrução no poço, fato que impossibilitou a realização de um novo sonar.

Entre os meses de fevereiro e março de 2022, para solucionar a limitação de acesso à frente de lavra M#20D, um poço auxiliar foi perfurado para permitir a realização do exame de sonar. Durante

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 45	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

as aquisições dos dados do sonar em 22 de março de 2022, por meio do poço auxiliar 20AD, foi possível visualizar praticamente em sua integralidade as cavidades M#20D e M#21D. Diante deste fato, a Braskem optou por apresentar apenas um relatório de sonar, representando as cavidades de forma conjugada, passando a se referir como sonar da frente de lavra M#20D/21D.

Os exames de sonar realizados em março, agosto e novembro de 2022, possibilitaram uma melhor visualização das cavidades conjugadas 20 e 21. Esses relatórios passaram a apresentar os volumes das cavidades 20 e 21 juntas, e por isso, é possível verificar o aumento de volume quando comparado com relatórios anteriores. No sonar realizado apenas no poço 20D (abril/2021), o ponto mais alto observado estava em 868,1m de profundidade, porém por meio das aquisições de sonar realizadas no poço 21AD, o ponto mais alto das cavidades conjugadas estava em 764m. Sendo assim, o sonar realizado em abril/22 pelo poço auxiliar 20AD eliminou a situação de zona oculta identificada na cavidade M#21, possibilitando a visualização da parte oculta que existia no topo da cavidade M#21 conjugada com a cavidade M#20.

Durante o sonar realizado em 01 de novembro de 2023 por meio do poço 20AD, com versão final protocolada em 13/11/2023 (SEI nº 10138464), o topo da cavidade conjugada M#20D/21D foi encontrado à 728,10 m (TVD) de profundidade, revelando uma posição do teto da cavidade conjugada em 135,90 m (TVD) acima do topo da camada salina, que se encontra a 864m (TVD) de profundidade em referência ao poço original M#20D. Esta cavidade conjugada se encontra completamente fora da camada salina.

Mesmo com a realização de uma campanha de sonar recente na cavidade conjugada M#20/21, executado em 01/11/2023 por meio do poço 20AD, com versão final protocolada em 13/11/2023 (SEI nº 10138464), antes do colapso da cavidade M#18, avaliou-se a importância de repetir a campanha de sonar dessa cavidade conjugada visto à proximidade da cavidade M#18. Para tanto, foi realizado um Plano Executivo de exame de sonar na cavidade conjugada M#20/21 após ocorrência da cavidade M#18, compartilhado com essa Agência por meio do SEI (10845713).

Em 20/01/2024 foi realizada uma campanha de sonar na cavidade conjugada M#20/21. Conforme consta no relatório preliminar de campo (*field*) (SEI 11137840) bem como no relatório final do exame de sonar realizado (SEI 11332149), protocolados junto à ANM. Verificou-se que o poço de acesso à cavidade conjugada M#20/21 se encontra íntegro e que a geometria da cavidade conjugada não apresenta alterações significativas, mantendo-se o comportamento dinâmico já observado nos sonares anteriores.

Um novo exame de sonar foi realizado em 30 de março de 2024 por meio do poço 20AD. Até a data de fechamento deste relatório as informações se encontravam em processamento e o relatório contendo os resultados serão protocolados assim que consolidados.


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 46	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Tabela 18 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#20D (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	Topo da cavidade (m)	Profundidade da cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
20/nov/95	Sonarwire	1.065	1.115	75.339
30/jan/98	Sonarwire	1044	1104	125.556
02/set/00	Sonarwire	1.005	1.097	200.199
25/mai/02	Sonarwire	976	1090	383.605 ⁽³⁾
13/ago/03	Sonarwire	966	1.079	538.521 ⁽³⁾
22/ago/04	Sonarwire	952	1064	611.705 ⁽³⁾
13/out/05	Sonarwire	935	1.057	731.881 ⁽³⁾
28/jun/19	Flodim	879	941	279.222 ⁽³⁾
02/mar/20	Flodim	855	942	401.451 ⁽³⁾
03/set/20	Flodim	841	942	355.100 ⁽³⁾
03/abr/21	Flodim	868,1	956,5	277.165 ⁽³⁾
22/mar/22	Flodim (20AD)	740,5 ⁽¹⁾	917,24 ⁽²⁾	390.186 ⁽³⁾
21/ago/22	Flodim (20AD)	737,8 ⁽¹⁾	907,4 ⁽²⁾	381.941 ⁽³⁾
19/nov/22	Flodim (20AD)	736,9 ⁽¹⁾	902,1 ⁽²⁾	364.026 ⁽³⁾
27/jan/23	Flodim (20AD)	736,5 ⁽¹⁾	897,0 ⁽²⁾	362.891 ⁽³⁾
26/abr/23	Flodim (20AD)	734,2 ⁽¹⁾	888,5 ⁽²⁾	351.420 ⁽³⁾
20/jul/23	Flodim (20AD)	731,73 ⁽¹⁾	860,1 ⁽²⁾	346.635 ⁽³⁾
01/nov/23	Flodim (20AD)	728,10 ⁽¹⁾	847,44 ⁽²⁾	344.132 ⁽³⁾
20/jan/24	Flodim (20AD)	723,78 ⁽¹⁾	844,78 ⁽²⁾	340.297 ⁽³⁾

Profundidades em TVD


Nota ⁽¹⁾: As informações devem ser comparadas com ao topo da cavidade M#21D.

Nota ⁽²⁾: As informações devem ser comparadas com a base da cavidade M#20D.

Nota ⁽³⁾: O valor apresentado refere-se ao volume conjugado das cavidades M#20D e M#21D.

2.22 FRENTES DE LAVRA M#21D - ATUALIZADO

A frente de lavra M#21D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 47	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

M#21D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.149,30 mE e 8.933.460,24 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#21D foi construído em novembro de 1988 com 1.250m de profundidade e sua operação foi iniciada em agosto de 1989, sendo desativado em janeiro de 2008, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 19 anos de operação.


Durante o sonar de dezembro de 2021 foram identificadas zonas ocultas na cavidade. Para mitigar esse cenário, o poço auxiliar 20AD foi perfurado para permitir uma melhor visualização das cavidades de forma conjugada.

Os exames de sonar realizados em março e agosto e novembro de 2022, possibilitaram uma melhor visualização das cavidades conjugadas 20 e 21. Esses relatórios passaram a apresentar os volumes das cavidades 20 e 21 juntas, e por isso, é possível verificar o aumento de volume quando comparado com relatórios anteriores. No sonar realizado apenas no poço M#20D (abril/2021), o ponto mais alto observado estava em 868,1m de profundidade, porém por meio das aquisições de sonar realizadas no poço 21AD, o ponto mais alto das cavidades conjugadas estava em 764m. Sendo assim, o sonar realizado em abril/22 pelo novo poço auxiliar 20AD eliminou a situação de zona oculta identificada na cavidade M#21D, possibilitando a visualização da parte oculta que existia no topo da cavidade M#21D conjugada com a cavidade M#20D.

Entre 1989 e 2023 foram realizados dezessete exames de sonar (tabela 19). Durante o sonar realizado em 01 de novembro de 2023 por meio do poço 20AD, com versão final protocolada em 13/11/2023 (SEI nº 10138464), o topo da cavidade conjugada M#20D/21D foi encontrado à 728,10 m (TVD) de profundidade, revelando uma posição do teto da cavidade conjugada em 135,90 m (TVD) acima do topo da camada salina, que se encontra a 864m (TVD) de profundidade em referência ao poço original M#20D. Esta cavidade conjugada se encontra completamente fora da camada salina.

Mesmo com a realização de uma campanha de sonar recente na cavidade conjugada M#20/21, executado em 01/11/2023 por meio do poço 20AD, com versão final protocolada em 13/11/2023 (SEI nº 10138464), antes do colapso da cavidade M#18, avaliou-se a importância de repetir a campanha de sonar dessa cavidade conjugada visto à proximidade da cavidade M#18. Para tanto, foi realizado um Plano Executivo de exame de sonar na cavidade conjugada M#20/21 após ocorrência da cavidade M#18, compartilhado com essa Agência por meio do SEI (10845713).

Em 20/01/2024 foi realizada uma campanha de sonar na cavidade conjugada M#20/21. Conforme consta no relatório preliminar de campo (*field*) (SEI 11137840) bem como no relatório final do exame de sonar realizado (SEI 11332149), protocolados junto à ANM. Verificou-se que o poço de acesso à cavidade conjugada M#20/21 se encontra íntegro e que a geometria da cavidade conjugada

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 48	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

não apresenta alterações significativas, mantendo-se o comportamento dinâmico já observado nos sonares anteriores.

Um novo exame de sonar foi realizado em 30 de março de 2024 por meio do poço 20AD. Até a data de fechamento deste relatório as informações se encontravam em processamento e o relatório contendo os resultados serão protocolados assim que consolidados.

Tabela 19 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#21D (modificado SSO, 2019)


Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m3)
11/ago/03	Sonarwire	960,67	1.040	397.237 ⁽³⁾
25/ago/04	Sonarwire	949,67	1032,67	446.533 ⁽³⁾
11/out/05	Sonarwire	932,67	1.056	726.010 ⁽³⁾
28/jan/07	Sonarwire	917,67	1041,67	937.444 ⁽³⁾
03/nov/19	Flodim	825	939	190.851 ⁽³⁾
13/mar/20	Flodim	795	935	229.721 ⁽³⁾
08/set/20	Flodim	787,9	933,6	249.149 ⁽³⁾
07/mar/21	Flodim	766,5	929,9	239.209 ⁽³⁾
07/set/21	Flodim	768,30	929,6	251.106 ⁽³⁾
10/dez/21	Flodim	764,03	929,92	250.640 ⁽³⁾
22/mar/22	Flodim (20AD)	740,5 ⁽¹⁾	917,40 ⁽²⁾	390.186 ⁽³⁾
21/ago/22	Flodim (20AD)	737,8 ⁽¹⁾	907,40 ⁽²⁾	381.941 ⁽³⁾
19/nov/22	Flodim (20AD)	736,9 ⁽¹⁾	902,1 ⁽²⁾	364.026 ⁽³⁾
27/jan/23	Flodim (20AD)	736,5 ⁽¹⁾	897,0 ⁽²⁾	362.891 ⁽³⁾
26/abr/23	Flodim (20AD)	734,2 ⁽¹⁾	888,5 ⁽²⁾	351.420 ⁽³⁾
20/jul/23	Flodim (20AD)	731,73 ⁽¹⁾	860,1 ⁽²⁾	346.635 ⁽³⁾
01/nov/23	Flodim (20AD)	728,10 ⁽¹⁾	847,44 ⁽²⁾	344.132 ⁽³⁾
20/jan/24	Flodim (20AD)	723,78 ⁽¹⁾	844,78 ⁽²⁾	340.297 ⁽³⁾

Profundidades em TVD

Nota ⁽¹⁾: As informações devem ser comparadas com ao topo da cavidade M#21D.

Nota ⁽²⁾: As informações devem ser comparadas com a base da cavidade M#20D.

Nota ⁽³⁾: O valor apresentado refere-se ao volume conjugado das cavidades M#20D e M#21D.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 49	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

2.23 FRENTE DE LAVRA M#22

A frente de lavra M#22 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#22 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.340,14 mE e 8.933.433,64 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#22 foi construído em janeiro de 1989 com 1.180m de profundidade e sua operação foi iniciada em abril de 1990, sendo desativado em janeiro de 2003, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 13 anos de operação.

Entre 1990 e 2021 foram realizados oito exames de sonar (tabela 20) que revelaram uma cavidade compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na intervenção ocorrida no poço original, em 2019, não foi possível acessar a cavidade, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica na profundidade de 601m. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 106,5m, valor registrado em março de 2020.

Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em novembro de 2019. O resultado do sonar de 2019 relevou uma cavidade completamente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#23. Em dezembro de 2021, foi realizado um novo exame de sonar, cujo topo da cavidade encontra-se em 909,17m (TVD) de profundidade, cerca de 43,17m abaixo do topo da camada salina que está em 866m (TVD). Durante o sonar de dezembro de 2021 não foram identificadas zonas ocultas que demandem ações mitigadoras.

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2021, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade, cujo valor acumulado é de 5,03m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de intercalações de folhelhos contidos no teto da cavidade, induzido pelo processo de fluência do sal.

Os resultados dos sonares apresentados na tabela abaixo, a partir de 2019, representam as informações da cavidade 22 e, parcialmente da cavidade 23. Por isso, não é possível avaliar a variação de volume observada, haja vista que seria necessário analisar os volumes das cavidades de forma conjugada.

No dia 21.05.2020, conforme protocolo SEI nº 1347903, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

Tabela 20 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#22 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
06 mai 95	Sonarwire	1.064	1.113	83.758
21 jan 98	Sonarwire	1.052	1.109	144.221
30 ago 00	Sonarwire	947	1.095	206.181
22 mai 02	Sonarwire	940	1.094	251.125
23 ago 03	Sonarwire	935	1.078	212.399
29 nov 19	Flodim	914,2	1.029,4	174.556
26 mar 21	Flodim	911,5	999,6	181.607
02 dez 21	Flodim	909,17	1.016,54	186.418

Profundidade em TVD


2.24 FRENTE DE LAVRA M#23

A frente de lavra M#23 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#23 que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.384,15 mE e 8.933.345,24mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#23 foi construído em dezembro de 1988 com 1.167m de profundidade e sua operação foi iniciada em outubro de 1990, sendo desativado em agosto de 2002, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 12 anos de operação.

Entre 1990 e 2019 foram realizados quatro exames de sonar (tabela 21) que relevaram um processo de lavra ascendente e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na intervenção no poço original, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica na profundidade de 592m. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 3,2m, valor registrado em março de 2020. Durante o sonar realizado na cavidade em novembro de 2019, não foram identificadas zonas ocultas que demandassem a adoção de ações associadas.

Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em novembro de 2019. O resultado do sonar de 2019 relevou uma cavidade completamente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#22. O topo da cavidade encontra-se em 930m (TVD) de profundidade, cerca de 52m abaixo do topo da camada salina

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 51	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

que está em 878m (TVD). De acordo com a interpretação da SSO, o poço dessa frente de lavra está apto a ser tamponado.

No dia 22.04.2020, conforme protocolo SEI nº 1255759, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

Tabela 21 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#23 (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da Cavidade (m)	Profundidade da Cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
25/nov/95	Sonarwire	1.043	1.104	159.732
18/jan/98	Sonarwire	1.023	1.107	214.402
27/ago/00	Sonarwire	952	1.090	272.663
16/nov/19	Flodim	929,8	1.043,7	158.329,40

Profundidade em TVD

2.25 FRETE DE LAVRA M#24D


A frente de lavra M#24D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#24D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198491,76mE e 8.933.011,27 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#24D foi construído junho de 1998 com 1.122m de profundidade e sua operação foi iniciada em outubro de 1998, sendo desativado em junho de 2008, por meio do bloqueio de válvulas, após 10 anos de operação.

Na intervenção realizada no poço original, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade, pois constatou-se uma deformação no revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica na profundidade de 602m.

Em 2019 e 2020, devido à inacessibilidade do poço original, foram construídos dois poços auxiliares para realizar o exame de sonar, porém apenas na segunda perfuração foi possível obter imagens da cavidade.

O exame de sonar realizado em março de 2020 revelou uma cavidade extremamente pequena e fora da camada salina, cujo topo encontra-se em 839m (TVD) de profundidade, cerca de 67m acima do topo da camada salina que está em 906m (TVD). De acordo com a interpretação da SSO, a imagem desse sonar parece ser um poço alargado. Por outro lado, em outubro de 2020 houve uma tentativa de realizar o sonar, porém não foi possível capturar imagens da cavidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 52	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Diante desse cenário, houve um levantamento microgravimétrico no período entre 10 de agosto e 20 de setembro de 2020 com o objetivo de obter informações da cavidade. Os resultados do levantamento estimam que a cavidade está em 736m de profundidade, aproximadamente.

Em novembro de 2020, o estudo de VSP (Vertical Seismic Profile) foi realizado com a finalidade de obter um mapeamento da região, cujo relatório da interpretação está em fase final de elaboração.

Estudos complementares foram iniciados em outubro de 2022 por meio da técnica de tomografia sísmica com a finalidade de gerar uma seção vertical da cavidade, utilizando os poços TM-04 e TM-03. A primeira fase deste processo foi concluída em outubro de 2022 e a segunda fase está prevista para o 1º trimestre de 2023.

A tomografia estava pendente de conclusão, porém, com o término desta primeira fase, já foi possível concluir o cenário analisado, subsidiando o relatório consolidado da Brandt e a confirmação de autopreenchimento validada por intermédio da aquisição desta tomografia e de outros métodos, o que acarreta apenas em um cumprimento de cronograma para fechamento dos estudos adicionais.

Cumprir ressaltar que, em 09.01.2023 foi protocolizado junto esta Agência (SEI nº 6058252), os Estudos desenvolvidos pelas empresas Schlumberger e BRGM, relacionados à Vertical Seismic Profile (VSP) e Tomografia Sísmica realizados na cavidade da Frente de Lavra M#24, em suas versões originais, em inglês e respectivas traduções, tendo em vista a recente conclusão da aquisição dos dados para a identificação da cavidade relacionada a referida Frente de Lavra.


Oportuno lembrar que, para a referida Frente de Lavra foi apresentado pela Braskem em 13.10.2021 Relatório Técnico elaborado pela empresa BRANDT Meio Ambiente (SEI 3103727), no qual foi apresentado seu Plano de Fechamento, considerando a conclusão da condição de autopreenchimento desta cavidade, o qual foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

2.26 FRENTE DE LAVRA M#25D

A frente de lavra M#25D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#25D que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.399,99 mE e 8.933.137,82 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#25D foi construído em julho de 1998 com 1.180m de profundidade e sua operação foi iniciada em novembro de 1998, sendo desativado em janeiro de 2010, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 12 anos de operação.

O sonar realizado por meio do novo poço auxiliar 25BD, construído no mês de novembro de 2021, teve como objetivo de melhorar o ângulo de visão da cavidade. Historicamente, foi observada

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 53	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


uma redução do volume da cavidade nos sonares dos meses de março, junho e setembro de 2021, porém, essa redução ocorreu devido ao aumento de zonas ocultas. Dados do exame de sonar revelam um volume em torno de 190 mil m³, valor compatível com os sonares realizados em 2020. Portanto, o sonar 11 de setembro de 2021 demonstrou que a redução do volume da cavidade observada no primeiro semestre de 2021 era proveniente de zonas ocultas. Entretanto, durante a aquisição dos dados do sonar realizado em novembro de 2021, por meio do poço auxiliar 25BD, ainda foi identificada uma pequena zona oculta na base da cavidade que, no entanto, esta pode ser visualizada por meio do outro poço auxiliar 25AD. O relatório do sonar realizado no dia 21/02/2022 contém uma aquisição extra realizada pelo poço 25AD no dia 19/02/2022. Essa combinação ocorreu para melhor mapear a cavidade.

No dia 29 de abril de 2022, o sistema de monitoramento microssísmico registrou um evento de baixa magnitude na região da cavidade 25, com assinatura sísmica compatível com um deslocamento de rocha. A fim de verificar esta informação, foi realizado um exame de sonar para confirmar o evento e utilizar o dado dentro do processo de incrementos dos conhecimentos dos padrões microssísmicos, de forma a possibilitar maior assertividade na identificação de eventos semelhantes através deste método de monitoramento. Conforme resultado do sonar realizado em 06 de maio de 2022, foi observado o desprendimento de um bloco de aproximadamente 20m³ na região superior da cavidade, confirmando a informação de movimentação observada na rede microssísmica.

Entre 1998 e 2023 foram realizados vinte e cinco exames de sonar, conforme tabela 22. O exame de sonar realizado em 23 de maio de 2023, conforme já era de conhecimento, revelou uma cavidade totalmente fora da camada salina, cujo topo encontra-se em 552,2m (TVD) de profundidade, cerca de 346,8m acima do topo da camada salina que está em 899m (TVD).

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e janeiro de 2023, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de rochas pertencentes à Formação Poção, tal como ocorreu em abril de 2022. Entretanto, no exame de sonar realizado em maio de 2023, já é possível perceber uma redução de volume da cavidade, devido ao processo de enchimento.

No dia 22.06.2020, conforme protocolo SEI nº 1454073, foi apresentado um plano executivo relacionado a esta frente de lavra, o qual recomenda o tamponamento do poço original e a continuidade do monitoramento por meio de sonar no poço auxiliar, para avaliação futura sobre a necessidade de enchimento, ou não, da cavidade com material sólido. Porém, considerando a condição locacional e características específicas desta cavidade, o plano de fechamento dessa frente de lavra foi reavaliado e alterado para enchimento, método aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 54	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Em 23/02/2024 foi realizada uma campanha de sonar na cavidade M#25 por meio do poço 25BD. Conforme relatório final do exame de sonar (SEI 11853139, protocolado em 06/03/2024).


Tabela 22 – Quadro resumo dos sonares realizados da cavidade M#25 (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	Empresa	Topo da cavidade (m) TVD	Profundidade da base da cavidade (m) TVD	Volume da Caverna (m³)
19/ago/00	Sonarwire	930,57	1.049	72.614
20/mai/02	Sonarwire	927,57	1036,57	136.172
01/ago/03	Sonarwire	920,57	1.024	166.354
13/ago/04	Sonarwire	921,57	1019,57	241.414
07/out/05	Sonarwire	918,57	1.011	275.694
24/jan/07	Sonarwire	914,57	1002,57	329.663
abr 2009	Sonarwire	894,57	991	438.530
03/jun/10	Sonarwire	889,57	990,57	491.322
30/set/19	Flodim	577,8	662,5	180.774,80
14/mar/20	Flodim	577,7	658	169.876,90
12/mai/20	Flodim	578,4	660	176.526,11
06/set/20	Flodim	576,5	661	185.883,56
25/nov/20	Flodim	575,1	659,1	186.181,7
24/mar/21	Flodim	577,2	659,65	161.419
20/jun/21	Flodim	572,1	659,8	174.093
11/set/21	Flodim	571,29	653,92	81.422
29/nov/21	Flodim (25BD)	559,39	648,31	187.659
21/fev/22	Flodim (25AD e 25BD)	556,76	649,96	191.683
30/abr/22	Flodim (25BD)	553,99	637,51	182.815
06/mai/22	Flodim (25BD)	551,59	636,39	179.807
13/set/22	Flodim (25BD)	551,4	634,2	181.434
29/nov/22	Flodim (25CD)	552,9	636,3	176.980
19/jan/23	Flodim (25BD)	552,7	636,3	177.197
23/mai/23	Flodim (25CD)	552,2	632,7	168.691
10/out/23	Flodim (25BD)	544,8	617,6	150.118
23/fev/24	Flodim (25BD)	541,54	608,42	133.441

Profundidades em TVD

2.27 FRENTE DE LAVRA M#26D

A frente de lavra M#26D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 55	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

M#26D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198224,3 mE e 8.933.324,65 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#26D foi construído em novembro de 2002 com 1.208m de profundidade e sua operação foi iniciada em janeiro de 2003, sendo desativado em outubro de 2017, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 14 anos de operação.

Na intervenção que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade através do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 6,7m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar a partir dezembro de 2019.


O exame de sonar, realizado em dezembro de 2022 via poço auxiliar 26DD, conforme já era de conhecimento, revelou uma cavidade completamente dentro da camada salina, cujo topo estava abaixo do topo da camada de sal que está em 873m (TVD).

De acordo com a interpretação da SSO, o poço original M#26D e o poço auxiliar 26DD dessa frente de lavra estão aptos a serem tamponados, estando o poço original pendente de interceptação, a qual será realizada conforme cronograma apresentado. No exame sonar realizado em dezembro de 2022 não foram identificadas zonas ocultas que demandassem ações mitigadoras. Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2022, observa-se pequena migração da posição do teto, possivelmente fruto de um deslocamento de folhelho localizado no topo da cavidade.

Entre 2002 e 2023 foram realizados quatorze exames de sonar (tabela 23) que revelaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração até a suspensão de sua operação.

Tabela 23 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#26D (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	<i>Topo da cavidade (m TVD)</i>	<i>Profundidade da cavidade (m TVD)</i>	<i>Volume da cavidade (m³)</i>
08/ago/03	Sonarwire	1.126	1.150	17.891
17/ago/04	Sonarwire	1.094	1.143	57.343
09/out/05	Sonarwire	1.073	1.135	101.821
26/jan/07	Sonarwire	1.064	1.130	164.929
13/jun/08	Sonarwire	1.054	1.126	221.205
06/abr/09	Sonarwire	1.044	1.128	256.123
02/jun/10	Sonarwire	1.032	1.125	340.595
13/mai/12	Sonarwire	1.005	1.118	432.276

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 56	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

05/set/13	Flodim	998	1.117	450.633
16/out/14	Flodim	990	1.106	501.576
29/dez/19	Flodim	966	1075,5	399.878
13/abr/21	Flodim (26DD)	966,3	1067,3	388.516
21/dez/22	Flodim (26DD)	956,8	1050,8	379.898
08/set/23	Flodim (26DD)	957,48 ⁽¹⁾	1049,05 ⁽¹⁾	367.582

Nota ⁽¹⁾: As informações referentes ao topo e base da cavidade estão em referência a cabeça do poço M#26D cuja diferença de cota entre ele e o poço auxiliar 26DD é de 7,0 m.

No dia 19.04.2020, conforme protocolo SEI nº 1247648, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.


No dia 27 de março de 2021, por meio do poço auxiliar 26A, foi realizada uma intervenção no poço. Esta intervenção teve, inicialmente, o objetivo apenas de realização do exame de sonar, entretanto, ao acessar a cavidade foi observado que ela se encontrava pressurizada. Diante deste fato, optou-se por realizar a antecipação do procedimento de fechamento via instalação de piezômetro desta frente de lavra, cujo detalhamento encontra-se no Capítulo 5 deste relatório. Foi realizada entre os meses de novembro e dezembro de 2022 uma nova intervenção no poço auxiliar 26DD para substituição do piezômetro, cuja operação foi descrita no capítulo 5.

2.28 FRENTE DE LAVRA M#27D

A frente de lavra M#27D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#27D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 197.980,3 mE e 8.933.860,24mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#27D foi construído em dezembro de 2002 com 1.237m de profundidade e sua operação foi iniciada em setembro de 2003, sendo desativado em dezembro de 2017, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 14 anos de operação.

Entre 2003 e 2023 foram realizados nove exames de sonares (tabela 24) que revelaram uma cavidade dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na intervenção no poço original, que ocorreu em 2019, foi possível acessar a cavidade por meio do poço original, embora tenha-se constatado danos no revestimento de 9 5/8" por meio da perfilagem ótica. Diante desse cenário, o poço original foi completamente cimentado.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 57	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Entre fevereiro e março de 2021 foi construído o poço auxiliar M#27AD com o objetivo de iniciar o plano de fechamento da frente de lavra M#27D. Em 12 de setembro de 2022, foi realizado exame de sonar que indicou uma cavidade integralmente dentro da camada salina, porém despressurizada. O topo está localizado à 890,98m (TVD) de profundidade, cerca de 10,98m abaixo do topo da camada de sal que está em 880,0m (TVD).

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2023, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade de 10,2m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de intercalações de folhelhos contidos no teto da cavidade, induzido pelo processo de fluência do sal. A redução do volume identificada nos últimos sonares, conforme demonstrado na tabela 24, entre os sonares de 12 de setembro de 2022 e 15 de janeiro de 2023, pode ser justificada pela presença de zonas ocultas localizadas na base da cavidade, fruto da posição de entrada dos novos poços auxiliares 27BD e 27CD, o que impossibilitou o acesso completo da cavidade. Tendo em vista que o acompanhamento de sonar durante o processo de *backfilling II* ocorrerá via poço auxiliar 27AD, espera-se que esta limitação de visão da cavidade não gere impacto em sonares futuros, durante o processo de enchimento.


De acordo com a interpretação da SSO, o poço dessa frente de lavra estava apto a ser tamponado, conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020), o que foi autorizado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL. Porém, devido à cavidade ter sido encontrada despressurizada e, considerando a sua condição locacional e características específicas, o plano de fechamento dessa frente de lavra foi reavaliado e alterado para enchimento, método aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

Entre os meses de dezembro de 2022 e março de 2023 foram perfurados os novos poços auxiliares 27BD e 27CD que estão sendo utilizados no processo de enchimento da cavidade desta frente de lavra (*backfilling II*). O exame de sonar realizado em março/2023, por meio do novo poço auxiliar 27CD (SEI nº 6812152), conforme já era de conhecimento, revelou uma cavidade completamente dentro da camada salina.

Em 22/02/2024 foi realizada uma campanha de sonar na cavidade M#27 por meio do poço 27CD (SEI 11853140, protocolado em 06/03/2024).

A variação no volume relativa aos últimos sonares está relacionada as operações de enchimento da cavidade.

Tabela 24 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#27D (modificado SSO, 2019)

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 58	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

<i>Data</i>	Empresa	Topo da cavidade (m)	Profundidade da cavidade (m)	Volume da Cavidade (m³)
01/mar/19	Flodim	898	1.022,00	241.574
19/mar/21	Flodim (27AD)	880,7	1.024,8	343.404
31/out/21	Flodim (27AD)	890,07	1.021,67	337.268
02/dez/21	Flodim (27AD)	891,12	1.023,87	331.786
21/abr/22	Flodim (27AD)	891,14	1.024,17	329.713
12/set/22	Flodim (27AD)	890,98	1.020,72	326.763
15/jan/23	Flodim (27BD)	888,6	1.011,5	245.528
11/mar/23	Flodim (27CD)	887,8	1.017,6	305.514
18/nov/23	Flodim (27CD)	887,3	1.004,3	282.150
22/fev/24	Flodim (27CD)	887,1	1.006,24	292.170

Profundidades em TVD


2.29 FRETE DE LAVRA M#28D

A frente de lavra M#28D situa-se no bairro do Pinheiro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#28D, que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.484,3 mE e 8.934.087,24 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#28D foi construído em fevereiro de 2003 com 1.235m de profundidade e sua operação foi iniciada em junho de 2003, sendo desativado em outubro de 2017, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 14 anos de operação.

Entre 2003 e 2021 foram realizados oito exames de sonar (tabela 25) que revelaram uma cavidade dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na intervenção que ocorreu em 2019, não foi possível acessar a cavidade por meio do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 9 5/8". Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 138,5m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em julho de 2019.

Tabela 25 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#28D (modificado SSO, 2019)

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 59	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Data	Empresa	Topo da cavidade (m)		Profundidade da cavidade (m)		Volume da cavidade (m³)
		MD	TVD	MD	TVD	(m³)
07/fev/07	Sonarwire	1.087	1.065	1.180	1.158	67.128
21/jun/08	Sonarwire	1.084	1.062	1.175	1.153	119.832
05/abr/09	Sonarwire	1.080	1.058	1.172	1.150	159.725
04/jun/10	Sonarwire	1.073	1.051	1.169	1.147	214.189
13/jul/19	Flodim	~1.017	995	~1.100	1078	353.322
03/jul/20	Flodim	1009	987	1090	1068	391.777
13/set/21	Flodim	~1001	990,65	~1.072	1061,88	315.493
01/dez/21	Flodim	1001,43	991,03	1.073,21	1062,81	327.143

O exame de sonar realizado em dezembro de 2021, como já era de conhecimento, revelou uma cavidade completamente dentro da camada salina, cujo topo está localizado à 991,03m (TVD) de profundidade, cerca de 80,03m abaixo do topo da camada de sal que está em 911m (TVD). Durante o sonar de dezembro de 2021 não foram identificadas zonas ocultas.


Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2021, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade, cujo valor acumulado é de 3,97m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de intercalações de folhelhos contidos no teto da cavidade, induzido pelo processo de fluência do sal. A redução do volume identificada nos últimos sonares, conforme demonstrado na tabela 25, pode ser justificada pelo empolamento das camadas sobrejacentes.

No dia 19.04.2020, conforme protocolo SEI nº 1247648, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

2.30 FRETE DE LAVRA M#29D

A frente de lavra M#29D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#29D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 197.985,06 mE e 8.933.687,54 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#29D foi construído em novembro de 2006 com 1.250m de profundidade e sua operação foi iniciada em abril de 2009, sendo desativado em janeiro de 2018, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 9 anos de operação.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 60	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O exame de sonar, realizado em 2019, revelou uma cavidade com topo localizado à 855m (TVD) de profundidade, cerca de 9,558m acima do topo da camada de sal que está em 863m (TVD), conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020). Diante desse cenário, a SSO recomendou a realização de monitoramento regular da cavidade por meio de sonar, a fim de efetuar novas avaliações com a finalidade de definir a melhor alternativa para o fechamento, o que foi aprovado por meio do ofício 6808/2021. Devido à evolução das deformações no revestimento de 7", foi necessária uma intervenção no poço em agosto de 2020, utilizando ferramentas especiais, a fim de restabelecer o acesso à cavidade através do poço original. Diante do sucesso da intervenção, foi possível realizar o 5º e o 6º exame de sonar na frente de lavra.

Entre 2006 e 2023 foram realizados treze exames de sonar (tabela 26) que revelaram uma cavidade parcialmente fora da camada salina. O sonar realizado em 18 de maio de 2023 (SEI nº 7615115), como já era de conhecimento, revelou uma cavidade com topo localizado à 847,3m (TVD) de profundidade, cerca de 15,7m acima do topo da camada de sal que está em 863m (TVD). Neste referido exame de sonar, foram identificadas zonas ocultas no topo da cavidade.

Conforme já informado, a presença de zonas ocultas não é uma condição que requeira, necessariamente, a adoção de ações mitigadoras, haja vista que as demais informações da frente de lavra devem ser consideradas na avaliação deste cenário, tais como, pressurização, posição da cavidade em relação ao topo do sal, posição da zona oculta, dentre outras.

Desta forma, em atendimento ao Ofício 5129/2022 e, por se tratar de situação específica, a Braskem está construindo um novo poço auxiliar, com previsão para o segundo semestre de 2023, para melhor visualização desta região em que se identificou a existência de zonas ocultas.

Reforça-se também, que a medição das cavidades por meio de sonar, atualmente utilizada, é uma tecnologia de medição direta, e por isso, é considerada a mais adequada e a mais precisa, perante as demais tecnologias que são indiretas.

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2023, observa-se uma migração ascendente do teto da cavidade. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de rochas do Membro Tabuleiro dos Martins, haja vista que a cavidade está parcialmente dentro da camada salina.

Tabela 26 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#29D (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	Topo da cavidade (m TVD)	Profundidade da cavidade (m TVD)	Volume da Cavidade (m³)
26/mai/10	Sonarwire	994	1.024	7.099
28/mai/12	Sonarwire	971	985	23.901
20/out/14	Flodim	903	971	117.255
19/ago/19	Flodim	855	956	246.354
12/ago/20	Flodim ⁽¹⁾	855,46	944,99	233.831
04/fev/21	Flodim ⁽¹⁾	853,77	941,31	221.753
27/nov/21	Flodim ⁽¹⁾	852,34	940,64	202.346
31/mar/22	Flodim ⁽¹⁾	853,45	938,72	183.210
25/set/22	Flodim ⁽¹⁾	847,7	937,0	184.266
26/dez/22	Flodim ⁽¹⁾	848,03	936,29	184.409
27/mar/23	Flodim ⁽¹⁾	848,4	935,6	201.605
18/mai/23	Flodim ⁽¹⁾	847,3	934,0	185.369
19/nov/23	Flodim ⁽¹⁾	842,58	933,29	178.054

Nota ⁽¹⁾ :Valores com correção de inclinação

2.31 FRETE DE LAVRA M#30D

A frente de lavra M#30D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#30D, que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.576,69 mE e 8.933.668,43 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#30D foi construído em outubro de 2006 com 1.197m de profundidade e sua operação foi iniciada em dezembro de 2007, sendo desativado, em maio de 2018 por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 11 anos de operação.

Entre 2007 e 2023 foram realizados dez exames de sonar (tabela 27) que revelaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. Na intervenção que ocorreu em 2018, foi possível acessar a cavidade através do poço original, embora tenha-se constatado deformações no revestimento de 7" por meio do giroscópio. Por outro lado, na tentativa de execução do sonar realizada em 2019, já não foi possível acessar a cavidade devido à evolução das deformações no revestimento. Diante desse fato, um poço auxiliar foi construído em janeiro de 2020, de forma a permitir a realização do exame de sonar.


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 62	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


Tabela 27 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#30D (modificado SSO, 2019)

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	Topo da cavidade (m) TVD	Profundidade da cavidade (m) TVD	Volume da Cavidade (m³)
08/abr/09	Sonarwire	1.017	1.091	66.654
30/mai/10	Sonarwire	996	1.086	132.406
15/mai/12	Sonarwire	978	1.070	239.110
15/out/14	Flodim	961	1.055	362.158
02/set/15	Flodim	981	1.038	310.056
29/dez/18	Flodim	945	1.039	477.711
20/jan/20	Flodim (30AD)	947,2	1040,7	460.693
04/mar/20	Flodim (30AD)	947,5	1040	469.485
30/jan/22	Flodim (30BD)	944,36	1035,19	446.595
01/abr/23	Flodim (30BD)	945,2	1035,0	440.002

Os dados mais recentes do exame de sonar realizado em abril/2023, por meio do novo poço auxiliar 30BD (SEI nº 7297343), conforme já era de conhecimento, revelaram uma cavidade completamente dentro da camada salina, cujo topo está localizado à 940,7m (TVD) de profundidade, cerca de 71,7m abaixo do topo da camada de sal que está em 869m (TVD). Entre os sonares de 2018 até abril de 2023, os dados demonstram que houve uma mudança de aproximadamente 4m na posição do teto da cavidade, bem como uma redução de 7,89% do volume da cavidade, condições estas que podem estar associadas ao processo de fluência do sal. Durante o sonar de abril de 2023 não foram identificadas zonas ocultas.

Analisando os resultados dos sonares entre 2022 e 2023, observa-se uma pequena migração ascendente do teto da cavidade, cujo valor acumulado é de 4,3m. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento das intercalações dos folhelhos, induzidas pelo processo de fluência. A redução do volume identificada nos últimos sonares, conforme tabela 27, pode ser justificada pelo empolamento das camadas sobrejacentes.

O fechamento desta frente de lavra foi aprovado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL e realizado conforme relatório de execução do fechamento documento SEI nº 1303200, apresentado em 07.05.2020.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 63	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

2.32 FRETE DE LAVRA M#31D

A frente de lavra M#31D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#31D, que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.431,91mE e 8.933.816,22 mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.


O poço M#31D foi construído em julho de 2006 com 1.221m de profundidade e sua operação foi iniciada em fevereiro de 2007, sendo desativado em maio de 2018, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 11 anos de operação.

Entre 2007 e 2020 foram realizados oito exames de sonar (tabela 28) que relevaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração, até a suspensão de sua operação. O exame de sonar, realizado em 2018, revelou uma cavidade pressurizada e completamente dentro da camada salina, cujo topo estava localizado à 992m (TVD) de profundidade, cerca de 108m abaixo do topo da camada de sal que está em 884m (TVD) de profundidade, conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020). De acordo com a interpretação da SSO, o poço dessa frente de lavra está apto a ser tamponado, o que foi aprovado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL e realizado conforme relatório de execução do fechamento documento SEI nº 1303201, apresentado em 07.05.2020.

Analisando os resultados dos sonares entre 2018 e 2020, observa-se que a posição do teto da cavidade está praticamente inalterada. Conforme tabela 28, observa-se uma redução do volume identificado nos últimos sonares, que pode ser justificada pelo processo de fluência. Durante o sonar de janeiro de 2020 não foram identificadas zonas ocultas.

Tabela 28 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#31D (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da cavidade (m)		Profundidade da cavidade (m)		Volume da Cavidade (m³)
		MD	TVD	MD	TVD	
10/abr/09	Sonarwire	1.065	1.042	1.155	1.132	89.018
31/mai/10	Sonarwire	1.064	1.041	1.152	1.129	148.504
17/mai/12	Sonarwire	1.052	1.029	1.145	1.122	248.970
13/out/14	Flodim	1.036	1.013	1.137	1.114	348.323
09/set/15	Flodim	1.059	1.036	1.072	1.049	62.919
11/jun/17	Flodim	1.022	999	1.126	1.103	463.976
27/dez/18	Flodim	1.015	992	1.121	1.098	541.483
29/jan/20	Flodim	1014,7	991,6	1120	1.097	523.612

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 64	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

2.33 FRENTE DE LAVRA M#32

A frente de lavra M#32 situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Bebedouro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#32, que é do tipo vertical. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198040,11 mE e 8934249,75 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#32 foi construído em novembro de 2010 com 1.196,6m de profundidade e sua operação foi iniciada em dezembro de 2014, sendo desativado em maio de 2019, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 5 anos de operação.

O exame de sonar, realizado em 2018, revelou uma cavidade pressurizada e completamente dentro da camada salina, localizada à 1000m (TVD) de profundidade, cerca de 83m abaixo do topo da camada de sal (917m), conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020).


De acordo com a interpretação da SSO, o poço dessa frente de lavra está apto a ser tamponado, o que foi aprovado pela ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL e realizado conforme apresentado no relatório do andamento das atividades de fechamento da frente de lavra M#32, documento SEI nº 4993910 de 15.09.2022.

Conforme citado anteriormente, a frente de lavra operou por seis meses após o exame de sonar realizado em 2018. Sendo assim, em dezembro de 2019, foi realizado mais um exame de sonar que revelou modificações nas dimensões da cavidade compatíveis com o período de lavra. Contudo, devido à evolução das deformações observadas no revestimento de 7" em 2019, não foi possível efetuar a instalação dos piezômetros no poço original, conforme previsto no plano de fechamento. Por isso, foi necessário construir um poço auxiliar, também vertical, para permitir o fechamento de forma adequada. Sendo assim, um exame de sonar foi realizado em março de 2020, antes do fechamento da frente de lavra, por meio do poço auxiliar 32AD.

Após a perfuração do segundo poço auxiliar 32BD para instalação de um novo piezômetro, um exame de sonar foi realizado em 06 de junho 2022, a partir do qual não foram mais observadas zonas ocultas próximo à base da cavidade. Analisando os resultados dos sonares entre 2020 e 2022 não foi observada alteração na posição do teto da cavidade.

Entre 2014 e 2023 foram realizados sete exames de sonar (tabela 29) que revelaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração até a suspensão de sua operação.

Tabela 29 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#32 (modificado SSO, 2019)

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 65	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

<i>Data</i>	<i>Empresa</i>	Topo da cavidade (m) TVD	Profundidade da Cavidade (m) TVD	Volume da Cavidade (m³)
29/mar/16	Flodim	1.010	1.089	27.809
05/jun/17	Flodim	1.010	1.078	96.251
30/dez/18	Flodim	1.000	1.072	217.197
14/dez/19	Flodim	979	1.066	245.737
17/mar/20 (32AD)	Flodim	976	1.069	250.342
06/jun/22 (32BD)	Flodim	976,87	1.064,86	247.296
16/ago/23 (32BD)	Flodim	978,32	1.066,12	244.240

Profundidades em TVD

2.34 FRETE DE LAVRA M#33D

A frente de lavra M#33D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Bebedouro, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#33D, que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 197.912,82 mE e 8.934.164,71 mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#33D foi construído em novembro de 2010 com 1.216m de profundidade e sua operação foi iniciada em março de 2015, sendo desativado em maio de 2019, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 4 anos de operação.

Na intervenção, que ocorreu em 2019 para realização de sonar, não foi possível acessar a cavidade através do poço original, pois constatou-se um cisalhamento do revestimento de 7" por meio da perfilagem ótica. Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 7,8m, valor registrado em março de 2020. Diante desse cenário, um poço auxiliar foi construído com a finalidade de acessar à cavidade e efetuar o exame de sonar em setembro de 2019.

Entre 2015 e 2019 foi realizado um exame de sonar (tabela 30) que revelou uma cavidade completamente dentro da camada salina, cujo topo está localizado à 1044m (TVD) de profundidade, cerca de 120m abaixo do topo da camada de sal que está em 924m (TVD), conforme apresentado no Relatório Analítico dos Sonares (SEI nº 1579561 de 30.07.2020). De acordo com a interpretação da SSO, os poços (original e auxiliar) dessa frente de lavra estão aptos a serem tamponados. Durante o sonar de setembro de 2019 não foram identificadas zonas ocultas que demandem ações associadas.

No dia 21.05.2020, conforme protocolo SEI nº 1347903, foi apresentado plano de fechamento desta frente de lavra, o qual foi aprovado pela ANM em 12.02.2021 por meio do Ofício nº 3813/2021/GER-AL/ANM.

Tabela 30 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#33D (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da cavidade* (m)		Profundidade da Caverna* (m)		Volume da cavidade (m³)
		MD	TVD	MD	TVD	
27/set/19	Flodim	1063	1044	1099	1080	18.706,60

*Poço auxiliar

2.35 FRENTE DE LAVRA M#34D - ATUALIZADO

A frente de lavra M#34D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#34D que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 197.912,82 mE e 8.934.164,71mN (datum SIRGAS 2000) conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#34D foi construído em outubro de 2010 com 1.143,36m de profundidade e sua operação foi iniciada em setembro de 2011, sendo desativado em março de 2019, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 8 anos de operação. Diante desse cenário, a SSO recomendou a realização de monitoramento regular da cavidade por meio de sonar, a fim de efetuar novas avaliações com a finalidade de definir a melhor alternativa a ser adotada para o fechamento, o que foi aprovado por meio do ofício 6808/2021.

Analisando os resultados dos sonares entre 2019 e 2022, observa-se uma pequena migração ascendente do teto da cavidade. A migração ascendente observada, neste período, pode estar relacionada ao desprendimento de rochas do Membro Tabuleiro dos Martins, haja vista que a cavidade está parcialmente dentro da camada salina. A redução do volume identificada nos últimos sonares pode ser justificada pelo empolamento das camadas sobrejacentes.

Entre 2011 e 2023 foram realizados onze exames de sonar (tabela 31) que revelaram uma cavidade pressurizada, mas parcialmente fora da camada salina, como já identificado.

Um novo exame de sonar foi realizado em 31 de março de 2024 por meio do poço M#34D. Até a data de fechamento deste relatório as informações se encontravam em processamento e o relatório contendo os resultados serão protocolados assim que consolidados.


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 67	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Tabela 31 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#34D (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da cavidade (m)	Profundidade da cavidade	Volume da Caverna
		TVD	TVD	(m³)
03/set/13	Flodim	965,87	1.048	76.328
11/out/14	Flodim	952,87	1.049	149.571
10/set/15	Flodim	945,87	1.046	203.543
07/mar/19	Flodim	899,87	1.024	404.767
19/mai/20	Flodim	909,50	1.021	383.319
29/nov/20	Flodim	893,78	1.020,73	388.987
24/mai/21	Flodim	893,78	1.020,47	387.234
23/out/21	Flodim	892,99	1.021,22	394.129
20/set/22	Flodim	891,9	1.021,3	390.868
31/mar/23	Flodim	889,4	1020,5	385.877
31/ago/23	Flodim	889,2	1020,4	383.673

2.36 FRETE DE LAVRA M#35D

A frente de lavra M#35D situa-se na avenida Major de Góes Monteiro no bairro do Mutange, área urbana da cidade de Maceió. O acesso à referida frente de lavra ocorre através do poço de sal M#35D, que é do tipo direcional. A cavidade está localizada nas coordenadas 25L UTM 198.032,6mE e 8.933.313,65mN (datum SIRGAS 2000), conforme documento SEI nº 1579574, de 30.07.2020.

O poço M#35D foi construído em dezembro de 2010 com 1.263m de profundidade e sua operação foi iniciada em março de 2012, sendo desativado em maio de 2019, por meio do bloqueio de válvulas na cabeça do poço, após 5 anos de operação.

Entre 2012 e 2023 foram realizados seis exames de sonar conforme tabela 32. Os sonares relevaram um processo de lavra ascendente dentro da camada salina e compatível com a atividade de mineração até a suspensão de sua operação. Durante o sonar de novembro de 2022, realizado pelo poço 35AD não foram identificadas zonas ocultas que demandassem ações associadas.

De acordo com o sonar realizado em novembro de 2022, através poço auxiliar 35AD, identificou-se que o poço original M#35D dessa frente de lavra estava apto a ser tamponado, o qual já foi realizado, conforme aprovação da ANM por meio do Ofício 09/2019/GER-AL.

Tabela 32 – Quadro resumo dos sonares realizados na cavidade M#35D (modificado SSO, 2019)

Data	Empresa	Topo da cavidade (m TVD)	Profundidade da cavidade (m TVD)	Volume da Cavidade
04/set/13	Flodim	1014,25	1070,25	28.389
18/out/14	Flodim	1008,25	1078,35	78.153
24/mar/19	Flodim	955,25	1049,25	265.359
06/jun/20	Flodim	942,25	1046,25	261.927
11/nov/22	Flodim	946,1 ⁽¹⁾	1046,8 ⁽¹⁾	274.910
27/ago/23	Flodim	945,1 ⁽¹⁾	1045,2 ⁽¹⁾	273.518

Nota ⁽¹⁾: As informações referentes ao topo e base da cavidade estão em referência a cabeça do poço M#35D cuja diferença de cota entre ele e o poço auxiliar 35AD é de 1,7m.

3. JUSTIFICATIVA TÉCNICA PARA ESCOLHA DO FECHAMENTO DE CADA CAVIDADE - ATUALIZADO

3.1 FRENTE DE LAVRA M#01

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e giroscópio também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento cimentado de 8 5/8" apresenta uma deformação em 370m de profundidade (figura 2), situação que pode evoluir rapidamente para o cisalhamento total do poço. É importante ressaltar que o cisalhamento da tubulação de um poço é uma condição indesejada, haja vista que torna a cavidade salina inacessível pela tubulação previamente existente, além de promover a despressurização imediata da mesma.

Figura 2 – Perfil de inclinação do poço M#01



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 69	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#01 encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda estava está acessível através do poço original. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina caso ocorra cisalhamento das tubulações.

Entretanto, a ANM exigiu a realização do monitoramento da pressão e temperatura da cavidade, mesmo após o seu fechamento. Todavia, essa exigência associada ao tamponamento do poço era uma solução ainda não desenvolvida no mercado em agosto de 2019. Por isso, diante do risco de cisalhamento, a Braskem decidiu, realizando as necessárias comunicações a ANM, proceder com um tamponamento do poço até que uma solução técnica adequada estivesse apta para execução. Sendo assim, o tamponamento provisório foi realizado em agosto de 2019, cujo topo do cimento foi posicionado em 840m de profundidade.


Conforme relatório de andamento das atividades de fechamento apresentado a esta Agência no dia 16/11/2021 por meio do SEI nº 3238832, a primeira etapa do fechamento desta frente de lavra foi executada com o tamponamento do poço original, permanecendo o monitoramento da frente de lavra por meio de piezômetro, instalado no poço auxiliar.

3.2 FRENTE DE LAVRA M#02

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 8 5/8" apresenta um dano em 251m de profundidade, conforme figura 3. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera a fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir o fechamento.

Figura 3 – Dano observado no poço original M#02 – vista de topo



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 70	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#02 encontra-se totalmente dentro da camada salina, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento de ambos os poços (original e auxiliar) com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina. No entanto, a instalação dos piezômetros seria realizada apenas no poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em setembro de 2019.

Conforme informações apresentadas por meio do SEI nº 3481279, tendo em vista a condição identificada de despressurização da cavidade, e considerando a sua condição locacional e características específicas, a frente de lavra M#02 deixou de fazer parte do grupo de fechamento com piezômetro (Grupo 1) e passou a integrar o grupo de enchimento (Grupo 3), o que foi aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

3.3 FRETE DE LAVRA M#03 - ATUALIZADO


Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#03 encontra-se totalmente fora da camada salina e acessível apenas através do poço auxiliar.

Conforme protocolo SEI 11982856 foi solicitada a reclassificação desta cavidade para o grupo de preenchimento com material sólido, como areia, como sendo a metodologia adequada para o seu fechamento seguro. Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

3.4 FRETE DE LAVRA M#04

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, ótico e giroscópio foram executados no poço, onde revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta deformações em, pelo menos, duas regiões: 274m e 383m de profundidade, que podem evoluir para cisalhamento total ao longo do tempo.

Conforme já citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#04 encontra-se parcialmente fora da camada salina e acessível através do poço original. Segundo a SSO, essa cavidade ainda pode migrar ascendentemente de forma moderada, e por isso, recomenda o monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter novas informações para subsidiar o plano de fechamento. No entanto,

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 71	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

em função da proximidade da cavidade M#07, que está fora da camada salina, a IFG, instituto alemão especializado em geomecânica, recomendou de forma preventiva, o enchimento dessa cavidade com material sólido, que está sendo realizado por meio de dois poços auxiliares.

3.5 FRETE DE LAVRA M#05

Por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

3.6 FRETE DE LAVRA M#06

Por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.


3.7 FRETE DE LAVRA M#07

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, ótico e giroscópio foram executados no poço, onde revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta danos e deformações em diversas profundidades (220m, 240m, 370m, 400m, 440m e 640m). Essa condição deixou a cavidade despressurizada e com nível estático igual a 31m, valor registrado em março de 2020.

Conforme já citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#07 encontra-se totalmente fora da camada salina e conjugada com a cavidade M#19D. Essa condição, associada à proximidade da cavidade M#04, que está parcialmente fora da camada salina, criou um estado de estresse nos pilares dessa região que se reflete em valores importantes de subsidência. Diante desse cenário, o IFG e a SSO recomendaram o enchimento dessa cavidade com material sólido, o que realizado por meio de um poço auxiliar.

3.8 FRETE DE LAVRA M#08

Por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 12262/2022.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 72	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

3.9 FRETE DE LAVRA M#09

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um dano em 393m de profundidade, conforme figura 4. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir o fechamento.

Figura 4 – Dano observado no poço original M#09 – vista de topo



Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#09 encontra-se totalmente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#12, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento dos poços (original e auxiliar) das cavidades M#09 e M#12 com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina.

3.10 FRETE DE LAVRA M#10

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e ótico também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta uma deformação em 390m de profundidade, situação que pode evoluir rapidamente para o cisalhamento total do poço.

Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#10 encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda está acessível através do poço original. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 73	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina caso ocorra cisalhamento das tubulações.

Entretanto, a ANM exigiu a realização do monitoramento da pressão e temperatura da cavidade, mesmo após o seu fechamento. Todavia, essa exigência associada ao tamponamento do poço era uma solução ainda não desenvolvida no mercado em agosto de 2019. Por isso, diante do risco de cisalhamento, a Braskem decidiu realizar um tamponamento provisório do poço até que uma solução técnica adequada estivesse disponível para execução. Atualmente, os sensores de temperatura e pressão estão instalados no poço auxiliar 10AD que foi construído especificamente para este fim.


3.11 FRETE DE LAVRA M#11

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#11 encontra-se totalmente fora da camada salina e acessível apenas através do poço auxiliar. Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico também foram executados no poço original. Esse último revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um cisalhamento em 354m de profundidade (figura 5). Devido aos danos observados, um reparo do poço seguido de tamponamento deverá ser realizado, a fim de evitar uma conexão hidráulica entre o poço original e a cavidade.

Figura 5 – Dano observado no poço original M#11 – vista de topo



De acordo com a interpretação da SSO, essa cavidade ainda pode migrar ascendentemente de forma moderada e, por isso, recomendou-se o monitoramento regular por meio de sonar, a fim de avaliar a necessidade de enchimento ou não da cavidade com material sólido. De forma a permitir a

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 74	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

realização do sonar regularmente, foi instalado um revestimento de 7" no novo acesso, cuja sapata foi posicionada na profundidade de 797m.

Conforme informações apresentadas por meio do SEI nº 3481279, considerando a sua condição locacional e características específicas, a frente de lavra M#11 deixou de fazer parte do grupo de monitoramento (grupo 01) e passou a integrar o grupo de enchimento (grupo 03), o que foi aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

3.12 FRETE DE LAVRA M#12

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um dano em 390m de profundidade. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir seu tamponamento.

Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#12 encontra-se totalmente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#09, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento dos poços (original e auxiliar) das cavidades M#12 e M#09 com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina.

3.13 FRETE DE LAVRA M#13

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e giroscópio também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta deformações em diversas profundidades (230m, 400m e 505m), situação que pode evoluir rapidamente para o cisalhamento total do poço.

Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#13 encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda está acessível através do poço original. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina caso ocorra cisalhamento das tubulações.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 75	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Entretanto, a ANM exigiu a realização do monitoramento da pressão e temperatura da cavidade, mesmo após o seu fechamento. Todavia, essa exigência associada ao tamponamento do poço era uma solução ainda não desenvolvida no mercado em agosto de 2019. Por isso, diante do risco de cisalhamento, a Braskem decidiu realizar um tamponamento provisório do poço até que uma solução técnica adequada estivesse disponível para execução. Sendo assim, o tamponamento provisório foi realizado em outubro de 2019, cujo topo do cimento está situado em 724m.

Diante desse fato, um novo poço auxiliar 13BD foi construído para a instalação do piezômetro. Conforme Relatório do Andamento das Atividades de Fechamento da Frente de Lavra M#13, apresentado a esta Agência no dia 16/11/2021 por meio do SEI nº 3238835.

3.14 FRETE DE LAVRA M#14

Por meio do SEI nº 3103729 protocolado junto a esta Agência no dia 13/10/2021, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

3.15 FRETE DE LAVRA M#15 - ATUALIZADO

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#15 encontra-se parcialmente fora da camada salina e provavelmente conectada com a cavidade M#14. Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico também foram executados no poço original. Esse último revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um cisalhamento em 350m de profundidade (figura 6). Devido aos danos observados, um reparo do poço seguido de tamponamento foi realizado, a fim de evitar uma conexão hidráulica entre o poço original e a cavidade.

Figura 6 – Dano observado no poço original M#15 – vista de topo



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 76	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Conforme protocolo SEI 11982856 foi solicitada a reclassificação desta cavidade para o grupo de preenchimento com material sólido, como areia, como sendo a metodologia adequada para o seu fechamento seguro. Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.


3.16 FRENTE DE LAVRA M#16

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta danos e deformações em, pelo menos, duas posições: 254m e 534m de profundidade, conforme figura 7. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir o tamponamento.

Figura 7 – Dano observado no poço original M#16 – vista de topo



Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#16 encontra-se totalmente dentro da camada salina, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento de ambos os poços (original e auxiliar) com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina. No entanto, a instalação dos piezômetros será realizada no poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em abril de 2020.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 77	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

3.17 FRETE DE LAVRA M#17

Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#17 encontra-se totalmente fora da camada salina e acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, e associada aos valores importantes de subsidência e sua localização, o IFG e a SSO recomendaram o enchimento dessa cavidade com material sólido o que foi realizado por meio de um poço auxiliar construído, além do monitoramento por sonar realizado até o início das atividades de enchimento.


3.18 FRETE DE LAVRA M#18D

As informações de sonar e análises iniciais realizadas pelas consultorias em 2019 consideravam a frente de lavra M#18D totalmente dentro da camada salina e despressurizada, em época que a cavidade estava acessível por meio do poço original. Na época a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina para evitar que um eventual cisalhamento do revestimento do poço despressurize a cavidade.

Em 13/02/2019, por meio do Ofício 05/2019, a ANM solicitou a realização do monitoramento da pressão e temperatura das cavidades, mesmo após fechamento. Todavia, essa solicitação associada ao tamponamento do poço era uma solução técnica ainda não desenvolvida no mercado em agosto de 2019.

Assim, a Braskem decidiu realizar um tamponamento provisório do poço original até que uma solução técnica estivesse disponível. Sendo assim, o tamponamento provisório foi realizado em agosto de 2019 na profundidade de 906m.

Embora já tivesse sido desenvolvida a solução técnica para monitoramento da pressão e temperatura da cavidade, antes da remoção do tampão provisório de cimento em junho de 2021 foi realizado um teste de pressurização do revestimento de 9 5/8", em que não foi identificada perda de fluido na execução do teste. Porém, após o corte do tampão de cimento foi identificado que a cavidade não estava pressurizando. Logo, considerando que a cavidade se manteve despressurizada, bem como considerando a sua condição locacional e características específicas, o plano de fechamento dessa frente de lavra, apresentado em abril de 2020, foi reavaliado para enchimento pelas consultorias em janeiro de 2022, o que foi proposto e aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 78	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

3.19 FRETE DE LAVRA M#19D

Conforme já citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#19D encontra-se totalmente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#07, que está fora da camada de sal. Essa condição, associada à proximidade da cavidade M#04, que está parcialmente fora da camada salina, criou um estado de estresse nos pilares dessa região que se reflete em valores importantes de subsidência. Diante desse cenário, o IFG e a SSO recomendaram o enchimento dessa cavidade com material sólido o que foi realizado por meio de um poço auxiliar construído.

3.20 FRETE DE LAVRA M#20D - ATUALIZADO

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#20D encontra-se parcialmente fora da camada salina e conjugada com a cavidade M#21D. Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio, e ótico também foram executados no poço original. Esse último revelou que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta deformações em diversas profundidades (295m, 391m e 780m).

Conforme protocolo SEI 11982856 foi solicitada a reclassificação desta cavidade para o grupo de preenchimento com material sólido, como areia, como sendo a metodologia adequada para o seu fechamento seguro. Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

3.21 FRETE DE LAVRA M#21D - ATUALIZADO

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#21D encontra-se parcialmente fora da camada salina e conjugada com a cavidade M#20D. Os resultados dos últimos dois sonares mostram que ainda existe uma migração ascendente da cavidade, condição que requer um monitoramento regular por meio do sonar, a fim de avaliar sua evolução, o que vem sendo realizado.

Conforme protocolo SEI 11982856 foi solicitada a reclassificação desta cavidade para o grupo de preenchimento com material sólido, como areia, como sendo a metodologia adequada para o seu fechamento seguro. Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano

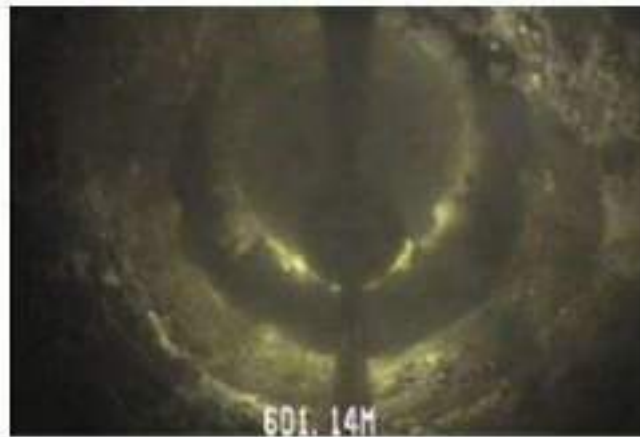
RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 79	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

3.22 FRENTE DE LAVRA M#22

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original, revelando que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um dano em 601m de profundidade, conforme figura 8. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir seu tamponamento.

Figura 8 – Dano observado no poço M#22 – vista de topo



Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#22 encontra-se totalmente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#23, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento dos poços (original e auxiliar) das cavidades M#22 e M#23 com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina. Entretanto, a instalação dos piezômetros será realizada via poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em maio de 2020.

3.23 FRENTE DE LAVRA M#23

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original, revelando que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um dano em 592m de profundidade, conforme figura 9. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada,

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 80	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir seu tamponamento.


Figura 9 – Dano observado no poço M#23 – vista de topo



Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#23 encontra-se totalmente dentro da camada salina e conjugada com a cavidade M#22, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento dos poços (original e auxiliar) das cavidades M#23 e M#22 com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a depressurização da cavidade salina. Entretanto, a instalação dos piezômetros será realizada apenas no poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em abril de 2020.

3.24 FRENTE DE LAVRA M#24D

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#24 é extremamente pequena e encontra-se fora da camada salina. Segundo a SSO, a imagem desse sonar parece ser um poço alargado e, por isso, recomendou entrar novamente no poço auxiliar 24CD para verificar a possibilidade de realizar um novo levantamento por sonar (cobrindo um intervalo de profundidade maior do que a posição estacionária do sonar nº 6). Se isso não for possível, a SSO recomendou reparar o poço 24D para que os procedimentos de tamponamento adequados sejam executados abaixo da obstrução no revestimento de 9-5/8”.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 81	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Por meio do SEI nº 3103729, protocolado junto à esta Agência no dia 13/10/2021, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

3.25 FRENTE DE LAVRA M#25D

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#25D encontra-se totalmente fora da camada salina e acessível apenas através do poço auxiliar. Segundo a SSO, essa cavidade ainda pode migrar ascendentemente, e por isso, recomenda o monitoramento regular por meio de sonar, a fim de efetuar novas avaliações que possibilitem definir a melhor alternativa para o fechamento. Quanto ao poço original que está inacessível, foi definido realizar uma intervenção para permitir o tamponamento. Conforme informações apresentadas por meio do SEI nº 3481279, considerando a sua condição locacional e características específicas, a frente de lavra M#25 deixou de fazer parte do grupo de monitoramento (grupo 04) e passou a integrar o grupo de enchimento (grupo 03), o que foi aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

3.26 FRENTE DE LAVRA M#26D

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura e inclinação foram executadas no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um cisalhamento do revestimento em 350m de profundidade. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir o tamponamento.

Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#26D encontra-se totalmente dentro da camada salina, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento de ambos os poços (original e auxiliar) com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina. No entanto, a instalação dos piezômetros será realizada apenas no poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em abril de 2020.



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 82	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.

3.27 FRENTE DE LAVRA M#27D


Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta danos e deformações em, pelo menos, duas posições: 220m e 387m de profundidade, conforme 10. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal.

Figura 10 – Dano observado no poço original M#27D



Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#27D encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda está acessível através do poço original. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento total da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina.

Entretanto, a ANM exigiu a realização do monitoramento da pressão e temperatura da cavidade, mesmo após o seu fechamento. Todavia, essa exigência associada ao tamponamento do poço era uma solução ainda não desenvolvida no mercado em agosto de 2019. Por isso, diante do risco de cisalhamento total do poço, a Braskem decidiu realizar um tamponamento provisório no poço original e construiu um novo poço auxiliar 27AD. Entretanto, a cavidade foi encontrada despressurizada durante a perfuração do poço 27AD, condição que, associada a fatores locais e características da cavidade, requereu uma reavaliação do plano de fechamento para enchimento, o que foi aprovado pela Gerência Regional por meio do Ofício ANM 7369/2022.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 83	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

3.28 FRENTE DE LAVRA M#28D

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 9 5/8" apresenta um cisalhamento do revestimento em 695m de profundidade. Nesse cenário, não é possível manter a cavidade pressurizada, condição que acelera o processo de fluência no sal. Diante disso, foi definido realizar uma intervenção no poço original para permitir o tamponamento.

Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#28D encontra-se totalmente dentro da camada salina, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento de ambos os poços (original e auxiliar) com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina. No entanto, a instalação dos piezômetros será realizada apenas no poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em abril de 2020.

3.29 FRENTE DE LAVRA M#29D - ATUALIZADO

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#29D encontra-se parcialmente fora da camada salina.

Conforme protocolo SEI 11982856 foi solicitada a reclassificação desta cavidade para o grupo de preenchimento com material sólido, como areia, como sendo a metodologia adequada para o seu fechamento seguro. Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

3.30 FRENTE DE LAVRA M#30D

Em 2019, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação, giroscópio e ótico foram executados no poço original e revelaram que o revestimento cimentado de 7" apresenta deformações em 677m, de profundidade (figura 11), situação que pode evoluir rapidamente para o cisalhamento total do poço.

Figura 11 – Deformação observada no poço original M#30D – vista de topo

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 84	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt



Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#30D encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda estava acessível através do poço original em setembro de 2019, data da elaboração do plano de fechamento. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento total da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço original com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina.

Conforme Relatório do Andamento das Atividades de Fechamento da Frente de Lavra M#30D, apresentado em 15.08.2022 por meio do SEI nº 4750795, o andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra está em execução.

3.31 FRENTE DE LAVRA M#31D

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e giroscópio também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento de 7" apresenta deformações em, pelo menos, duas posições: 580m e 740m de profundidade, situação que pode evoluir rapidamente para o cisalhamento total do poço.

Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#31D encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda está acessível através do poço original. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina caso ocorra cisalhamento das tubulações.

Entretanto, a ANM exigiu a realização do monitoramento da pressão e temperatura da cavidade, mesmo após o seu fechamento. Todavia, essa exigência associada ao tamponamento do poço era uma solução ainda não desenvolvida no mercado em 2019. Por isso, diante do risco de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 85	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

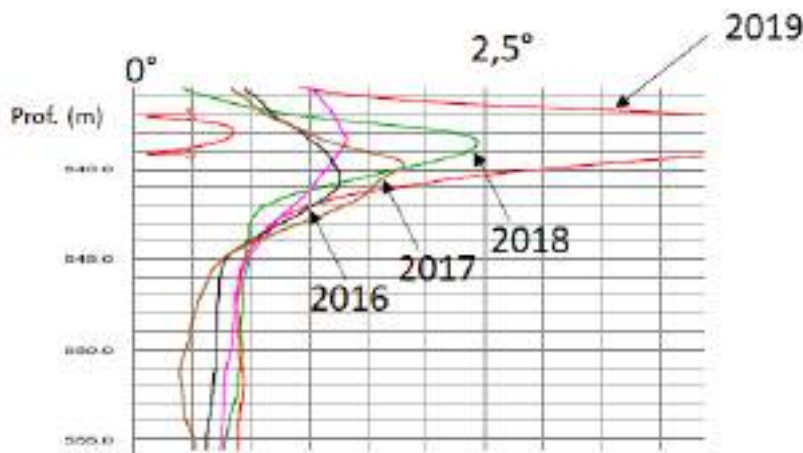
cisalhamento, a Braskem decidiu realizar um tamponamento provisório do poço até que uma solução técnica adequada estivesse disponível para execução. Sendo assim, o tamponamento provisório foi realizado em junho de 2019.

O fechamento definitivo dessa frente de lavra foi realizado conforme relatório de fechamento definitivo apresentado em 07.05.2020 por meio do SEI nº 1303201.

3.32 FRENTE DE LAVRA M#32

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, ótico, giroscópio e inclinação também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento de 7" apresentou deformações em, pelo menos, duas posições: 376m e 540m de profundidade (figura 12), situação que vem evoluindo rapidamente para o cisalhamento total do poço.

Figura 12 – Perfil de inclinação ao longo dos anos do poço original M#32



Como foi mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#32 encontra-se totalmente dentro da camada salina e ainda estava acessível através do poço original em setembro de 2019, data da elaboração do plano de fechamento. Diante desse fato, e associado ao risco de cisalhamento da tubulação, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a depressurização da cavidade salina caso ocorra cisalhamento das tubulações.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 86	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

3.33 FRETE DE LAVRA M#33

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, giroscópio, inclinação e ótico também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento de 7" apresentou um dano severo em 377m de profundidade (figura 13).

Figura 13 – Dano observado no poço M#33D – vista das paredes do poço




Conforme foi citado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#33D encontra-se totalmente dentro da camada salina, porém acessível apenas através do poço auxiliar. Nessa condição, a consultoria recomendou o tamponamento de ambos os poços (original e auxiliar) com o objetivo de criar uma barreira física entre os poços e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina. No entanto, a instalação dos piezômetros será realizada apenas no poço auxiliar, conforme plano de fechamento apresentado em maio de 2020.

3.34 FRETE DE LAVRA M#34D - ATUALIZADO

Conforme mencionado no capítulo 2, a cavidade da frente de lavra M#34D encontra-se parcialmente fora da camada salina.

Conforme protocolo SEI 11982856 foi solicitada a reclassificação desta cavidade para o grupo de preenchimento com material sólido, como areia, como sendo a metodologia adequada para o seu fechamento seguro. Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 87	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

3.35 FRETE DE LAVRA M#35D

Em 2019, além do exame de sonar, os perfis de gama-ray, temperatura, inclinação e giroscópio também foram executados no poço. Esse último revelou que o revestimento de 7" apresenta deformações em, pelo menos, quatro posições: 280m, 410m, 700m e 815m de profundidade, situação que pode evoluir rapidamente para o cisalhamento total do poço.

Diante do risco de cisalhamento da tubulação, associado à condição da cavidade que se encontra totalmente confinada dentro da camada salina, a consultoria recomendou o tamponamento do poço com o objetivo de criar uma barreira física entre o poço e o topo da cavidade salina, a fim de eliminar a conexão hidráulica entre eles, impedindo assim, a despressurização da cavidade salina caso ocorra cisalhamento das tubulações.

O fechamento dessa frente de lavra foi realizado, conforme relatório de andamento das atividades de fechamento apresentado em 30.08.2020 (documento SEI 1677826).

4. EVENTUAIS ALTERAÇÕES DOS PLANOS DE FECHAMENTO EM ANÁLISE E/OU JÁ APROVADOS - ATUALIZADO


4.1 FRETE DE LAVRA M#01

De acordo com o plano de fechamento apresentado em setembro de 2019, a tubulação de 2 7/8" que irá proteger os cabos do piezômetro deveria ser instalada em 930m de profundidade, entretanto, em função do tamanho das seções das tubulações, a sapata da coluna de 2 7/8" foi instalada em 933,3m.

A posição do piezômetro também foi modificada de 932m (plano de fechamento) para 943m, em função do reposicionamento da sapata de 2 7/8".

O fechamento desta frente de lavra estava previsto para ser finalizado em 22/05/2020. Ocorre que, em decorrência de fatores intervenientes durante a execução das atividades, houve alteração no que diz respeito à data prevista para o fechamento que necessitou ser revista, conforme capítulo 8 deste relatório.

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram realizadas entre os dias 1 de junho e 21 de julho de 2020. No entanto, durante o processo de desmobilização da sonda ocorreu a ruptura dos cabos dos piezômetros dentro do poço, condição que impede a medição da pressão e temperatura dentro da cavidade. Esse evento passou por processo de investigação e, diante desse cenário, será necessário a construção de um poço auxiliar para a instalação de novos piezômetros.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 88	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

As principais mudanças que serão implementadas em relação ao projeto de fechamento, protocolado em setembro de 2019, estão listadas abaixo:


- Construção de um poço auxiliar;
- Realização de um novo sonar antes da instalação dos piezômetros, a fim de verificar a manutenção das dimensões da cavidade;
- Injeção de diesel para atuar como blanket no poço, a fim de criar uma barreira física no teto da cavidade, evitando assim, uma possível dissolução residual do sal no topo;
- Instalação dos piezômetros acoplados externamente à coluna de 2 7/8", a fim de torná-los removíveis e protegidos contra movimentos horizontais. Esta modificação é uma das recomendações da investigação realizada pela empresa Schlumberger. Em função da condição de mobilidade do equipamento nessa nova configuração, apenas um piezômetro foi instalado;
- Reposicionamento da sapata da coluna de 2 7/8" de 930m (projeto) para 933m;
- Reposicionamento dos piezômetros de 932m (projeto) para 943m, em função da padronização da distância de 10m entre a sapata da coluna e os piezômetros;
- Em função dos eventos de falha verificados no sistema de medição de pressão e temperatura, a cimentação definitiva do poço será realizada, no mínimo, após 1 ano de operação do piezômetro, a fim de permitir sua remoção em caso de falha do equipamento.

No dia 28 de fevereiro de 2021 foi iniciado o processo de intervenção para instalação de equipamento de piezômetro através do poço auxiliar M#01A, conforme modificações detalhadas acima. A operação foi concluída com êxito no dia 19 de março de 2021.

4.2 FRENTE DE LAVRA M#02

As atividades de reabertura do poço, realizadas em setembro de 2020, no qual utilizou ferramentas especiais na tentativa de reparo não apresentaram sucesso, e por isso, foi iniciado o processo de interceptação do poço numa profundidade abaixo do cisalhamento. No dia 15 de janeiro de 2021, o poço de interceptação foi concluído com sucesso na profundidade 845m e no dia 2 de fevereiro de 2021 foi concluído o tamponamento do poço M#02 original (etapa inicial do fechamento).

No mês de junho de 2021, testes de pressurização foram realizados nessa cavidade, cujos resultados não indicaram elevação de pressão. Diante desse fato, a nova condição da cavidade foi reavaliada conforme fluxo definido no documento denominado fluxograma de fechamento das frentes

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 89	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de lavra apresentado (SEI nº 2990681), no trecho correspondente ao passo 5 apresentado no referido documento.

Considerando que para esta cavidade estava prevista a instalação de piezômetro e não tendo sido observada a elevação de pressão nos testes realizados, a SSO avaliou em setembro de 2021 as especificidades envolvendo esta frente de lavra, de acordo com a condição verificada, e concluiu que essa cavidade deveria ser monitorada por sonar de forma recorrente, e que o processo de instalação do piezômetro deve ser descontinuado.

Desse modo, conforme informações apresentadas por meio do protocolo realizado em 27.09.2021 (SEI 3033103) e, de acordo com as conclusões e recomendações apresentadas pela consultoria especializada SSO no relatório analítico protocolado, tendo em vista a condição de despressurização da cavidade identificada na ocasião da execução do fechamento com piezômetro, a frente de lavra M#02 deixou de fazer parte do grupo de fechamento com piezômetro (Grupo 1) e passou a integrar temporariamente o grupo de monitoramento periódico com recomendação de realização de sonar a cada 6 meses, para acompanhamento até nova avaliação técnica.


No entanto, uma nova avaliação foi realizada pela consultoria Brandt em dezembro de 2021, no qual, com base na localização e características específicas da cavidade recomendou preventivamente o enchimento dessa cavidade com material sólido, conforme SEI 3481279, o que foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 7369/2022.

Durante o acesso à cavidade, via poço 02DD, no mês de fevereiro de 2023, para realização do exame de sonar, foi observado que a cavidade se encontrava pressurizada, totalmente dentro da camada salina. Considerando essas condições identificadas, a Braskem optou por instalar o equipamento de piezômetro no poço 02DD para monitorar a cavidade da frente de lavra M#02. Esta nova condição está sendo reavaliada pelas consultorias devido à indícios encontrados da cavidade estar hidraulicamente conectada com a cavidade da frente de lavra M#28D.

4.3 FRETE DE LAVRA M#03 - ATUALIZADO

Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovada pela ANM (Ofício 6808/2021).

Conforme SEI 11982851, protocolado em 14/03/2024, diante do cenário apresentado após a ocorrência da cavidade 18 e, considerando a evolução do entendimento sobre o comportamento dinâmico da cavidade, a partir do monitoramento realizado, foi recomendado pelo IfG o preenchimento

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 90	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

desta cavidade com material sólido, como areia, entendendo-se como a melhor técnica aplicável para o seu fechamento seguro.

Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

4.4 FRENTE DE LAVRA M#04

De acordo com o plano de fechamento apresentado em setembro de 2019, essa frente de lavra seria monitorada regularmente por meio de sonar, a fim de obter novas informações para subsidiar o plano de fechamento. Entretanto, em função dos resultados dos estudos realizados pelo IFG (consultoria em geomecânica) no final de 2019, a Braskem decidiu promover o enchimento dessa cavidade com areia através de dois poços auxiliares, conforme já foi informado à ANM.


4.5 FRENTE DE LAVRA M#05

Conforme protocolo realizado em 13.10.2021, SEI nº 3103729 e, de acordo com as conclusões apresentadas no relatório elaborado pela empresa especializada Brandt, a análise do vasto acervo de dados adquiridos por meio da contratação de expertise técnica e tecnológica do mais alto padrão internacional, permite inferir que os resultados em seu conjunto apontam para um estado atual de autopreenchimento da cavidade M#05, com sua localização fora da camada de sal-gema onde originalmente fora gerada.

Neste sentido, por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

4.6 FRENTE DE LAVRA M#06

Conforme protocolo realizado em 13.10.2021, SEI nº 3103729 e, de acordo com as conclusões apresentadas no relatório elaborado pela empresa especializada Brandt, a análise do vasto acervo de dados adquiridos por meio da contratação de expertise técnica e tecnológica do mais alto padrão internacional, permite inferir que os resultados em seu conjunto apontam para um estado atual de autopreenchimento da cavidade M#06, com sua localização fora da camada de sal-gema onde originalmente fora gerada.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 91	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Neste sentido, por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

4.7 FRETE DE LAVRA M#07

Até o presente momento, não houve alterações no plano de fechamento dessa frente de lavra, o qual foi concluído com o enchimento da cavidade.

4.8 FRETE DE LAVRA M#08

Conforme protocolo realizado em 13.10.2021, SEI nº 3103729 e, de acordo com as conclusões apresentadas no relatório elaborado pela empresa especializada Brandt, a análise do vasto acervo de dados adquiridos por meio da contratação de expertise técnica e tecnológica do mais alto padrão internacional, permite inferir que os resultados em seu conjunto apontam para um estado atual de autopreenchimento da cavidade M#08, com sua localização fora da camada de sal-gema onde originalmente fora gerada.


Neste sentido, por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

4.9 FRETE DE LAVRA M#09

Até o presente momento, não houve alterações no plano de fechamento dessa frente de lavra.

4.10 FRETE DE LAVRA M#10

Em virtude dos eventos de falha verificados no sistema de medição de pressão e temperatura relatados nas frentes de lavra M#30D, M#32 e M#35D, a data de instalação dos piezômetros foi impactada e remanejada. Como recomendação da investigação realizada pela Schlumberger, os piezômetros foram instalados externamente à coluna de 4 ½", a fim de torná-los removíveis e protegidos contra movimentos horizontais. Além disso, a cimentação definitiva do poço será realizada, no mínimo, após 1 ano de operação dos piezômetros, a fim de permitir sua remoção em caso de falha do equipamento.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 92	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

4.11 FRETE DE LAVRA M#11

Uma nova avaliação dessa frente de lavra foi realizada pelas consultorias IFG e Brandt em dezembro de 2021, no qual, em função de sua localização e características específicas, recomendou o enchimento dessa cavidade com material sólido, conforme SEI 3481279, o que foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 7369/2022.

4.12 FRETE DE LAVRA M#12

Até o presente momento, não houve alterações no escopo plano de fechamento dessa frente de lavra.

4.13 FRETE DE LAVRA M#13


De acordo com o plano de fechamento apresentado em setembro de 2019, essa frente de lavra seria fechada definitivamente por meio da instalação dos piezômetros seguido de tamponamento no poço original. Entretanto, ao iniciar as atividades de instalação dos piezômetros, constatou-se por meio do perfil caliper que houve uma evolução da deformação do revestimento de 7" em 230m de profundidade, fato que impossibilitou a realização de um novo sonar, e por conseguinte, a continuação das atividades de tamponamento.

Diante desse novo cenário, a Braskem decidiu construir um novo acesso para cavidade M#13 através de um poço auxiliar, de forma a permitir a execução de todas as etapas previstas no plano de fechamento.

Vale salientar, que o poço original já foi tamponado definitivamente por meio do processo de cimentação e o poço auxiliar já foi perfurado. Como recomendação em decorrência da verificação realizada, os piezômetros foram instalados externamente à coluna de 4 ½" e dentro do revestimento de 7", a fim de torná-los removíveis e evitar danos aos equipamentos. Além disso, a cimentação definitiva do poço será realizada, no mínimo, após 1 ano de operação dos piezômetros, a fim de permitir sua remoção em caso de falha do equipamento.

4.14 FRETE DE LAVRA M#14

Conforme protocolo realizado em 13.10.2021, SEI nº 3103729 e, de acordo com as conclusões apresentadas no relatório elaborado pela empresa especializada Brandt, a análise do vasto acervo de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 93	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

dados adquiridos por meio da contratação de expertise técnica e tecnológica do mais alto padrão internacional, permite inferir que os resultados em seu conjunto apontam para um estado atual de autopreenchimento da cavidade M#14, com sua localização fora da camada de sal-gema onde originalmente fora gerada.

Neste sentido, por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

4.15 FRETE DE LAVRA M#15 - ATUALIZADO


Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovada pela ANM (Ofício 6808/2021).

Conforme SEI 11982851, protocolado em 14/03/2024, diante do cenário apresentado após a ocorrência da cavidade 18 e, considerando a evolução do entendimento sobre o comportamento dinâmico da cavidade, a partir do monitoramento realizado, foi recomendado pelo IfG o preenchimento desta cavidade com material sólido, como areia, entendendo-se como a melhor técnica aplicável para o seu fechamento seguro.

Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

4.16 FRETE DE LAVRA M#16

A instalação do piezômetro desta frente de lavra contemplava o fechamento por meio do poço auxiliar 16AD. Durante as intervenções realizadas neste poço, foram identificadas zonas com perdas de fluido, devido às formações fraturadas, que inviabilizaria o assentamento da sapata de revestimento de 7". Devido à essa condição, foi recomendado pela consultoria especializada o tamponamento deste primeiro poço auxiliar, bem como realizar um *side-track* partindo da sapata de 9 5/8" ou a construção de um novo poço auxiliar. A melhor opção técnica está em avaliação pela consultoria visando execução pela Braskem.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 94	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

4.17 FRETE DE LAVRA M#17

Até o presente momento, não houve alterações no escopo do plano de fechamento dessa frente de lavra, o qual foi concluído com o enchimento da cavidade.

4.18 FRETE DE LAVRA M#18D

Uma nova avaliação dessa frente de lavra foi realizada pela consultoria Brandt em dezembro de 2021, no qual recomendou o enchimento dessa cavidade com material sólido em função de sua localização e características específicas, conforme SEI 3481279, o que foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 7369/2022.

Após os recentes acontecimentos relacionados ao colapso da Frente de Lavra M#18, será necessária uma reavaliação no plano de fechamento dessa cavidade, a qual já está em curso. O plano de fechamento desta cavidade será disponibilizado assim que as investigações sobre o ocorrido forem concluídas.


4.19 FRETE DE LAVRA M#19

Até o presente momento, não houve alterações no escopo do plano de fechamento dessa frente de lavra, o qual foi concluído com o enchimento da cavidade.

4.20 FRETE DE LAVRA M#20D - ATUALIZADO

De acordo com o plano de fechamento apresentado em setembro de 2019, essa frente de lavra seria tamponada de forma definitiva com a instalação dos piezômetros. Entretanto, em função dos novos resultados dos sonares, revelando que o topo da cavidade está parcialmente fora da camada salina, e em ainda em processo de migração ascendente, a Braskem decidiu monitorar a cavidade de forma regular, a fim de obter novas informações sobre sua evolução para definição futura da melhor técnica de fechamento, o que foi aprovado conforme Ofício 6808/2021.

No dia 24 de outubro de 2021, durante a tentativa de execução do sonar foi observada uma evolução na deformação do revestimento próximo à entrada da cavidade, impedindo o acesso à Frente de Lavra M#20D, conforme relatório da empresa Shaft, apresentado anexo ao Relatório Consolidado Mensal de Fechamento das Frentes de Lavra referente ao mês de dezembro/2021 (SEI 3503210). Após diversas tentativas de acesso à cavidade sem sucesso, foi definido a construção de um novo poço, que permitiu o novo acesso à cavidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 95	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Conforme SEI 11982851, protocolado em 14/03/2024, diante do cenário apresentado após a ocorrência da cavidade 18 e, considerando a evolução do entendimento sobre o comportamento dinâmico da cavidade, a partir do monitoramento realizado, foi recomendado pelo IfG o preenchimento desta cavidade com material sólido, como areia, entendendo-se como a melhor técnica aplicável para o seu fechamento seguro.

Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

4.21 FRETE DE LAVRA M#21D - ATUALIZADO


Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovada pela ANM (Ofício 6808/2021).

Conforme SEI 11982851, protocolado em 14/03/2024, diante do cenário apresentado após a ocorrência da cavidade 18 e, considerando a evolução do entendimento sobre o comportamento dinâmico da cavidade, a partir do monitoramento realizado, foi recomendado pelo IfG o preenchimento desta cavidade com material sólido, como areia, entendendo-se como a melhor técnica aplicável para o seu fechamento seguro.

Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

4.22 FRETE DE LAVRA M#22

O plano de fechamento desta frente de lavra contemplava a instalação do piezômetro por meio do poço auxiliar 22AD. Ocorre que, durante as últimas intervenções realizadas neste poço, foram identificados danos no revestimento de 7", o que inviabilizou a instalação do piezômetro via poço auxiliar 22AD. Devido a essa condição, foi recomendado pela consultoria especializada o tamponamento deste poço e a utilização de um outro poço auxiliar para a instalação do piezômetro, o que será realizado. A instalação do piezômetro na frente de lavra M#22 a qual é conjugada com a frente de lavra M#23, seria realizada via poço 23BD. Como não houve êxito no condicionamento do poço 23BD, um novo poço auxiliar será perfurado para permitir a instalação do piezômetro visando o monitoramento de pressão e temperatura da cavidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 96	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

4.23 FRETE DE LAVRA M#23

Até o presente momento, não houve alterações no escopo do plano de fechamento dessa frente de lavra.

4.24 FRETE DE LAVRA M#24D

Conforme protocolo realizado em 13.10.2021, SEI nº 3103729 e, de acordo com as conclusões apresentadas no relatório elaborado pela empresa especializada Brandt, a análise do vasto acervo de dados adquiridos por meio da contratação de expertise técnica e tecnológica do mais alto padrão internacional, permite inferir que os resultados em seu conjunto apontam para um estado atual de autopreenchimento da cavidade M#24, com sua localização fora da camada de sal-gema onde originalmente fora gerada.


Neste sentido, por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

4.25 FRETE DE LAVRA M#25D

Uma nova avaliação dessa frente de lavra foi realizada pelas consultorias IFG e Brandt em dezembro de 2021, no qual recomendou o enchimento dessa cavidade com material sólido considerando a sua localização e características específicas, conforme SEI 3481279, o que foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 7369/2022.

4.26 FRETE DE LAVRA M#26D

Até o presente momento, não houve alterações no escopo do plano de fechamento dessa frente de lavra. A intervenção na frente de lavra M#26 foi iniciada no dia 27 de março de 2021. Durante a etapa de corte do tampão de cimento para acesso à cavidade, percebeu-se um influxo proveniente do poço, caracterizando uma cavidade pressurizada. Devido a essa condição, o plano de fechamento desta frente de lavra foi antecipado. Durante o mês de abril de 2021 foi realizado o procedimento de instalação do piezômetro para monitoramento da pressão e temperatura. A operação de instalação do

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 97	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

piezômetro foi concluída no dia 30 de abril de 2021 tendo sido iniciada a partir desta data a etapa de interligação com o sistema de monitoramento da Braskem.

4.27 FRENTE DE LAVRA M#27D

Uma nova avaliação dessa frente de lavra foi realizada pela consultoria Brandt em dezembro de 2021, no qual recomendou o enchimento dessa cavidade com material sólido em função de sua localização e características específicas, conforme SEI 3481279, o que foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 7369/2022.

4.28 FRENTE DE LAVRA M#28D


O plano de fechamento desta frente de lavra contemplava a instalação do piezômetro por meio do poço auxiliar 28AD. Ocorre que, durante as intervenções realizadas neste poço, foram identificados danos no revestimento de 9 5/8", o que inviabilizaria a passagem do revestimento de 7" por esta restrição. Devido à essa condição, foi recomendado pela consultoria especializada o tamponamento deste poço (28AD) e a construção de um novo poço auxiliar 28CD.

Em 09 de setembro de 2022 a perfuração do poço 28CD foi finalizada até a fase de 7". Durante a etapa de cimentação e testes da integridade do revestimento de 7" do poço auxiliar 28CD, foram encontradas dificuldades para a realização da cimentação devido às perdas de fluido durante a descida do revestimento. A consultoria especializada, juntamente com a equipe técnica Braskem optaram por planejar melhor uma nova tentativa de correção da cimentação e optaram por tamponar temporariamente o poço.

4.29 FRENTE DE LAVRA M#29D - ATUALIZADO

Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovada pela ANM (Ofício 6808/2021).

Conforme SEI 11982851, protocolado em 14/03/2024, diante do cenário apresentado após a ocorrência da cavidade 18 e, considerando a evolução do entendimento sobre o comportamento dinâmico da cavidade, a partir do monitoramento realizado, foi recomendado pelo IfG o preenchimento

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 98	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

desta cavidade com material sólido, como areia, entendendo-se como a melhor técnica aplicável para o seu fechamento seguro.

Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.


4.30 FRENTE DE LAVRA M#30D

Em novembro de 2019, identificou-se uma evolução da deformação no revestimento de 7", localizada em 677m, fato que impediu a passagem da ferramenta de sonar nessa ocasião. Diante desse cenário, e do risco eminente de cisalhamento total da tubulação, a Braskem decidiu realizar a operação de tamponamento do poço original com a injeção de pasta de cimento entre 600m e 1002m de profundidade, isolando completamente o poço da cavidade. Sendo assim, em janeiro de 2020, um poço auxiliar denominado 30AD foi construído com a finalidade de acessar a cavidade para a instalação dos piezômetros.

Em agosto de 2020, conforme protocolo SEI 1677283, observou-se uma falha simultânea dos dois sistemas de medição de pressão e temperatura que estão instalados dentro da cavidade. Em função do fechamento realizado não é possível reparar o sistema, uma vez que os equipamentos estão cimentados dentro do poço. Sendo assim, um segundo poço auxiliar foi construído.

As principais mudanças em relação ao projeto de fechamento, protocolado em setembro de 2019, estão listadas abaixo.

- Construção de um segundo poço auxiliar;
- Realização de um novo sonar antes da instalação dos piezômetros, a fim de verificar a manutenção das dimensões da cavidade;
- Instalação de um piezômetro acoplado externamente à coluna de 4 ½", a fim de torná-los removíveis e protegidos contra movimentos horizontais. Esta modificação foi indicada na investigação da Schlumberger para sanar com falhas observadas anteriormente em piezômetros;
- Em função dos eventos de falha no sistema de medição de pressão e temperatura observados nas frentes de lavra M#30D, M#32 e M#35D, a cimentação definitiva do novo poço será realizada, no mínimo, após 1 ano de operação dos piezômetros.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 99	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

4.31 FRENTE DE LAVRA M#31D

As principais mudanças em relação ao projeto de fechamento, protocolado em setembro de 2019, estão listadas abaixo.

- Realização de um novo sonar antes da instalação dos piezômetros, a fim de verificar a manutenção das dimensões da cavidade;
- Injeção de diesel para atuar como blanket no poço, a fim de criar uma barreira física no teto da cavidade, evitando assim, uma possível dissolução residual do sal no topo;
- Instalação de dois piezômetros com sistema de cabeamento independente, a fim de criar redundância nas medições;
- Reposicionamento da sapata da coluna de 2 7/8" de 1030m (projeto) para 1043m;
- Reposicionamento dos piezômetros de 1032m (projeto) para 1066m, instalando-os assim, mais próximo do centro da cavidade.


4.32 FRENTE DE LAVRA M#32

Em dezembro de 2019, identificou-se uma evolução da deformação no revestimento de 7", localizada em 540m, fato que impediu a instalação dos piezômetros. Diante desse cenário, e do risco eminente de cisalhamento total da tubulação, a Braskem decidiu realizar a operação de tamponamento do poço original com a injeção de pasta de cimento entre o topo da cavidade e a superfície, isolando completamente o poço da cavidade. Sendo assim, em março de 2020, um poço auxiliar denominado 32A foi construído com a finalidade de acessar a cavidade para a instalação dos piezômetros.

Em agosto de 2020, conforme protocolo SEI 1677283, observou-se uma falha simultânea dos dois sistemas de medição de pressão e temperatura que estão instalados dentro da cavidade. Em função do tamponamento não é possível reparar o sistema, uma vez que os equipamentos estão cimentados dentro do poço. Sendo assim, um segundo poço auxiliar deverá ser construído.

As principais mudanças em relação ao projeto de fechamento, protocolado em setembro de 2019, estão listadas abaixo.

- Construção de um poço auxiliar;
- Realização de um novo sonar antes da instalação dos piezômetros, a fim de verificar a manutenção das dimensões da cavidade;

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 100	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

- c) Instalação do piezômetro acoplado externamente à coluna de 4 ½", a fim de torná-los removíveis e protegidos contra movimentos horizontais. Esta modificação foi indicada na investigação da Schlumberger para sanar com falhas observadas anteriormente em piezômetros;
- d) Em função dos eventos de falha no sistema de medição e temperatura observados nas frentes de lavra M#30D, M#32 e M#35D, a cimentação definitiva do novo poço será realizada, no mínimo, após 1 ano de operação dos piezômetros.

4.33 FRENTE DE LAVRA M#33D

No dia 21 de fevereiro de 2021, foi iniciada a perfuração do poço de interceptação 33BD. Em 18 de abril de 2021, iniciou-se a etapa de abertura da janela no poço original a uma profundidade de 928,6m que foi realizada com sucesso, permitindo assim o acesso à frente de lavra M#33 original.

As etapas de interceptação da frente de lavra M#33D realizadas foram concluídas no dia 10 de maio de 2021.

4.34 FRENTE DE LAVRA M#34D - ATUALIZADO


Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovada pela ANM (Ofício 6808/2021).

Conforme SEI 11982851, protocolado em 14/03/2024, diante do cenário apresentado após a ocorrência da cavidade 18 e, considerando a evolução do entendimento sobre o comportamento dinâmico da cavidade, a partir do monitoramento realizado, foi recomendado pelo IfG o preenchimento desta cavidade com material sólido, como areia, entendendo-se como a melhor técnica aplicável para o seu fechamento seguro.

Em 01/04/24 (SEI 12251668), foi emitido pela ANM Despacho acolhendo recomendação do GT (SEI 12250898), favorável a reclassificação mediante a apresentação do Plano de Fechamento destas frentes de lavra atualizado, que se encontra em elaboração e será apresentado tão logo concluído.

4.35 FRENTE DE LAVRA M#35D

O fechamento dessa frente de lavra estava previsto para ser finalizado em 01/05/2020. Ocorre que, em decorrência da fatores intervenientes durante a execução das atividades, houve alteração no


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 101	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

que diz respeito à data prevista para o fechamento que necessitou ser revista conforme especificado no capítulo 8 deste relatório.

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram realizadas entre os dias 7 de junho e 8 de julho de 2020. As principais mudanças em relação ao projeto de fechamento, protocolado em setembro de 2019, estão listadas abaixo. Maiores detalhes estão descritos no documento SEI 1677826.

- Realização de um novo sonar antes da instalação dos piezômetros, a fim de verificar a manutenção das dimensões da cavidade;
- Injeção de diesel para atuar como blanket no poço, a fim de criar uma barreira física no teto da cavidade, evitando assim, uma possível dissolução residual do sal no topo;
- Instalação dos piezômetros com sistema de cabeamento independente, a fim de criar redundância nas medições;
- Uso da tubulação de 4 ½" em substituição à coluna de 2 7/8", de forma a aproveitar a coluna já existente no poço;
- Reposicionamento da sapata da coluna de 1030m (projeto) para 1033m, em função do tamanho das tubulações que não permitem a instalação da sapata em posições exatas;
- Reposicionamento dos piezômetros de 1032m (projeto) para 1043m, em função da padronização da distância de 10m entre a sapata da coluna e os piezômetros.
- Em função da falha de um dos piezômetros (sensor B) observada no mês de julho, a medição de pressão e temperatura será realizada apenas pelo equipamento A.

Em setembro de 2020, observou-se uma falha do sistema de medição de pressão e temperatura que estão instalados dentro da cavidade. Em função do fechamento executado não é possível reparar o sistema, uma vez que os equipamentos estão cimentados dentro do poço. Sendo assim, um poço auxiliar foi construído. Como recomendação da investigação que está sendo realizada pela Schlumberger, os piezômetros serão instalados externamente à coluna de 2 7/8", a fim de torná-los removíveis e protegidos contra movimentos horizontais. Além disso, a cimentação definitiva do novo poço será realizada, no mínimo, após 1 ano de operação dos piezômetros, a fim de permitir sua remoção em caso de falha do equipamento.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 102	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

4.36 HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS PIEZÔMETROS

Como é de conhecimento desta Agência, com a evolução do conhecimento e execução das instalações dos piezômetros, tais atividades foram e vêm sendo continuamente aprimoradas e, a partir das melhorias verificadas, estas são incorporadas no procedimento em execução para as demais cavidades.

Desse modo, com o apoio da empresa Schlumberger, foram desenvolvidos sistemas de instalação de piezômetro denominados por metodologias a partir de suas gerações, conforme se segue:


Primeira geração - Em 2019, no plano de fechamento das frentes de lavra, cujas cavidades se encontram dentro da camada salina, foi prevista a instalação do sistema de piezômetro, de forma a medir a pressão e temperatura no interior da cavidade. Nos poços originais, ainda acessíveis na época, planejou-se a instalação de dois piezômetros independentes alojados no interior da coluna de 2 7/8", de forma que os equipamentos ficassem protegidos contra impactos mecânicos. Sendo assim, a cavidade era despressurizada e a coluna era instalada dentro da cavidade, geralmente 10 à 20m abaixo do teto da cavidade, enquanto o piezômetro era instalado 10m abaixo da sapata da coluna de 2 7/8".

Uma vez concluída a instalação do piezômetro, o poço era cimentado ao longo de toda sua extensão, a fim de evitar que uma evolução dos danos nos revestimentos permitisse a despressurização da cavidade. Esta metodologia, denominada primeira geração do sistema de piezômetro, foi instalada nos poços originais das frentes de lavra 01, 30,31,32 e 35

Ocorre que ao longo do ano de 2020, os piezômetros já instalados seguindo esta metodologia começaram a apresentar falhas de medição e sua substituição não era mais possível, devido à cimentação dos poços. Diante deste cenário, foi desenvolvido junto à empresa Schlumberger uma nova metodologia de instalação dos piezômetros, cuja principal premissa consiste na possibilidade de remoção do piezômetro para manutenção. (Segunda Geração).

A segunda geração do sistema piezômetro foi utilizada nos poços das frentes de lavra 01 e 26, e contemplava as seguintes premissas:

- Possibilidade de remoção do piezômetro para manutenção;
- Instalação em poços recém perfurados, a fim de evitar à necessidade imediata de tamponamento do poço;
- Instalação do equipamento sem despressurizar a cavidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 103	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

A terceira geração do sistema de piezômetro foi desenvolvida após um evento de falha no poço auxiliar da frente de lavra 01. Esta geração contemplou a possibilidade de realizar sonar na cavidade sem a necessidade de remoção do piezômetro, além de acondicioná-lo alguns metros acima do teto da cavidade, a fim de evitar impactos mecânicos no equipamento. Atualmente a empresa adota a terceira geração do sistema na instalação dos piezômetros.

A tabela abaixo resume a evolução do sistema de piezômetro, de acordo com o avanço e conhecimento adquirido.

Tabela 33 – Evolução do sistema piezômetro

Atividades	1º geração	2º geração	3º geração
Instalação em poços originais	x		
Instalação em poços auxiliares		x	x
Tamponamento do poço após instalação do piezômetro	x		
Possibilidade de realizar sonar ao longo do tempo		x	x
Sonar com a cavidade pressurizada			x
Possibilidade de manutenção do piezômetro		x	x


5. RELATÓRIO DE EXECUÇÃO DOS PLANOS DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA - ATUALIZADO

5.1 FRENTE DE LAVRA M#01 - ATUALIZADO

As atividades de fechamento da frente de lavra M#01 foram impactadas e reprogramadas em função do rompimento dos cabos dos piezômetros que ocorreu durante o processo de instalação no poço original, conforme foi detalhado no capítulo 4.

No dia 28 de fevereiro de 2021, as atividades de fechamento na frente de lavra M#01 foram continuadas com o objetivo de instalar novos equipamentos de medição de pressões e temperatura da cavidade. Este procedimento foi executado de acordo com o plano detalhado no capítulo 4 e foi finalizado no dia 19 de março de 2021, conforme relatório de execução do fechamento referente à instalação do piezômetro.

No dia 14 de agosto de 2021 às 07:07h, o sistema de monitoramento da pressão e temperatura da cavidade apresentou um alerta de falha na comunicação com os servidores da Braskem. Diante do cenário, a equipe técnica iniciou as investigações com o objetivo de detectar a possível causa da falha.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 104	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Após a verificação dos equipamentos de superfície, identificou-se que o problema de comunicação estava dentro do poço, sendo necessário, portanto, a desmontagem da coluna e remoção do piezômetro para verificação. Vale ressaltar que esta atividade de verificação bem como a de manutenção só se faz possível devido a mudança de estratégia realizada anteriormente na qual foi definido que a etapa de tamponamento do poço definitivo do poço só é realizada após um período de acompanhamento do monitoramento.


No dia 20 de agosto de 2021, após a remoção do piezômetro do poço, constatou-se a presença de um dano no cabo, numa profundidade próxima ao topo da cavidade. Sendo assim, a empresa Schlumberger, responsável pela instalação e manutenção dos piezômetros, decidiu realizar a substituição do cabo, atividade que deverá foi realizada em setembro de 2021.

Após a retirada do piezômetro, foram realizados testes de bancada onde constatou-se que o piezômetro estava em perfeito funcionamento. A interrupção do envio do sinal estava diretamente relacionada ao rompimento do cabo que interliga o piezômetro aos equipamentos de superfície.

No dia 20 de setembro, após a realização do condicionamento do poço, iniciou-se a reinstalação do piezômetro, sendo concluída no dia 24 de setembro com a indicação de 121,03 BAR de pressão e 52,10°C de temperatura. O piezômetro foi reinstalado na profundidade de 878,0m, dentro do revestimento de 7", conforme descrito no relatório executivo atualizado já apresentado. Esta nova recomendação teve como objetivo proteger o equipamento de eventuais choques mecânicos dentro da cavidade.

Conforme comunicado apresentado em 07.07.2022 (SEI 4456749), em razão das condições climáticas e dos eventos chuvosos que assolaram a região de Maceió/AL, houve a necessidade de suspensão temporária das atividades de fechamento em curso, até o restabelecimento das condições de segurança na área, dentre elas, o monitoramento de pressão e temperatura da frente de lavra M#01. Com o objetivo de preservar a integridade dos piezômetros, foi sugerido pelo fabricante do equipamento o desligamento temporário das fontes de alimentação de energia. Os equipamentos permaneceram desligados entre os dias 03 e 13 de julho de 2022, retornando à operação, indicando parâmetros similares aos registrados anteriormente ao desligamento.

No dia 21 de fevereiro de 2023 foi iniciada a intervenção no poço auxiliar 01AD com a finalidade de realizar a inspeção programada de rotina do sensor do piezômetro e da integridade do poço. A inspeção do poço foi concluída no dia 04 de março de 2023, onde foi observado que o poço permanece íntegro e o piezômetro em funcionamento. O piezômetro foi reinstalado na profundidade de 871,5m, ainda dentro do revestimento de 7", com o objetivo de reduzir o risco de danos físicos no equipamento. As pressões da cavidade que são apresentadas no capítulo 6 deste relatório, já contemplam o fator de correção para a igualar à profundidade anterior.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 105	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

A consultoria especializada Sabine Storage and Operations (SSO) está avaliando quais os próximos passos para o fechamento desta frente de lavra. A cavidade segue sendo monitorada por piezômetro.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividade do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, devido à proximidade da Frente de Lavra M#01 com a região do colapso da cavidade 18, a realização de inspeção e sonar no poço auxiliar 01AD e sua respectiva cavidade, que serão realizados tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.

Durante o mês de março de 2024 foram realizadas as operações de inspeção do poço 01A e piezômetro da cavidade M#01. O piezômetro foi inspecionado e reinstalado utilizando uma coluna de 2 7/8" em 870,5 m de profundidade. Maiores detalhes dos resultados da inspeção do poço estão no capítulo 6.2.9.


5.2 FRETE DE LAVRA M#02

As atividades de reparo do poço original da frente de lavra M#02 não foram bem-sucedidas e um poço de interceptação foi construído como um objetivo de acessar o poço original e realizar o tamponamento definitivo e o isolamento da cavidade de uma possível comunicação com o poço original.

No dia 15 de janeiro de 2021, a interceptação do poço M#02CD com o poço M#02 original foi concluída com sucesso na profundidade de 845m. Após a etapa de interceptação, foi realizado o processo de tamponamento do poço original M#02 por meio da injeção de tampões de cimento abaixo de 845m de profundidade.

No dia 02 de fevereiro de 2021, a última etapa do tamponamento do poço original M#02 foi executada por meio da injeção do tampão de cimento de superfície. No dia 8 de maio de 2021 foi realizada uma intervenção no poço 02AD com o objetivo de realizar uma cimentação complementar no trecho de poço aberto da sapata de 7" até o topo da cavidade.

No mês de junho de 2021, dando continuidade às etapas de instalação do piezômetro, o revestimento de 4 ½" foi instalado na posição 999,5m, e posteriormente, cimentado ao longo de toda sua extensão. No entanto, durante a etapa de teste de pressurização, observou-se que não houve

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 106	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

elevação da pressão no poço. Diante desse cenário, conforme informações já apresentadas e, de acordo com as conclusões e recomendações apresentadas pela consultoria, tendo em vista a condição de despressurização da cavidade identificada na ocasião da execução do fechamento com piezômetro, a frente de lavra M#02 deixou de fazer parte do grupo de fechamento com piezômetro (Grupo 1) e passou a integrar o grupo de enchimento (Grupo 3), conforme aprovação pela Gerência Regional.

Tal medida de monitoramento periódico corresponde à situação prevista no fluxograma (SEI nº 2990681), no trecho correspondente ao passo 5 apresentado no referido documento.

Entre os dias 11 e 12 de dezembro de 2021 foi realizada a operação de corte eletroquímico do revestimento de 4 ½" na região próxima a cavidade M#02. O objetivo desta operação foi permitir a liberação do acesso à frente de lavra no ponto imediatamente acima da obstrução identificada. Esta operação foi concluída com sucesso, sendo a nova sapata do revestimento de 4 ½" identificada à 982,9m de profundidade, possibilitando o monitoramento da cavidade. Sendo assim, o exame de sonar foi realizado no dia 13 de dezembro de 2021.


Conforme SEI nº 3855206, protocolado em 06/04/2022, foi apresentado o Projeto de enchimento das cavidades atualizado, elaborado pela Brandt e respectivo cronograma incluído no Capítulo 8.2 deste relatório, atendendo ao item 02 do Ofício 7369/2022/GER-AL/ANM.

No dia 09 de julho de 2022 foi identificado um início de pressurização natural na cabeça do poço auxiliar 2AD. Já havia sido realizado um teste de pressurização nesta cavidade, em que não foram apresentadas características estanques, chegando à conclusão que possivelmente existia um ponto de fuga de pressão entre a cavidade e a formação geológica sobrejacente.

Considerando o Plano de Fechamento desta Frente de Lavra pelo método de enchimento com areia, o qual foi aprovado por esta Agência por meio do Ofício nº 7369/2022, no dia 19 julho de 2022 foi iniciada a perfuração do poço auxiliar injetor de salmoura/areia 2DD.

A perfuração se estendeu até o dia 14 de setembro de 2022, onde o poço adentrou a camada salina e a sapata do revestimento de 9 5/8" foi posicionada à 969,4m. A perfuração até a cavidade foi interrompida e estava aguardando uma janela operacional para dar continuidade, tendo em vista que foi observado que a cavidade agora está pressurizada.

No dia 30 de novembro de 2022, as atividades no poço auxiliar 02DD foram retomadas com o objetivo de acessar à cavidade. Foram necessárias aplicações de *squeezes* de cimento na região da sapata, dentro da camada salina, para condicionamento do poço, visando garantir a integridade da sapata do último revestimento instalado no poço. Foram realizadas tentativas para verificação da integridade da sapata do poço para realizar o acesso à cavidade, porém o equipamento utilizado pela sonda apresentou inconsistências nos dados de pressão fornecidos. A equipe técnica optou por remover a sonda de perfuração e substituir por uma sonda de *workover* para dar continuidade ao

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 107	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

trabalho devido ao sistema de BOP ser o mais adequado para realizar a operação dentro da faixa de pressão estabelecida.

Entre os dias 01 e 16 de fevereiro de 2023, a sonda de SPT-88 da empresa CONTERP realizou o condicionamento do poço auxiliar 02DD, tendo sido possível garantir a integridade da sapata de revestimento do poço e o acesso à cavidade, onde foi perfurado cerca de 15m de formação salina até alcançar a cavidade M#02.

Devido ao risco de cisalhamento do poço auxiliar 02AD, durante os dias 16 e 20 de fevereiro de 2023, o referido poço auxiliar foi tamponado em sua integralidade, por meio de injeção de tampão de cimento, via técnica *bullhead* (que consiste na injeção direta pela superfície). Após a conclusão do primeiro tampão, o poço foi preenchido com cimento até o nível da superfície e soldado uma chapa de proteção, concluindo o tamponamento do poço auxiliar 02AD.


O processo de tamponamento dos poços já realizados está descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, protocolado no dia 17/07/2023 por meio do SEI 8355246. Após a conclusão dos tamponamentos, as cabeças dos poços serão devidamente removidas e será realizada etapa final de descomissionamento.

Conforme mencionado no capítulo 6 deste relatório, a frente de lavra M#02 vem apresentando uma condição de estanqueidade, levando a cavidade à pressurização. A Braskem, juntamente com as consultorias especializadas *Syngular Solutions* e *Sabine Storage and Operations* (SSO) vem analisando e monitorando os eventos de pressurização das frentes de lavra M#02 e M#28D em conjunto, tendo sido observada uma correlação destes eventos entre as referidas cavidades, indicando uma possível conexão hidráulica entre elas. Diante deste novo cenário de pressurização, a Braskem optou por instalar um piezômetro para monitorar a pressão e temperatura da cavidade com o objetivo de entender esse processo de pressurização.

As operações para instalação do equipamento de piezômetro foram iniciadas no dia 19 de maio de 2023, por meio do poço auxiliar 02DD e finalizadas no dia 04 de julho de 2023. As medições de pressão e temperatura em tempo real das cavidades M#02 e M#28D (interconectadas hidráulicamente) já estão sendo realizadas e os dados apresentados no capítulo 6 deste relatório.

5.3 FRETE DE LAVRA M#03

Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovado pela ANM (Ofício 6808/2021).

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 108	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Entre os dias 19 e 23 de julho foi construído o ante poço do novo poço auxiliar da frente de lavra M#03. A perfuração do poço 03BD tem como objetivo acessar a cavidade em um ponto mais favorável para a realização do exame de sonar, possibilitando uma melhor visualização da cavidade, eliminando assim, as zonas ocultas previamente identificadas via sonar por meio do poço 03AD. Foi apresentado em 15/08/2022 por meio do SEI 4750793, o relatório do andamento das atividades de fechamento da frente de lavra M#03.

A perfuração do poço auxiliar 03BD foi iniciada no dia 10 de agosto de 2022 e a primeira fase se estendeu até o dia 19 de agosto, onde o poço foi revestido e cimentado. Por uma questão estratégica do plano de aceleração do enchimento das cavidades, a Braskem, juntamente com a consultoria especializada optou por interromper a perfuração do poço 03BD na primeira fase e migrar a sonda para perfurar um outro poço. Na medida em que as atividades forem sendo realizadas, os detalhes serão apresentados por meio de relatório específico.

A perfuração do poço 03BD foi retomada no dia 21 de setembro e se estendeu até o dia 25 de setembro de 2022, onde a perfuração atingiu a cavidade à 716m de profundidade. O poço atingiu a cavidade dentro do alvo projetado e o sonar foi realizado no dia 26 de setembro de 2022 com sucesso. O novo ponto de acesso à cavidade eliminou as zonas ocultas anteriormente identificadas.


Os poços auxiliar 3AD e original M#03 foram tamponados em julho e outubro de 2022, respectivamente. Os tamponamentos destes poços fazem parte do plano de fechamento desta frente de lavra, e o processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra (Rev.01) apresentado por meio do SEI 5507992, protocolado no dia 18/11/2022.

5.4 FRENTE DE LAVRA M#04

O projeto conceitual da perfuração dos poços para o processo de enchimento, elaborado pela empresa WEP, foi apresentado como anexo ao relatório mensal do mês de junho de 2021, conforme SEI nº 2761842.

No dia 13 de janeiro de 2022 foi iniciada a perfuração do poço auxiliar 04CD que será utilizado no sistema de *backfilling* da cavidade desta frente de lavra. No dia 05 de fevereiro de 2022, a perfuração foi finalizada. A construção do poço auxiliar 04CD foi concluída, sendo possível acessar a cavidade e realizar o exame de sonar.

A Braskem estava aguardando uma janela operacional para perfurar o segundo poço auxiliar 04BD que completaria o conjunto de poços para realizar o enchimento da cavidade. A perfuração deste

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 109	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

novo poço auxiliar foi iniciada no dia 28 de setembro de 2022 e foi finalizada no dia 01 de novembro de 2022.

O sonar realizado em 08 de julho de 2022, por meio do poço auxiliar 04CD, revelou um volume inicial de 107.962m³, conforme documento protocolado por meio do SEI 4501417, porém o volume atualizado e verificado é de 128.703,50m³, com base nos volumes de areia já injetados, adicionado ao volume visualizado no sonar, protocolado no dia 11 de maio de 2023 SEI nº 7290217.


As atividades de enchimento da frente de lavra M#04 foram iniciadas no mês de setembro de 2022. O processo de enchimento da cavidade, inicialmente ainda em caráter de teste, foi iniciado no dia 24 de setembro de 2022, por meio do poço auxiliar 04CD, após a conclusão da primeira etapa do teste de injetividade.

No dia 12 de janeiro de 2023, foi observado pela equipe de operação da Tecnosonda uma redução na vazão de sucção da bomba submersa instalada no poço original M#04. Notou-se também que a bacia de retorno de salmoura estava sendo preenchida por areia, resultado do retro bombeamento de parte da areia que estava sendo injetada, onde, a partir deste momento, o bombeamento foi interrompido e o sistema temporariamente desligado. Foi realizada uma tentativa de realização do exame de sonar pelo poço original M#04, porém sem sucesso. Ao realizar o exame de sonar pelo poço injetor 04BD, pôde-se observar que a pilha de areia injetada já havia soterrado a extremidade do poço original, o que impediria o retorno de salmoura da cavidade. A equipe técnica da Braskem observou que havia uma porção da tubulação do poço original que passava pela parte superior da cavidade, em uma zona livre de formação geológica. Foi efetuado um corte mecânico da tubulação nesta zona, o que possibilitou o retorno do fluxo de salmoura do interior da cavidade. O processo de enchimento retornou no dia 31 de janeiro de 2023, por meio do poço auxiliar 04BD.

O exame de sonar realizado por meio do poço auxiliar 04BD, ocorrido em 14 de março de 2023 e protocolado em 17/04/2023 (SEI nº 7016511), revelou uma cavidade com volume de 6.902m³. Foi observado durante este sonar, um volume de fluido mais denso com sólidos em suspensão no fundo da cavidade, podendo este volume não representar fielmente o volume real da cavidade.

Durante o mês de abril de 2023, foi realizada uma nova tentativa de injeção de areia na cavidade M#04, onde foi possível adicionar mais 5,0m³. O volume acumulado de areia injetada atingiu os 89,0% do volume da cavidade, superando o valor estimado pelas consultorias que varia entre 65% a 80% do volume da cavidade, conforme indicado na atualização do Plano Executivo de Fechamento das Frentes de Lavra pelo Método de Enchimento (SEI nº 3855200), sendo assim, pode-se considerar que atualmente a cavidade já se encontra numa condição de estabilidade.

A partir do desenvolvimento de ações operacionais que visem elevar o percentual de preenchimento da cavidade 04, no mês de novembro de 2023 foi possível injetar 695,00 m³.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 110	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Até a suspensão preventiva das atividades (23.11) havia sido injetado um volume de 116.235,00 m³ de areia, conforme indicado na Tabela 33.1.

No mês de janeiro de 2024, as atividades relacionadas ao fechamento da frente de lavra 04 continuaram paralisadas, em decorrência da ocorrência do colapso da cavidade M#18. Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla a continuidade do plano de fechamento da frente de lavra M#04, no que diz respeito à inspeção dos poços auxiliares 04BD, 04CD. Além da atividade de inspeção, será realizado um novo sonar da cavidade para entender a sua geometria atual, antes que sejam retomadas as atividades de fechamento. As atividades serão retomadas tão logo autorizadas pelos órgãos competentes e, em conformidade com o plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.

Tabela 33.1 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#04

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Setembro/2022	3.470,00	3.470,00
Outubro/2022	14.982,50	18.452,50
Novembro/2022	10.842,50	29.295,00
Dezembro/2022	35.587,50	64.882,50
Janeiro/2023	16.640,00	81.522,50
Fevereiro/2023	17.437,50	98.960,00
Março/2023	15.122,50	114.082,50 ⁽¹⁾
Abril/2023	5,00	114.087,50 ⁽¹⁾
Outubro/2023	1.452,50	115.540,00 ⁽¹⁾
Novembro/2023	695,00	116.235,00

*Nota ⁽¹⁾: Nota-se que o volume total injetado foi superior ao volume inicial da cavidade, isto se deve à limitação de visada do sonar que inicial, realizado em 08 julho de 2022, onde ainda havia uma zona oculta na parte superior da cavidade, que apenas foi mitigada com a perfuração do segundo poço auxiliar 04BD, juntamente com a acomodação e a compactação da areia dentro da cavidade.

Tabela 33.4 – Comparação entre a redução do volume da cavidade 4 e o volume injetado de areia

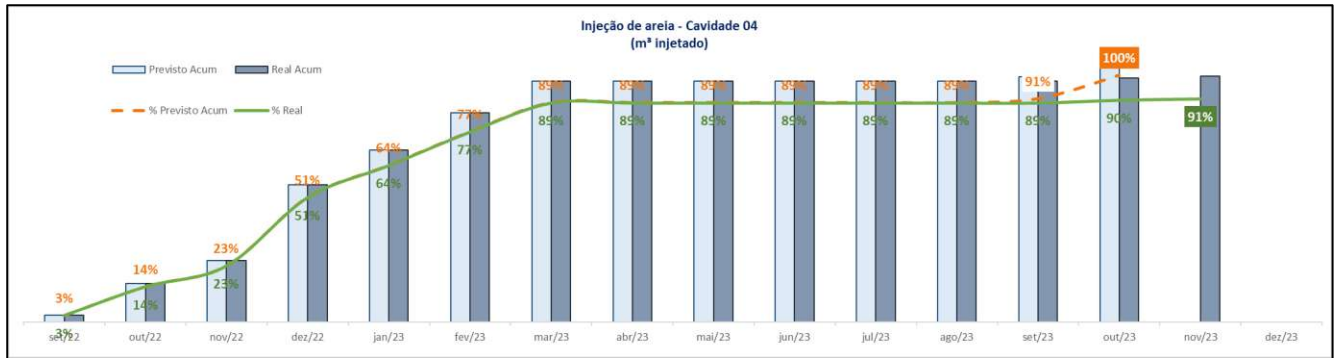
Data	Volume da cavidade medida por sonar (m³)	Redução do volume da cavidade entre as medições de sonar (m³)	Volume de areia injetado entre as medições de sonar (m³)	Relação entre o volume reduzido da cavidade e o volume injetado de areia
08 jul 22	107.962	-	-	-
12 nov 22	106.934	1.028	18.452,5	5,57% ⁽¹⁾
27 dez 22	72.733	34.201	41.897,5	81,63% ⁽¹⁾
23 jan 23	42.450	30.283	20.467,5	147,95% ⁽¹⁾
27 fev 23	22.313	20.137	17.555,0	114,70% ⁽¹⁾
13 mar 23	6.902 ⁽²⁾	15.411	9.732,5	158.34% ⁽¹⁾
03 mai 23	14.161	8.152 ⁽³⁾	5.982,50	136,26% ⁽¹⁾ ⁽²⁾

*Nota ⁽¹⁾: A variação na relação entre os volumes injetados e os volumes registrados pelos exames de sonar podem variar de acordo com a acomodação e compactação da areia no interior da cavidade.

*Nota ⁽²⁾: O volume medido não representou o volume real da cavidade devido à presença de insolúveis em suspensão na base da cavidade.

*Nota ⁽³⁾: Valor referenciado com o sonar realizado em 27 de fevereiro de 2023.


Figura 14 – Curva de enchimento da cavidade M#04 (base sonar)



Nota*: Foi acrescentado ao gráfico os valores em volume, previsto acumulado e real acumulado, até a sua conclusão ocorrido em novembro/23.

5.5 FRETE DE LAVRA M#05

Por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício 1262/2022. Foi informado anteriormente que a empresa apresentaria o cronograma de execução das medidas descritas no plano

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 112	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de fechamento aprovado. Desse modo, foi inserido no capítulo 08 (item 8.3) o referido Cronograma de execução.

Entre os dias 28 de setembro e 05 de outubro de 2022 foi realizado o tamponamento do poço original M#05, e entre os dias 14 e 18 de outubro foi realizada a primeira etapa do tamponamento do poço auxiliar 05A, ambos os poços davam acesso à frente de lavra M#05. O tamponamento do poço 05A teve que ser interrompido devido a uma prisão de coluna durante a cimentação.

A operação foi retomada no dia 29 de outubro pela sonda de perfuração S-02 da empresa EBS Perfurações com o objetivo de realizar a pescaria, e posteriormente realizar o complemento do tamponamento. No dia 02 de novembro de 2022 a operação foi finalizada com a remoção da coluna e o complemento do tamponamento até a superfície.


Os tamponamentos dos poços relativos à frente de lavra M#05 fazem parte da execução do seu plano de fechamento, e a evidência dos tamponamentos realizados até o momento foi devidamente apresentada no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra (Rev. 02) apresentado por meio do SEI 5709533, protocolado no dia 05/12/2022.

5.6 FRETE DE LAVRA M#06

Por meio do SEI nº 3103729, foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra, o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício 1262/2022. Foi informado anteriormente que a empresa apresentaria o cronograma de execução das medidas descritas no plano de fechamento aprovado. Desse modo, foi inserido no capítulo 08 (item 8.3) o referido Cronograma de execução.

Em atendimento ao solicitado por meio do Ofício nº 12114/2022/GER-AL/ANM, itens 03 e 04, ressaltamos que os poços da frente de lavra M#06 foram selecionados para a atividade de tamponamento em caráter experimental para desenvolvimento do Cronograma a ser apresentado.

A empresa iniciou o tamponamento de três poços das cavidades pertencentes ao Grupo 5, escolhidos para o início do tamponamento, em caráter experimental, dentre eles, está presente o poço 6DD. Os descomissionamentos dessa frente de lavra será realizado conforme procedimento atualmente sugerido pela consultoria especializada, no qual será soldada uma tampa cega no topo do revestimento na superfície, mantendo-se o revestimento no nível da superfície e preenchendo-se/cimentando o poço a partir de aproximadamente 400m, até a superfície. Neste caso, em específico ressalta-se que não há espaço anular a ser preenchido dentro do poço.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 113	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Entre os dias 06 e 11 de outubro de 2022 foi realizado o tamponamento do poço original M#06, e entre os dias 18 de setembro e 15 de outubro foi realizado o tamponamento do poço auxiliar 06FD, ambos os poços davam acesso à frente de lavra M#06.

Os tamponamentos dos poços relativos à frente de lavra M#06 fazem parte da execução do seu plano de fechamento, e a evidência dos tamponamentos realizados até o momento foi devidamente apresentada no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra (Rev. 02) apresentado por meio do SEI 5468041, protocolado no dia 16/11/2022.

5.7 FRENTE DE LAVRA M#07


As atividades de fechamento da frente de lavra M#07 foram iniciadas e o processo de enchimento da cavidade teve início no dia 24 de novembro de 2020, após a conclusão de todas as etapas de instalação e montagem dos equipamentos de superfície. O projeto conceitual da perfuração dos poços para o processo de enchimento, elaborado pela empresa WEP, foi apresentado como anexo ao relatório mensal do mês de junho de 2021, conforme SEI nº 2761844.

Entre os meses de novembro de 2020 e março de 2023 foram injetados um volume acumulado de 406.071,18 m³ de areia, conforme indicado na Tabela 33.2. É importante salientar que, apesar do enchimento ter sido iniciado em novembro de 2020, a construção e montagem do sistema *backfilling I* definitivo foi concluída no mês de abril de 2021. Esse projeto tem capacidade nominal de injetar 90 m³/h de areia, e já está operando com essa vazão.

Durante a primeira tentativa de realização do exame de sonar na cavidade M#07, em outubro de 2021, foi identificado um desgaste excessivo na tubulação de 7" do poço 7AD. Este desgaste impossibilitou a remoção e substituição completa da coluna de revestimento do poço 7AD, vindo a romper a tubulação na profundidade de 108m.

No dia 6 de outubro de 2021, após a descida do revestimento de 4 ½" para a realização do exame de sonar no poço 7AD, foi identificada uma quantidade significativa de partículas em suspensão no interior da cavidade. Este material em suspensão dificultou a realização do sonar e foi necessário realizar 7 tentativas durante 16 dias para a decantação completa e a realização do sonar por meio do poço 7BD. Após finalizado o sonar e devido à dificuldade de substituição do revestimento de 7" do poço 7AD, optou-se por injetar a polpa pelo poço 7BD e a salmoura passou a ser recuperada pelo poço 7AD.

No dia 5 de novembro de 2021, o sistema de monitoramento microsísmico registrou a ocorrência de um microssismo de magnitude 1,41 ML. O epicentro do microssismo estava localizado dentro da área operacional onde está instalada a planta de backfilling I, próxima ao antigo Hospital

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 114	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Psiquiátrico Dr. José Lopes. Diante disto, a Braskem optou por desmobilizar preventivamente e voluntariamente todas as equipes que estava trabalhando na área até que fosse realizado um aprofundamento do evento junto com os consultores especializados e por parte dos órgãos competentes.

Devido à ocorrência do evento, as atividades de enchimento foram interditadas pelo IMA e, no dia 06/12/2021, a retomada das atividades foi autorizada pelo IMA conforme Termo de Desembargo e Defesa Civil conforme Ofício nº 1475 - COMPDEC/2021.

As atividades de fechamento desta frente de lavra foram retomadas a partir do dia 22 de dezembro de 2021 após o comissionamento da planta.


Os sonares recorrentes realizados na cavidade M#07 revelaram uma redução do volume efetivo de 307.425,9m³, entre outubro de 2020 e outubro de 2022, conforme sonar realizado em 06 de outubro de 2022, devidamente protocolado nesta Agência (SEI 5302708). De acordo com a tabela 33.2, pode-se observar uma redução no volume injetado na cavidade 07 nos meses de março e abril de 2022, cujo sistema de injeção foi substituído pelo modelo *skid*, com menor capacidade, devido à proximidade da finalização do enchimento desta cavidade, demandando uma operação em menor escala para ajustar a conformação final do empilhamento de areia dentro da cavidade.

No período de novembro 2022 a fevereiro de 2023, não foi possível manter a média de volume de injeção de areia na frente de lavra M#07, devido às operações simultâneas entre o sistema de enchimento da frente de lavra M#04 e as atividades de perfurações dos poços auxiliares 27BD e 27CD, as quais ocorrem na mesma área física, limitando, assim, a alimentação de areia da planta UCR (Unidade de Carga Reduzida), responsável pelo enchimento da cavidade M#07.

Na tabela 33.3 passou a ser apresentado o volume injetado exclusivamente por meio da cavidade M#19D, a qual é conjugada com a cavidade M#07. A atividade de enchimento nesta cavidade foi iniciada no dia 19 de novembro de 2022, após o sistema Skid ter sido migrado para realizar a tentativa de injeção complementar da cavidade M#19D. Até o final do mês de dezembro de 2022 foram injetados um volume acumulado de 7.664,25m³ na cavidade M#19D via poço auxiliar 19AD, totalizando um percentual uma redução de volume efetiva de 91,78% da cavidade remanescente.

Durante o mês de março de 2023, o volume acumulado de areia injetada atingiu o 98% do volume da cavidade, superando o valor estimado pelas consultorias, que varia entre 65% a 80% do volume da cavidade, sendo assim, a cavidade atualmente já se encontra numa condição de estabilidade.

Ainda no mês de março de 2023, foram identificadas dificuldades operacionais para injeção de areia na cavidade M#07 devido às obstruções nos poços por areia e contrapressão da cavidade, condição compatível com o elevado percentual de preenchimento. Estas dificuldades indicam o


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 115	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

atingimento do limite técnico para o preenchimento. Diante deste cenário, a empresa passou a aguardar a confirmação da conclusão do preenchimento pelos consultores para formalização das evidências junto à Agência.

A tabela 33.4 mostra a redução do volume da cavidade entre os sonares e compara com o volume de areia injetado no mesmo período. Percebe-se que a relação entre o volume reduzido da cavidade e o volume injetado vem aumentando ao longo do tempo, em função, possivelmente, do enchimento de espaços vazios não visualizados pelo sonar.

Tabela 33.2 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#07

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Novembro/2020	10,43	10,43
Dezembro/2020	2.398,21	2.408,64
Janeiro/2021	4.331,96	6.740,60
Fevereiro/2021	5.204,35	11.944,95
Março/2021	6.915,63	18.860,58
Abril/2021	7.734,34	26.594,92
Maió/2021	15.484,25	42.079,17
Junho/2021	28.588,03	70.667,20
Julho/2021	21.334,49	92.001,69
Agosto/2021	31.068,60	123.070,29
Setembro/2021	31.088,90	154.159,18
Outubro/2021	34.495,30	188.654,48
Novembro/2021	7.319,80	195.974,28
Dezembro/2021	17.446,40	213.420,68
Janeiro/2022	30.455,80	243.876,48
Fevereiro/2022	38.033,40	281.909,88
Março/2022	13.998,90	295.908,78
Abril/2022	12.131,5	308.040,28
Maió/2022	12.469,7	320.509,98
Junho/2022	14.795,50	335.305,48
Julho/2022	19.737,90	355.043,38
Agosto/2022	14.380,30	369.423,68
Setembro/2022	17.485,60	386.909,28

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 116	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Outubro/2022	3.222,15	390.131,43
Novembro/2022	8,25	390.139,68
Dezembro/2022	198,00	390.337,68
Janeiro/2023	99,00	390.436,68
Fevereiro/2023	2.505,40	392.942,08
Março/2023	13.129,10	406.071,18

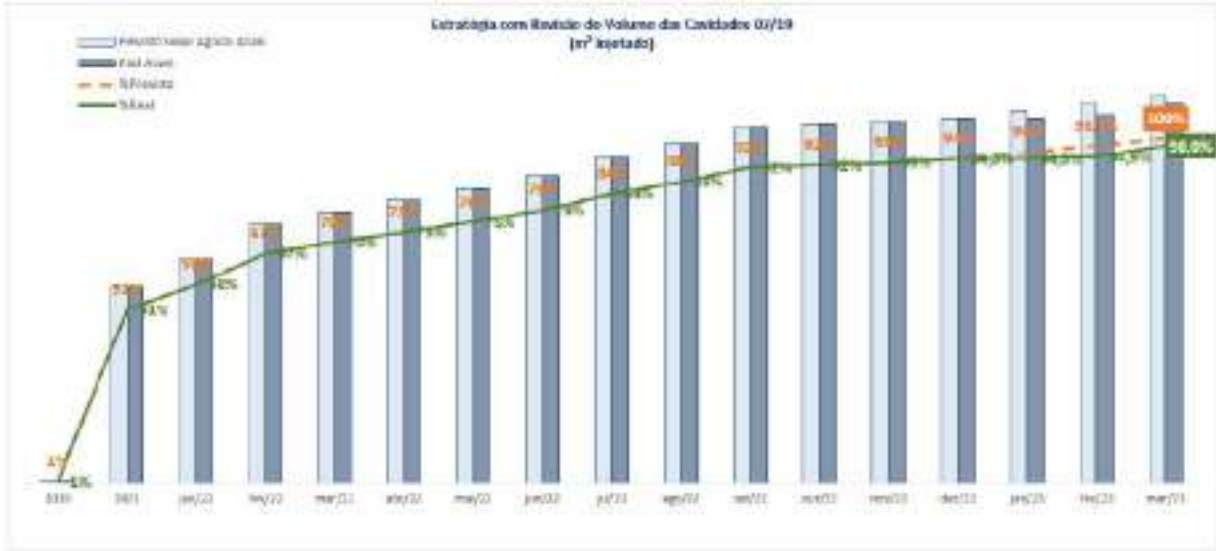
Tabela 33.3 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#19D

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Novembro/2022	2.811,60	2.811,60
Dezembro/2022	4852,65	7.664,25

Tabela 33.4 – Comparação entre a redução do volume da cavidade 7 e o volume injetado de areia

Data	Volume da cavidade medida por sonar (m³)	Redução do volume da cavidade entre as medições de sonar (m³)	Volume de areia injetado entre as medições de sonar (m³)	Relação entre o volume reduzido da cavidade e o volume injetado de areia
30/out/20	334.137,90	-	-	-
01/fev/21	333.850,90	287	6740,6	4,3%
03/mar/21	329.769	4.081,90	6.221,35	65,6%
25/jul/21	294.264	35.505	69.918,15	50,8%
12/ago/21	280.641	13.623	16.739,09	81,4%
21/out/21	205.882	74.759	73.801,20	101,3%
16/dez/21	191.094	14.788	22.553,90	65,6%
17/fev/22	136.754	54.340	67.258,80	80,8%
08/mar/22	107.233	29.521	27.659,70	106,7%
26/abr/22	95.508	11.725	15.783,30	74,28%
06/jun/22	76.233	19.275	24.161,10	79,77%
13/ago/22	48.267	27.966	31.169,50	89,72%
27/ago/22	46.444	1.823	5.849,40	31,16%
06/out/22	26.712	19.732	20.364,95	96,89%
22/mar/23	20.602	6.110	5.635,15	108,42%

Figura 14.1 – Curva de enchimento da cavidade M#07 ⁽¹⁾ e M#19D ⁽²⁾



Nota 1 – A curva foi revisada em função da mudança do sistema de injeção de areia


Nota 2 – Considerado o volume conjugado das cavidades de aproximadamente 400 mil m³, conforme relatório analítico

Informamos que o volume residual das cavidades 7/19, conjugadas, é cerca de 9.800 m³, considerando o volume injetado após a realização do último sonar, ocorrido em 22 de março de 2023, em versão preliminar, protocolado nesta Agência no dia 28/03/2023 (SEI 6836595).

Conforme informações apresentadas no relatório mensal protocolado em 15.04.2021, SEI nº 2409329 (fls. 80), esclarecimentos apresentados em reunião realizada com o GT em 29.04.2021 e respostas aos questionamentos solicitados por meio do Ofício 10474/2021, apresentadas no documento SEI nº 2518279 (fls. 81), e consideradas satisfatórias pelo GT, nos termos do Parecer Técnico nº 24/2021, a empresa havia informado que o cronograma previsto atenderia ao objetivo proposto, no entanto, não considerava eventuais impactos decorrentes de fatores intervenientes.

Neste sentido e, diante de intercorrências operacionais verificadas no processo de ramp-up do projeto, e da reavaliação da Sabine, no que diz respeito ao volume a ser preenchido nas cavidades 7/19, bem como a paralisação das atividades devido ao evento microssísmico, o cronograma foi atualizado, atendendo ao disposto no item 2 do Ofício nº 1262/2022 conforme SEI 3392734.

Cumpramos esclarecer, em resposta ao questionamento sobre as perdas de fluido no processo de enchimento no interior da cavidade 7/19, que o projeto de enchimento considerou, como uma das possibilidades, que a cavidade teria um comportamento estanque, estimando que a vazão de retorno de salmoura seria equivalente ao somatório da vazão volumétrica de areia e da salmoura injetada, não considerando, portanto, processos de compactação da areia no interior da cavidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 118	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

No entanto, a região da cavidade onde ocorre o processo de injeção está localizada por volta 700 m de profundidade, completamente fora da camada salina e dentro de formações geológicas porosas. Esta condição impede que a cavidade seja hidráulicamente isolada do meio no qual está inserido. Por este motivo, durante o processo de injeção de areia da cavidade 7/19 foi observado que cerca de 25% da salmoura não retorna até superfície, e este volume é aproximadamente igual ao volume de areia injetado.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, é pouco provável que haja migração deste fluido para zonas superiores, como já explicado pelo BRGM (SEI 2104513) e IfG (SEI 2287472), devido à presença de camadas argilosas que intercalam as formações geológicas porosas, bem como ao fato de a massa específica do fluido contido na cavidade ser maior do que da água, cenário que, hidráulicamente, dificulta a migração ascendente do fluido.


No dia 22 de outubro de 2022, as atividades de injeção de areia na frente de lavra M#07 foram suspensas temporariamente devido à problemas operacionais de fornecimento de areia, retomando às atividades em 19 de novembro de 2022.

No dia 13 de dezembro de 2022 o processo de injeção de areia na cavidade M#19, que estava sendo realizado por meio do poço auxiliar 19AD foi interrompido. O poço apresentou indícios de retorno de salmoura e pressurização, onde, após a interrupção do processo, foi realizado o exame de sonar, o qual confirmou um volume remanescente de apenas 632,6m³.

Conforme Parecer Técnico nº 03/2023/GT-SAL/SFI-ANM/DIRC, no qual restou atestado que o preenchimento das cavidades das frentes de lavra M#07/19 foi finalizado, com percentuais de preenchimento superiores a 90% e que essas Frentes de Lavra já estão aptas para o tamponamento definitivo dos acessos, a Braskem informa que já iniciou os estudos em conjunto com a consultoria especializada *Sabine Storage & Operations* (SSO) para adotar as melhores práticas, na medida do razoavelmente possível, para a realização dos tamponamentos definitivos destes acessos. Essa Agência será atualizada tão logo essas práticas sejam adotadas.

Em julho de 2023 foi realizado o tamponamento do poço original M#07. Complementarmente, no mês de agosto de 2023, foi realizado o tamponamento do poço auxiliar 07AD e, em setembro de 2023, foi concluído tamponamento do poço auxiliar 07BD.

Considerando que foram concluídos os tamponamentos dos poços M#07 original e dos auxiliares 07AD e 07BD, a Frente de Lavra M#07 possui todos os seus poços tamponados. As próximas etapas consistem na remoção completa das cabeças dos poços e conclusão das etapas de descomissionamento e arrasamento.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 119	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O detalhamento da operação e o desenho esquemático do tamponamento será descrito no Relatório Final de Execução do Plano de Fechamento desta Frente de Lavra que será apresentado tão logo concluído.

5.8 FRETE DE LAVRA M#08

Conforme informado por meio do SEI nº 3103729, em 13/10/2021 foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.


Foi informado anteriormente que a empresa apresentaria o cronograma de execução das medidas descritas no plano de fechamento aprovado. Desse modo, foi inserido no capítulo 08 (item 8.3) o referido Cronograma de execução.

Os tamponamentos dos poços relativos à frente de lavra M#08 fazem parte da execução do seu plano de fechamento, e a evidência dos tamponamentos realizados foi devidamente apresentada no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra (ver. 01) apresentado por meio do SEI 5468043, protocolado no dia 16/11/2022.

5.9 FRETE DE LAVRA M#09 - ATUALIZADO

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 18 de maio de 2021 por meio da construção do poço de mapeamento 09CD, que foi finalizado no dia 06 de julho de 2021 em 915m de profundidade. Após a conclusão, o poço 09CD foi tamponado e iniciou-se o side-track do poço 09DD para dar início a interceptação. Durante o mês de agosto de 2021, foi aberta a janela no revestimento do poço original entre as profundidades de 907,45 a 913,77m e acessada por meio do poço de interceptação. O acesso foi estabelecido e iniciou-se o processo de tamponamento do poço utilizando a técnica de hidrojateamento do revestimento do poço original, porém ao realizar a manobra para descer a coluna que iria realizar a cimentação, não foi possível adentrar no poço original através da janela.

Após diversas tentativas de acessar o interior do revestimento de 9 5/8" sem sucesso, foi constatado que a presença dos revestimentos de 7" e 4 1/2" dentro do poço original tornou o acesso ao poço original extremamente difícil. Diante disto, a Braskem, juntamente com a consultoria Syngular, optaram por realizar um tampão temporário de superfície no poço interceptador (55,7m) e suspender, temporariamente, as atividades de fechamento nesta frente de lavra. A consultoria estava avaliando a melhor forma de acessar o interior do revestimento para realizar um tamponamento efetivo do poço,

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 120	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

tendo concluído pela recomendação de utilização da mesma técnica de fechamento das frentes de lavra M#28D e M#12, ou seja, injeção do tampão de cimento.

A operação para o tamponamento do poço original M#09 foi iniciada no dia 24 de março de 2023. A primeira etapa do tamponamento do poço original M#09 e do poço interceptador 09CD, foi finalizada no dia 24 de abril de 2023. Esta etapa consistiu em tamponar o poço original da base da janela até o topo da cavidade e o complemento "m "U" entre esses dois poços.


Entre os dias 16 e 19 de abril de 2023, foi realizada intervenção no poço auxiliar 09BD, para verificação das condições mecânicas. Este poço auxiliar seria o poço o qual seria realizada a instalação do piezômetro, porém, foram identificados danos no poço, o qual inviabilizam a instalação do equipamento por meio deste acesso. Um novo poço auxiliar deverá ser construído para este objetivo, com previsão para ocorrer no segundo semestre de 2023.

Durante os dias 10 e 11 de maio de 2023 foi realizada uma tentativa de remoção do revestimento de superfície do poço original M#09, visando o tamponamento definitivo da porção superior do poço, porém por dificuldades técnicas encontradas, esta operação será replanejada. A Braskem está aguardando a manutenção do equipamento de corte de revestimento para dar continuidade à atividade. Após a conclusão dos tamponamentos, as cabeças dos poços serão devidamente removidas e será realizada etapa final de descomissionamento. Todo o processo foi descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, apresentado por meio do SEI nº 7957822.

Conforme Parecer Técnico ANM, nº 03/2023 /GT-SAL/SFI-ANM/DIRC, foi solicitado uma atualização relacionada ao prazo para atualização do exame de sonar desta frente de lavra. Devido ao poço remanescente 09BD ter sido encontrado com empenos que impossibilitaram a instalação do piezômetro, um novo poço terá que ser construído para a realização do exame de sonar. Esta nova perfuração está prevista para o mês de agosto de 2023 e contemplará o sonar da frente de lavra conjugada M#09/M#12.

Em agosto de 2023 iniciou-se o tamponamento do poço auxiliar 09BD. Os primeiros tampões foram realizados, tendo como próximas etapas a conclusão do tamponamento, além do descomissionamento e arrasamento do poço. O detalhamento da operação e o desenho esquemático do tamponamento será descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra que será apresentado tão logo concluído.

Em outubro de 2023 foi iniciada a perfuração do poço 09ED. Este novo poço permitirá o monitoramento da cavidade conjugada M#09/12 por meio de piezômetro, além de viabilizar a realização dos exames de sonar. A perfuração deste poço foi interrompida em 23/11 devido à

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 121	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

suspensão preventiva das atividades em decorrência da sensibilização de alertas microssísmicos e DGPS na área de concentração das operações de fechamento.

No mês de janeiro de 2024, as atividades relacionadas a perfuração do poço 09ED continuaram paralisadas, em decorrência da ocorrência do colapso da cavidade M#18. O poço 09ED fornecerá acesso a cavidade conjugada M#09/12. Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla a continuidade das atividades de perfuração do poço auxiliar 09ED com intuito de acessar à cavidade conjugada 09/12, sendo a atividade de perfuração precedida de ações pré-operacionais relacionadas a inspeção e manutenção de equipamentos da sonda. As atividades serão retomadas tão logo autorizadas pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.


Em março de 2024 foi finalizada a perfuração do poço auxiliar 09ED. Ao acessar a cavidade observou-se que a mesma não está pressurizada. Diante desta informação, alguns testes serão realizados nos próximos meses no poço original 9 e no poço auxiliar 12AD, a fim de confirmar a possibilidade de pressurização da cavidade, ocasião em que esta Agência será atualizada.

5.10 FRENTE DE LAVRA M#10 - ATUALIZADO

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 28 de maio de 2021 por meio da construção do poço auxiliar 10AD. No dia 23 de junho de 2021, a construção do poço foi finalizada na profundidade final de 915m e se encontra apto para a instalação do piezômetro. Vale ressaltar, que o poço original da frente de lavra M#10 já está tamponado.

Entre os dias 02 e 18 de agosto de 2021, foi realizada a instalação do piezômetro na frente de lavra M#10 por meio do poço auxiliar 10AD. O processo de instalação do piezômetro foi concluído no dia 18 de agosto de 2021, registrando uma pressão e temperatura de cavidade de 125,84 bar e 51,94°C, respectivamente.

Conforme comunicado apresentado à Agência em 07.07.2022 (SEI 4456749), em razão das condições climáticas e dos eventos chuvosos que assolaram a região de Maceió/AL, houve a necessidade de suspensão temporária das atividades de fechamento em curso, até o restabelecimento das condições de segurança na área, dentre elas, o monitoramento de pressão e temperatura da frente de lavra M#10. Com o objetivo de preservar a integridade dos piezômetros, foi sugerido pelo fabricante

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 122	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

do equipamento o desligamento temporário das fontes de alimentação de energia. Os equipamentos permaneceram desligados entre os dias 03 e 13 de julho de 2022, retornando à operação, indicando parâmetros similares aos registrados anteriormente ao desligamento.

As atividades de complemento do tamponamento do poço original M#10 foram realizadas entre os dias 16 e 28 de julho de 2022. Foi apresentado em 15/08/2022 por meio do SEI 4750794, o relatório do andamento das atividades de fechamento da frente de lavra M#10.

Entre os dias 05 e 11 de março de 2023 foi realizada a operação de inspeção da frente de lavra M#10, via poço auxiliar 10AD. Esta inspeção contemplou a avaliação da integridade e da tortuosidade do poço auxiliar, bem como a condição da cavidade e o funcionamento do equipamento de piezômetro para medição de pressão e temperatura. Foi constatado que a cavidade se encontra numa condição de estabilidade e o poço auxiliar 10AD não apresenta deformações significantes.


Após a conclusão da inspeção, foram retirados quatro tubos da coluna, com o objetivo de remover o piezômetro de dentro da cavidade e o posicionar dentro do poço revestido. Esta ação teve como objetivo proteger o equipamento de eventuais deslocamentos que pudessem vir a danificar o sensor. Esta ação foi similar à que já havia sido feito na frente de lavra M#10. O piezômetro foi reinstalado na profundidade de 896,08m, dentro do revestimento de 7". As pressões apresentadas no capítulo 6 deste relatório já contemplam o fator de correção para a igualar à profundidade anterior.

A consultoria especializada Sabine Storage and Operations (SSO) está avaliando quais os próximos passos para esta frente de lavra. A cavidade segue sendo monitorada.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, devido à proximidade da Frente de Lavra M#10 com a região do colapso da cavidade 18, a realização de inspeção e sonar no poço auxiliar 10AD e sua respectiva cavidade, que serão realizados tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.

Durante o mês de março de 2024 foram realizadas as operações de inspeção do poço 10AD e piezômetro da cavidade M#10. Após identificar deformações em diversos pontos do poço 10AD, o piezômetro, anteriormente posicionado em 896 m, foi inspecionado e reinstalado de forma preventiva na profundidade 423,7 m. Maiores detalhes dos resultados da inspeção do poço estão no capítulo 6.2.9.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 123	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

5.11 FRETE DE LAVRA M#11 - ATUALIZADO

As ações de fechamento desta frente de lavra estão em fase de execução. Por meio do SEI nº 3855206, protocolado em 06/04/2022, foi apresentado o Projeto de enchimento das cavidades atualizado, elaborado pela Brandt e respectivo cronograma que está sendo incluído no Capítulo 8.2 deste relatório, atendendo ao item 02 do Ofício 7369/2022/GER-AL/ANM.

A perfuração do poço 11CD foi iniciada no dia 27 de agosto de 2022 e finalizada no dia 01 de outubro de 2022. Após a conclusão da perfuração do poço 11CD, foi iniciada a perfuração do poço 11BD no dia 13 de outubro de 2022 e finalizado no dia 14 de novembro de 2022. Em paralelo à perfuração do poço auxiliar 11BD, o tamponamento do poço original M#11 foi realizado em novembro de 2022.

As atividades de tamponamento do poço original M#11 foram realizadas entre os dias 11 e 15 de novembro de 2022. O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra. Este processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado à Agência por meio do SEI 5804917, protocolado no dia 16/12/2022.

Durante o mês de dezembro de 2022 foram realizadas as montagens das linhas de superfície e do sistema Skid para realização do enchimento da cavidade M#11. A montagem foi concluída no dia 31 de dezembro de 2022. O início das atividades aguardava a emissão da licença ambiental, expedida pelo órgão responsável no mês de janeiro de 2023.

O sonar realizado em 16 de novembro de 2022, por meio do poço auxiliar 11BD, revelou um volume inicial de 100.580m³, conforme documento protocolado na Agência por meio do SEI 5843974, em 21/12/2022.

O processo de enchimento da cavidade da frente de lavra M#11, foi iniciado no dia 20 de janeiro de 2023, por meio do poço auxiliar 11CD, após conclusão da etapa do teste de injetividade.

Até o final do mês de agosto de 2023 foram injetados um volume total acumulado de 89.107,50m³ de areia, conforme indicado na Tabela 33.5.

Tabela 33.5 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#11

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Janeiro/2023	3.367,50	3.367,50
Fevereiro/2023	7.215,00	10.582,50
Março/2023	20.475,00	31.057,50
Abril/2023	21.897,50	52.955,00

Maio/2023	13.782,50	66.737,50
Junho/2023	10.180,00	76.917,50
Julho/2023	7.157,50	84.075,00
Agosto/2023	5.032,50	89.107,50


Figura 14.2 – Curva de enchimento da cavidade M#11 (base sonar)



O próximo passo consiste na realização de um sonar para avaliar o topo e volume de preenchimento na frente de lavra M#11. Para tanto, é necessário aguardar cerca de 30 dias para que ocorra a decantação da areia no interior da cavidade, visto que sólidos em suspensão podem diminuir a qualidade dos resultados ou até impedir a realização do sonar. Essa Agência será atualizada quando realizado. Em outubro de 2023, após aguardar o período para a decantação da areia no interior da cavidade, foi realizado um novo exame de sonar na Frente de Lavra M#11 (SEI nº 9818832).

O volume acumulado de areia injetada atingiu os 97,2% do volume da cavidade, superando o valor estimado pelas consultorias que varia entre 65% a 80% do volume da cavidade, conforme indicado na atualização do Plano Executivo de Fechamento das Frentes de Lavra pelo Método de Enchimento (SEI nº 3855200), sendo assim, pode-se considerar que atualmente a cavidade já se encontra numa condição de estabilidade.

Em novembro de 2023 foi iniciado o tamponamento do poço auxiliar 11AD, tendo sido realizado parcialmente, com aplicação do último plug de cimento com topo checado em 651 m. As atividades de tamponamento no poço 11AD foram paralisadas preventivamente no dia 06/11/2023, quando

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 125	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

funcionários e prestadores de serviço foram retirados do local, devido à sequência de eventos microssísmicos concentrada nas áreas 3 e 4 (próxima à planta de enchimento), iniciada na referida data. Será dada continuidade ao tamponamento do poço 11AD, quando da retomada de forma segura das atividades na área.


No mês de janeiro de 2024, as atividades relacionadas ao tamponamento do poço 11AD continuam paralisadas temporariamente, em decorrência da ocorrência do colapso da M#18. Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla a continuidade do plano de fechamento da frente de lavra M#11, no que diz respeito à inspeção dos poços auxiliares 11BD e 11CD. Além da atividade de inspeção, será realizado um novo sonar da cavidade para entender a sua geometria atual, antes que sejam retomadas as atividades de fechamento. As atividades serão retomadas tão logo autorizadas pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.

Considerando o sonar realizado no mês de março de 2024, que identificou o volume residual na cavidade de 15.322,0 m³, sem prejuízo das medidas já executadas, será realizada uma última tentativa de injeção de areia para eventual complemento do volume remanescente desta cavidade, caso se apresente como tecnicamente viável.

5.12 FRENTE DE LAVRA M#12 - ATUALIZADO

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 03 de janeiro de 2022 por meio da construção do poço auxiliar 12BD para mapeamento/interceptação. No dia 02 de fevereiro de 2022, a perfuração do poço foi finalizada em 897,0m de profundidade, então cimentado. No dia 14 de fevereiro de 2022, foi iniciado a construção do *sidetrack* para o poço interceptador 12CD numa profundidade de 805m. A interceptação do poço original da frente de lavra M#12 foi realizada na profundidade de 884,3m estendendo a abertura da janela até a profundidade de 887,35m, posteriormente alargada até 888,0. Após a abertura da janela, foram realizadas diversas tentativas de acessar a parte interna o revestimento de 9 5/8", porém sem sucesso. A presença dos revestimentos de 7" e 4 1/2" dificultaram o acesso para a realização do tamponamento do poço.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 126	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Diante disto, a Braskem, juntamente com a consultoria Syngular, optaram por realizar um tampão temporário de superfície no poço interceptador e suspender, temporariamente, as atividades de fechamento nesta frente de lavra.

Em virtude desta limitação tecnológica, as frentes de lavra que se encontram com revestimentos de 7" e 4 ½" no interior do poço original, iriam demandar a aplicação de uma nova técnica de intervenção que estava sendo desenvolvida e, tão logo possível, esta Agência seria atualizada.

No dia 21 de novembro de 2022 foi observada uma leve pressurização na cabeça do poço original da frente de lavra M#12, alcançando um valor de 4 kgf/cm², o que sugere que a cavidade está em condição estanque e que ao concluir os tamponamentos dos poços originais M#12 e M#09, as cavidades teriam uma influência positiva na estabilização do maciço. O poço original ainda está pendente de tamponamento, porém já foi interceptado.


A Braskem estava avaliando a melhor técnica a ser aplicada neste poço utilizando o mesmo processo de tamponamento da frente de lavra M#28D, o que foi concluído no dia 18 de janeiro de 2023 e validado pela consultoria especializada Syngular.

No dia 04 de fevereiro de 2023, a sonda HH-01 da empresa Tucano iniciou as operações de condicionamento para realizar o tamponamento do poço original da frente de lavra M#12, por meio do poço auxiliar interceptador 12CD. A primeira etapa do tamponamento do poço original M#12 e do poço interceptador 12CD foi finalizada no dia 07 de março de 2023, ficando pendente apenas o tamponamento da porção superior de ambos os poços, que dependia de uma adequação de nivelamento da área, as quais foram realizadas.

Durante o mês de maio de 2023, foram realizados os tampões complementares de superfície dos poços original e auxiliar M#12 e 12CD, respectivamente. O poço auxiliar 12CD teve seu tamponamento completo realizado entre os dias 03 e 10 de maio de 2023, enquanto o poço original M#12 foi tamponado entre os dias 15 e 18 de maio de 2023.

Após a conclusão dos tamponamentos dos poços original M#12 e auxiliar 12CD, as cabeças dos poços foram devidamente removidas e estão aguardando a etapa final de descomissionamento. Todo processo foi descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, protocolado em 15/08/2023 (SEI nº 8810625).

Conforme Parecer Técnico ANM, nº 03/2023 /GT-SAL/SFI-ANM/DIRC, foi solicitado uma atualização relacionada ao prazo para atualização do exame de sonar desta frente de lavra. Devido ao poço remanescente 09BD (cavidade conjugada com a cavidade M#12) ter sido encontrado com empenos que impossibilitaram a instalação do piezômetro, um novo poço será construído para a

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 127	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

realização do exame de sonar. Esta nova perfuração contemplará o sonar da frente de lavra conjugada M#09/M#12.

Em outubro de 2023 foi iniciada a perfuração do poço 09ED. Este novo poço permitirá o monitoramento da cavidade conjugada M#09/12 por meio de piezômetro, além de viabilizar a realização dos exames de sonar. A perfuração deste poço foi interrompida em 23/11 devido à suspensão preventiva das atividades em decorrência da sensibilização de alertas microssísmicos e DGPS na área de concentração das operações de fechamento.


No mês de janeiro de 2024, as atividades relacionadas a perfuração do poço 09ED continuaram paralisadas, em decorrência da ocorrência do colapso da cavidade M#18. O poço 09ED fornecerá acesso a cavidade conjugada M#09/12. Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla a continuidade das atividades de perfuração do poço auxiliar 09ED com intuito de acessar à cavidade conjugada 09/12, sendo a atividade de perfuração precedida de ações pré-operacionais relacionadas a inspeção e manutenção de equipamentos da sonda. As atividades serão retomadas tão logo autorizadas pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.

Em março de 2024 foi finalizada a perfuração do poço 09ED. Ao acessar a cavidade, que é conjugada com a cavidade M#12, observou-se que a mesma não está pressurizada. Diante desta informação, alguns testes serão realizados nos próximos meses no poço original 9 e no poço auxiliar 12AD, a fim de confirmar a possibilidade de pressurização da cavidade, ocasião em que esta Agência será atualizada.

5.13 FRENTE DE LAVRA M#13

As atividades de fechamento da frente de lavra M#13 estão em execução. A primeira etapa do processo de fechamento foi o tamponamento do poço original, seguido pela construção do poço auxiliar M#13AD. Entretanto, em função dos eventos observados nas frentes de lavra M#30D e M#32, os sistemas de medição de pressão e temperatura (piezômetros) ainda não foram instalados dentro da cavidade, pois aguardam a execução das modificações recomendadas pela verificação realizada, conforme cronograma descrito na figura 48 do capítulo 8.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 128	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram retomadas no dia 25 de junho de 2021, por meio da construção do side-track 13BD, oriundo do poço auxiliar 13AD. Esse desvio foi realizado devido à necessidade de interceptar a cavidade em um ponto onde tivesse um vão livre suficiente para realizar a instalação do piezômetro.

No dia 12 de julho de 2021 foi iniciado o side-track após o término do condicionamento e preparação do tampão de cimento do poço 13A. O poço 13BD foi iniciado no dia 12 de julho e interceptou a cavidade no dia 22 de julho de 2021. Iniciou-se então a preparação para a realização do sonar que foi concluído no dia 25 de julho de 2021. Após a conclusão do sonar, o poço foi cimentado temporariamente no dia 28 de julho de 2021.


Entre os dias 25 de setembro 19 de outubro de 2021, foi realizada a instalação do piezômetro na frente de lavra M#13 por meio do poço auxiliar 13BD. O processo de instalação do piezômetro foi concluído no dia 19 de outubro de 2021, registrando uma pressão e temperatura de 125,23 BAR e 53,13°C, respectivamente na profundidade de 911,0m TVD. O piezômetro foi instalado dentro do revestimento de 7" para mitigar os riscos de danos mecânicos ao equipamento.

No relatório de execução que foi apresentado, conforme SEI nº 3238835, identificou-se uma necessidade de ajuste nas datas mencionadas no relatório, motivo pelo qual foi reapresentada uma nova versão, conforme SEI nº 3621455.

Conforme comunicado apresentado em 07.07.2022 (SEI 4456749), em razão das condições climáticas e dos eventos chuvosos que assolaram a região de Maceió/AL, houve a necessidade de suspensão temporária das atividades de fechamento em curso, até o restabelecimento das condições de segurança na área, dentre elas, dentre elas, o monitoramento de pressão e temperatura da frente de lavra M#13. Com o objetivo de preservar a integridade dos piezômetros, foi sugerido pelo fabricante do equipamento o desligamento temporário das fontes de alimentação de energia. Os equipamentos permaneceram desligados entre os dias 03 e 13 de julho de 2022, retornando à operação, indicando parâmetros similares aos registrados anteriormente ao desligamento.

As atividades de complemento do tamponamento do poço original M#13 foram realizadas entre os dias 29 e 31 de agosto de 2022 e, o relatório do andamento das atividades de fechamento da frente de lavra M#13 foi protocolado no dia 15/09/2022, SEI 4993909.

Entre os dias 12 e 25 de março de 2023 foi realizada a operação de inspeção da frente de lavra M#13. Esta inspeção contemplou a avaliação da integridade e da tortuosidade do poço, bem como a condição da cavidade e o funcionamento do equipamento de piezômetro para medição de pressão e temperatura. Baseado nos resultados do sonar, foi constatado que a cavidade se encontra numa condição de estabilidade, porém foram identificadas deformações nas tubulações ao longo do

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 129	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

poço, ocasionando trechos de redução de diâmetro, o que impossibilitou o posicionamento do piezômetro na mesma profundidade anterior.

O piezômetro foi reinstalado na profundidade de 398,0m, dentro do revestimento de 7", cuja profundidade foi alterada devido à essas deformações de diâmetro encontradas no revestimento. As pressões da cavidade apresentadas no capítulo 6 deste relatório já contemplam o fator de correção para a igualar à profundidade anterior.

Em julho/2023, foi possível observar, através do monitoramento utilizando piezômetro, uma leve redução nos valores de pressão na frente M#13. Após inspeção em campo, verificou-se um pequeno gotejamento na válvula agulha da árvore de natal que pode ser a causa da redução observada nos valores de pressão. Entre os dias 29 e 31 de agosto de 2023 o gotejamento observado na válvula agulha da árvore de natal foi sanado por meio de um reparo na estrutura da válvula. Em setembro de 2023, foi possível observar a retomada da pressurização, após cessado o gotejamento.

A consultoria especializada Sabine Storage and Operations (SSO) está avaliando quais os próximos passos para o fechamento desta frente de lavra. A cavidade segue sendo monitorada.

5.14 FRENTE DE LAVRA M#14


Conforme informado por meio do SEI nº 3103729, em 13/10/2021 foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício nº 1262/2022.

Em atendimento ao solicitado por meio do Ofício nº 12114/2022/GER-AL/ANM, itens 03 e 04, ressaltamos que os poços da frente de lavra M#14 foram selecionados em função da baixa complexidade e de sua localização nas áreas operacionais (mobilização de equipamentos/atividades em poços adjacentes) para a atividade de tamponamento em caráter experimental para desenvolvimento do Cronograma.

O descomissionamento dessa frente de lavra será realizado conforme procedimento atualmente sugerido pela consultoria especializada, no qual será soldada uma tampa cega no topo do revestimento na superfície, mantendo-se o revestimento no nível da superfície e preenchendo-se/cimentando o poço a partir de aproximadamente 400m, até a superfície. Neste caso, em específico ressalta-se que não há espaço anular a ser preenchido dentro do poço.

As atividades de tamponamento do poço 14DD foram realizadas entre os dias 25 de fevereiro e 09 de março de 2022, cujo relatório do andamento das atividades de fechamento foi protocolado nesta Agência no dia 12/04/2022, por meio do SEI 3886769.

A primeira etapa do tamponamento do poço original M#14 foi iniciada no dia 30/04/2023, com a realização de um teste de injetividade realizado pela empresa SLB, após confirmação de fluxo foi

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 130	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

bombeado o primeiro tampão de cimento via *bullhead* com 135bbl de pasta. O topo do tampão foi checado após a cura, sendo encontrado a 213m de profundidade, com sua base estimada em 749m de profundidade.

A Braskem aguardou uma janela de parada operacional da planta de injeção de areia da frente de lavra M#11, circunvizinha ao poço M#14, para mobilizar a sonda de *workover* SPT-88 da empresa CONTERP para realização do tamponamento complementar do poço original M#14. Entre os dias 13 e 14 de maio de 2023 foram realizados os tampões complementares de cimento que deixaram o topo do cimento no nível do solo. Este processo foi descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, apresentado por meio do SEI nº 7957823. Com a conclusão do tamponamento do poço original M#14, todos os poços que davam acesso à cavidade da frente lavram M#14 foram tamponados. A versão final do relatório será apresentada após a conclusão da etapa de descomissionamento.


5.15 FRETE DE LAVRA M#15

Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovação pela ANM (Ofício 6808/2021).

O tamponamento do poço original M#15, que dava acesso à frente de lavra M#15 ocorreu entre os dias 14 e 18 de fevereiro de 2023. O processo de tamponamento está descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, apresentado por meio do SEI nº 7318886.

5.16 FRETE DE LAVRA M#16 - ATUALIZADO

A perfuração do poço auxiliar interceptador 16BD foi iniciada no 05 de setembro de 2021 e perfurou até a profundidade de 324m, porém, devido a um desvio na trajetória, foi necessário cimentar um trecho perfurado e realizar um side-track em 140m. O novo poço, a partir do ponto de desvio, passou a se chamar 16CD. O poço auxiliar 16CD, foi concluído em 21 de outubro de 2021 e foi utilizado para mapear a trajetória e os danos no revestimento do poço original da frente de lavra M#16. Após a conclusão do mapeamento, um trecho do poço 16CD foi cimentado tendo sido iniciado o side-track para efetuar a interceptação. O poço original da frente de lavra M#16 foi interceptado pelo poço auxiliar 16DD no dia 21 de novembro de 2021, realizando a abertura da janela de 918,9m à 923,0m de profundidade, possibilitando o acesso pleno ao poço original e o tamponamento entre 494m e 946m.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 131	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

As atividades de intervenção no poço auxiliar 16AD para condicionamento e preparação para instalação do piezômetro foram iniciadas no dia 12 de janeiro de 2022, se estendendo até o dia 07 de março de 2022. A empresa realizou o tamponamento temporário do poço auxiliar 16AD e, devido às dificuldades encontradas de se obter a estanquidade na região próxima à cavidade, a Braskem, juntamente com a consultoria Syngular, optou por promover a vedação mecânica do poço por meio de um *packer*, cuja instalação está prevista para maio de 2022.

No dia 27 de maio de 2022, houve a instalação de um *packer* de poço aberto, inserido no poço auxiliar 16AD na profundidade de 1012,0m. Após a instalação do primeiro *packer*, foram realizadas perfilagens para verificar a existência de fluxo descendente remanescente acima do *packer*. Os resultados das perfilagens revelaram que não existe fluxo descendente para a cavidade por meio do poço 16AD, confirmando assim, o isolamento deste poço com a cavidade. Além disso, foram realizadas cimentações complementares acima do anteparo mecânico (*packer*) para permitir a criação de uma barreira física adicional entre o poço e a cavidade.


A atividade de tamponamento do poço auxiliar 16AD foi interrompida temporariamente no dia 05 de julho de 2022. Devido aos insucessos nos tamponamentos complementares buscando preencher o poço com cimento até a sapata do revestimento de 9 5/8", a consultoria optou por realizar um tampão de superfície e avaliar a melhor técnica para acessar a cavidade para instalar o piezômetro.

A equipe técnica da Braskem, juntamente com a consultoria especializada estava avaliando o melhor local para a perfuração de um novo poço auxiliar, o qual já foi selecionado. Este contratempo acarretou o atraso da instalação do piezômetro nesta frente de lavra que estava previsto para ser concluído no dia 30 de setembro de 2022.

Entre os dias 12 e 22 de dezembro de 2022 foi realizado o complemento de superfície do tamponamento do poço original M#16, devido ao sucesso da operação de interceptação e tamponamento da base deste poço, o qual já havia sido realizado.

As atividades de tamponamento deste poço original M#16 foram realizadas entre os dias 12 e 22 de dezembro de 2022. O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra. Este processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado à Agência por meio do SEI 6289914, protocolado junto a essa Agência no dia 26/01/2023.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, a perfuração de poço para acesso à cavidade 16, para que seja realizado monitoramento via piezômetro ou sonar, sendo a perfuração desse poço essencial e classificada como prioritária. A perfuração será realizada tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 132	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024.

Após a retomada das atividades de fechamento, a sonda designada para perfuração do poço 16FD já se encontra no local e o processo de perfuração do poço foi iniciado.

5.17 FRENTE DE LAVRA M#17

O projeto conceitual da perfuração dos poços para o processo de enchimento, elaborado pela empresa WEP, foi apresentado como anexo ao relatório mensal do mês de junho de 2021, conforme SEI nº 2761846.

Durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2021 foram construídos os dois novos poços auxiliares (17BD e 17CD) para acessar à frente de lavra M#17, conforme projeto de enchimento desta cavidade.


O processo de enchimento da cavidade foi iniciado no dia 21 de janeiro de 2022, após a conclusão de todas as etapas de instalação e montagem dos equipamentos de superfície.

Entre os meses de janeiro e setembro de 2022 foram injetados um volume acumulado de 242.473,85m³ de areia, conforme indicado na Tabela 33.5. Os sonares recorrentes realizados na cavidade M#17 revelaram uma redução do volume efetivo de 211.400m³, entre janeiro e setembro de 2022, conforme sonares devidamente protocolados na Agência.

No dia 13 de abril de 2022, durante a atividade de limpeza/remoção de areia existente na parte interna do tubo que reveste o poço 17BD foi identificado o retorno de parte dessa salmoura para área externa do poço.

Após o evento, foi realizada uma avaliação para determinar a causa raiz que originou o influxo. Um exame de sonar foi realizado, em caráter investigativo, com o intuito de eliminar a possibilidade de ter sido um deslocamento de um bloco no interior da cavidade, cuja hipótese foi descartada após avaliação do sonar. As avaliações realizadas indicaram que o fato gerador do influxo foi um desbalanço hídrico ocasionado pela operação dessincronizada entre as bombas de injeção e produção de salmoura da cavidade, provocando um diferencial de pressão que ao retornar o sistema ao equilíbrio, possivelmente gerou um influxo temporário de salmoura.

Entre os dias 06 e 08 de setembro de 2022 foi observado um comportamento peculiar durante o processo de enchimento que motivou a paralisação da injeção de areia, conforme descrito a seguir. O poço 17AD, no qual estava sendo realizado o bombeamento da salmoura proveniente da cavidade,

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 133	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

começou a apresentar uma redução significativa da vazão de salmoura, bem como redução no nível dinâmico do poço, fato que impossibilitou prosseguir com as operações. No dia 15 de setembro de 2022 foi realizado um exame de sonar, onde foi constatado um enchimento efetivo de 96,0% da cavidade. Após o sonar, observou-se que a perda da eficiência da bomba seria decorrente do poço de captação de salmoura estar completamente dentro da parte preenchida da cavidade.

No dia 21/10/2022 foi protocolado junto à Agência o (SEI 5289016) o Relatório Analítico da frente de lavra M#17, elaborado pela consultoria Sabine Storage & Operations, no qual avaliou-se a situação de enchimento da frente de lavra e concluiu que a cavidade se encontra tecnicamente preenchida.

Diante da impossibilidade técnica de continuar realizando a injeção, a equipe técnica Braskem optou por interromper a atividade para avaliar o cenário com as consultorias especializadas. A Braskem solicitou, adicionalmente, parecer técnico a ser elaborado pelas consultorias especializadas em Plano de Fechamento, para que seja obtida a confirmação do status de conclusão do enchimento e recomendação para a conclusão do fechamento desta frente de lavra.

A Braskem protocolou no dia 1 de dezembro de 2022 junto a esta Agência (SEI 5696111), em complemento ao protocolo realizado em 21.10.2022 (SEI nº 5289017), em que foi apresentado o relatório analítico da Sabine (SEI nº 5289016), o qual concluiu que a cavidade M#17 se encontra tecnicamente preenchida, os Relatórios Técnicos emitidos pelas consultorias especializadas Brandt e WEP, os quais concluem, adicionalmente ao já descrito no relatório analítico da Sabine, pela finalização do enchimento da cavidade M#17 com areia e afirmam que não há propósito técnico em preencher o pequeno volume remanescente da cavidade visto que o mesmo não oferece risco ao desenvolvimento de *sinkhole* ou contribuição mensurável para a subsidência.

Diante dos fatos, a Braskem, juntamente com as consultorias especializadas reiteram que os resultados obtidos via sonar demonstram um enchimento de 96,1 % do volume inicial, valor acima ao inicialmente estimado. Assim, em havendo concordância desta Agência, iniciará as próximas etapas para o descomissionamento desta frente de lavra, a partir do tamponamento e arrasamento dos poços.

A tabela 33.5 mostras a redução do volume da cavidade entre os sonares e compara com o volume de areia injetado no mesmo período. Percebe-se que a relação entre o volume reduzido da cavidade e o volume injetado vem aumentando ao longo do tempo, em função, possivelmente, do enchimento de espaços vazios não visualizados pelo sonar.


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 134	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Tabela 33.5 – Comparação entre a redução do volume da cavidade 17 e o volume injetado de areia

Data	Volume da cavidade medida por sonar (m³)	Redução do volume da cavidade entre as medições de sonar (m³)	Volume de areia injetado entre as medições de sonar (m³)	Relação entre o volume reduzido da cavidade e o volume injetado de areia
05/jan/22	222.362	-	-	-
19/abr/22	182.635	-39.727	51.476	77,17%
26/mai/22	130.965	-51.670	56.688	91,15%
05/jul/22	83.492	-47.473	56.232	84,42%
19/ago/22	26.572	-56.920	62.723	90,74%
06/set/22	8.603	-17.969	14.470	124,18%
15/set/22	10.969	+2.366 ⁽¹⁾	885,00	267,34%

*Nota ⁽¹⁾: O incremento de volume se deve à acomodação da pilha, no qual permitiu a visualização de uma porção lateral que no sonar realizado em 06 de setembro de 2022 estava com a visada oculta.

Tabela 33.6 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#17

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Janeiro/2022	85,50	85,50
Fevereiro/2022	12.196,10	12.281,6
Março/2022	38.542,30	50.823,9
Abril/2022	27.429,35	78.253,25
Mai/2022	35.333,00	113.586,25
Junho/2022	50.809,80	164.396,05
Julho/2022	41.777,80	206.173,85
Agosto/2022	30.760,00	236.933,85
Setembro/2022	5.540,00	242.473,85

Cumpra esclarecer que ainda será realizada na frente de lavra M#17 a última perfilagem visando verificação da altura da pilha de areia em seu interior, medida proposta pela consultoria SSO, como evidência final do enchimento. Esta verificação seria realizada tão logo seja possível remover a estrutura de tanques da sonda OIL-127 da empresa GreatOil, que está perfurando o poço 27CD na mesma localidade. Estima-se realizar esta perfilagem no mês de março de 2023.

Figura 14.2 – Curva de enchimento da cavidade M#17⁽¹⁾



Nota 1 – A curva foi revisada em função da alternância entre os sistemas de injeção de areia de menor capacidade para o de maior capacidade.


As atividades de tamponamento do poço auxiliar 17AD foram realizadas entre os dias 02 e 07 de fevereiro de 2023.

O tamponamento do poço original M#17, que dava acesso à frente de lavra M#17 ocorreu entre os dias 01 e 12 de março de 2023.

O tamponamento do poço auxiliar 17CD, que dava acesso à frente de lavra M#17 ocorreu entre os dias 06 e 11 de abril de 2023. Este processo está descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, apresentado por meio do SEI nº 7318887.

Adicionalmente, a Braskem realizou a última verificação da compactação da altura da pilha entre os dias 12 e 13 de abril de 2023, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO), e encontrou o topo da pilha de areia no interior da cavidade, na mesma posição anterior, na profundidade de 744m.

Dessa forma, considerando que não houve alteração na altura da pilha bem como que conforme Relatórios Técnicos emitidos pelas consultorias especializadas Brandt e WEP, os quais concluem, adicionalmente ao já descrito no relatório analítico da Sabine, pela finalização do enchimento da cavidade M#17 e, tendo em vista o ajustado em reunião realizada com o GT e ANM nos dias 28 e 29 de março de 2023, a Braskem aguarda posicionamento da Agência para iniciar as próximas etapas para o descomissionamento da frente de lavra M#17, com o tamponamento e arrasamento do último acesso remanescente à Frente de Lavra, conforme solicitado por meio do SEI nº 5696111, protocolado em 01/12/2022.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 136	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Conforme Parecer Técnico ANM, nº 03/2023/GT-SAL/SFI-ANM/DIRC, no qual restou atestado que o preenchimento da cavidade da frente de lavra M#17 foi finalizado, com percentuais de preenchimento superiores a 90% e que essa Frente de Lavra já se encontra apta para o tamponamento definitivo do último acesso, a Braskem informa que já iniciou os estudos em conjunto com a consultoria especializada *Sabine Storage & Operations* (SSO) para adotar as melhores práticas, na medida do razoavelmente possível, para a realização do tamponamento definitivo deste último acesso. Essa Agência será atualizada tão logo essas práticas sejam adotadas.

Foi realizado em agosto de 2023, o tamponamento do poço auxiliar 17BD, último acesso à frente de lavra M#17. As próximas etapas consistem na remoção completa das cabeças dos poços e conclusão das etapas de descomissionamento e arrasamento.

O detalhamento da operação e o desenho esquemático do tamponamento será descrito no Relatório Final de Execução do Plano de Fechamento desta Frente de Lavra que será apresentado tão logo concluído.

5.18 FRENTE DE LAVRA M#18D


Conforme SEI nº 3855206, protocolado em 06/04/2022, foi apresentado o Projeto de enchimento das cavidades atualizado, incluindo as ações de fechamento da frente de lavra M#18, elaborado pela Brandt e respectivo cronograma que foi incluído no Capítulo 8.2 deste relatório, atendendo ao item 02 do Ofício 7369/2022/GER-AL/ANM.

Devido à limitação de acesso via poço original e a decisão de preencher a cavidade da frente de lavra M#18D, foram perfurados dois novos poços auxiliares 18AD e 18CD para o processo e enchimento da cavidade.

No dia 22 de março de 2023, foram iniciadas as atividades para a perfuração do poço auxiliar 18BD, com a finalidade de realizar o enchimento da cavidade M#18D.

A perfuração do poço 18BD foi concluída no dia 26 de maio de 2023, porém devido à dificuldade de visualização completa da cavidade no ponto acessado inicialmente por meio do referido poço, ele foi parcialmente tamponado e realizado um *side-track* com o objetivo de interceptar a cavidade na porção superior, o que possibilitou uma melhor visualização da porção superior da frente de lavra conforme mencionado no Capítulo 2.2 deste relatório. A perfuração desse *side-track* 18CD foi concluída no dia 12 de junho de 2023.

A perfuração do segundo poço auxiliar 18AD foi realizada entre os dias 18 de junho e 29 de julho de 2023. Este poço completou o par injeção/recuperação de salmoura para o processo de *backfilling* desta frente lavra M#18D.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 137	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Conforme indicado no item 8.2.2, Figura 24 – Cronograma do fechamento das frentes de lavra por enchimento – Backfilling II, deste relatório, o início da injeção de areia da cavidade M#18 estava previsto para ocorrer no dia 25.11.2023.

Durante o mês de dezembro/23, houve a continuidade do envio das atualizações dos dados de monitoramento (realizado diariamente), por meio de e-mail e protocolo junto ao processo SEI, além de envios semanais com periodicidade máxima de sete dias, dos Relatórios Complementares de Atualização, que apresentam as informações consolidadas sobre a situação do evento ocorrido na cavidade M#18 e seu acompanhamento, protocolados no processo minerário (SEI 10486247, 10528870, 10634503, 10706064 e 10764521).


Conforme já é de pleno conhecimento desta Agência, a qual foi devidamente comunicada no início da tarde do dia 10.12.2023 (SEI nº10522732), às 13h15 daquela data (10.12.23), foi observada pela câmera fixa instalada na área de operação da Braskem situada próximo ao antigo hospital José Lopes, uma movimentação atípica na água da Lagoa Mundaú, que indicou movimento no solo sob a Lagoa (colapso da cavidade 18), tendo sido as imagens compartilhadas de forma imediata com esta Agência e demais órgãos competentes, à medida que foram coletadas. Posteriormente, ainda no dia 10.12.2023, foi protocolado junto esta Agência (10522838), um resumo das atualizações sobre os dados de monitoramento do solo, até o momento do protocolo referenciado.

Nos dias que se sucederam, em continuidade aos informes sobre sensibilização de alertas microssísmicos e DGPS enviados a ANM por meio de contatos telefônicos, correspondências eletrônicas e reunião, foi protocolado junto ao SEI, diariamente, um resumo das atualizações do dia sobre os dados de monitoramento do solo.

Conforme citado no capítulo 4, item 4.18, estão em curso análises junto aos especialistas para o melhor entendimento do evento e consequente reavaliação do plano de fechamento dessa frente de lavra.

A partir do acompanhamento periódico de imagens aéreas utilizando um veículo aéreo não tripulado (VANT), constatou-se que, após o colapso da M#18, houve a perda do acesso ao poço não tamponado M#18D localizado nas proximidades do evento. A estratégia de tamponamento desse poço será avaliada pelas consultorias especializadas.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, a realização de inspeção e remoção dos equipamentos nos poços 18AD e 18CD, que permitiam o acesso à cavidade 18. A inspeção nos poços poderá elucidar informações relacionadas as alterações de deformação no revestimento, temperatura, Raios Gama e outros perfis relevantes para verificar possíveis impactos nos poços. As atividades serão realizadas tão logo o retorno das atividades seja

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 138	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado.

Após a retomada das atividades, foram realizadas campanhas de inspeção nos poços 18AD e 18CD durante os meses de fevereiro e março/2024. Os resultados das campanhas demonstraram que ambos os poços estão íntegros e que não houve alteração no revestimento.

5.19 FRENTE DE LAVRA M#19D

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas por meio do enchimento das cavidades conjugadas 07/19. No entanto, a consultoria Sabine recomendou a perfuração de um poço auxiliar para a confirmação do status do enchimento da porção equivalente à cavidade 19. O início da perfuração do poço 19AD está previsto para o mês de maio de 2022.

No dia 24 de maio de 2022 foram iniciadas as atividades para a perfuração do poço auxiliar 19AD. O objetivo da perfuração deste poço auxiliar é a confirmação do status de enchimento da cavidade M#19D. No dia 26 de maio as atividades foram paralisadas devido às condições climáticas.


A perfuração do poço 19AD foi interrompida novamente entre os dias 03 e 18 de julho de 2022, em razão de condições climáticas adversas que assolaram a região.

As atividades de perfuração foram retomadas no dia 19 de julho de 2022, concluindo as atividades no dia 28 de julho. Após a conclusão da perfuração, foi realizado um exame de sonar no qual revelou um volume 7.705m³ na frente de lavra M#19D. Ainda que seja um volume pouco representativo a Braskem optou por realizar a tentativa de enchimento deste volume remanescente, já que toda a infraestrutura necessária se encontra disponível.

No dia 24 de outubro de 2022 foram iniciadas as atividades de montagem e preparação do sistema de enchimento da frente de lavra M#19D via poço auxiliar 19AD. A Braskem optou por realizar a tentativa de enchimento do volume remanescente.

Após o término da etapa de comissionamento das linhas de injeção, no dia 19 de novembro de 2022 foi iniciado o processo de enchimento com areia do volume remanescente da cavidade M#19D. O processo foi iniciado após retomada do fornecimento de areia que havia sido suspenso temporariamente, conforme devidamente comunicado a esta Agência (SEI 5396579).

A tabela 33.7 abaixo, indica o volume total injetado durante o mês de dezembro de 2022 na cavidade M#19D, por meio do poço auxiliar 19AD. O poço apresentou indícios de retorno de fluido pelo

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 139	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

espaço anular e incremento de pressão, estes sinais fizeram com que o processo de injeção fosse interrompido, indicando uma possível condição máxima de enchimento tecnicamente viável.

Tabela 33.7 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#19D

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Novembro/2022	2.811,60	2.811,60
Dezembro/2022	4.852,65	7.664,25

As atividades de tamponamento do poço original M#19D foram realizadas entre os dias 05 e 11 de janeiro de 2023. O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra. Este processo foi descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado à Agência por meio do SEI 6503279, protocolado no dia 13/02/2023.


Conforme Parecer Técnico ANM, nº 03/2023 /GT-SAL/SFI-ANM/DIRC, no qual restou atestado que o preenchimento da cavidade da frente de lavra M#19D foi finalizado, com percentuais de preenchimento superiores a 90% e que essa frente de lavra já está apta para o tamponamento definitivo do último acesso, a Braskem informa que já iniciou os estudos em conjunto com a consultoria especializada *Sabine Storage & Operations* (SSO) para adotar as melhores práticas, na medida do razoavelmente possível, para a realização do tamponamento definitivo deste último acesso. Essa Agência será atualizada tão logo essas práticas sejam adotadas.

Em outubro de 2023 foi realizado o tamponamento do poço auxiliar 19AD. As próximas etapas consistem na remoção completa das cabeças dos poços e conclusão das etapas de descomissionamento e arrasamento.

O detalhamento da operação e o desenho esquemático do tamponamento será descrito no Relatório Final de Execução do Plano de Fechamento desta Frente de Lavra que será apresentado tão logo concluído.

5.20 FRENTE DE LAVRA M#20D

Devido à obstrução encontrada no poço 20D, não foi possível realizar o monitoramento regular por meio de sonar nesta cavidade. Por isso, um poço auxiliar foi construído entre os dias 26 de fevereiro e 29 de março de 2022. Este novo poço permitiu a visualização tanto da cavidade de M#20D quanto da cavidade M#21D, passando a fornecer em um único sonar as dimensões de ambas as cavidades.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 140	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Após a criação do novo acesso à frente de lavra, foi reestabelecido a continuidade do monitoramento da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovado pela ANM (Ofício 6808/2021).

Entre os dias 12 e 25 de janeiro de 2023 foi realizado o tamponamento do poço original M#20D, que dava acesso à frente de lavra M#20D. Este tamponamento é parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra, cujo processo está descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, protocolado no dia 14.04.2023 (SEI nº 7006695).

A partir do acompanhamento periódico de imagens aéreas utilizando um veículo aéreo não tripulado (VANT), constatou-se que, após o colapso da M#18, o poço 20D já tamponado e arrasado está submerso.

No dia 20/01/2024 foi realizada uma inspeção no poço 20AD e um novo sonar na cavidade conjugada M#20/21, devido à proximidade com a cavidade M#18. A inspeção no poço coletou informações relacionadas as alterações de deformação no revestimento, temperatura, raios Gama e outros perfis relevantes para verificar possíveis impactos no poço. Enquanto a campanha de sonar permitiu verificar se houve alguma variação na geometria da cavidade.


De acordo com o resultado das perfilagens, não foram observadas alterações significativas no poço, assim como no exame de sonar, conforme consta no relatório preliminar de campo (*field*) (SEI 11137840) bem como no relatório final do exame de sonar (SEI 11332149) realizado, protocolados junto à essa Agência.

5.21 FRETE DE LAVRA M#21D

Após a criação do novo acesso à frente de lavra via poço 20AD, que contemplou simultaneamente as cavidades M#20D e M#21D, foi possível visualizar a zona oculta que detectada nos sonares anteriores, tornando possível a visualização de toda a abóboda do teto referente à cavidade da frente de lavra M#21D.

As atividades de tamponamento do poço original M#21D foram iniciadas no dia 21 de outubro de 2022, porém foram interrompidas no dia 25 de outubro de 2022 devido às questões operacionais. As atividades foram retomadas e, entre os dias 02 e 07 de dezembro de 2022 foi realizado o tamponamento do poço original M#21D, tendo em vista que os danos observados devido as movimentações das camadas geológicas, o que poderiam comprometer a estanqueidade do poço e eventualmente provocar um possível rompimento.

As atividades de tamponamento do poço original M#21D foram realizadas entre os dias 21 de outubro e 07 de dezembro de 2022. O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 141	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

fechamento desta frente de lavra. Este processo foi descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, apresentado por meio do SEI 6105348, protocolado em 16/01/2023.

No dia 20/01/2024 foi realizada uma inspeção no poço 20AD e um novo sonar na cavidade conjugada M#20/21, devido à proximidade com a cavidade M#18. A inspeção no poço coletou informações relacionadas as alterações de deformação no revestimento, temperatura, raios Gama e outros perfis relevantes para verificar possíveis impactos no poço. Enquanto a campanha de sonar permitiu verificar se houve alguma variação na geometria da cavidade.

De acordo com o resultado das perfilagens, não foram observadas alterações significativas no poço, assim como no exame de sonar, conforme consta no relatório preliminar de campo (*field*) (SEI 11137840) bem como no relatório final do exame de sonar (SEI 11332149) realizado, protocolados junto à essa Agência.

5.22 FRETE DE LAVRA M#22


A perfuração do poço auxiliar interceptador 22BD foi iniciada no 04 de setembro de 2021 e finalizado no dia 29 de outubro. A interceptação do poço da frente de lavra M#22 aconteceu à profundidade em MD do poço auxiliar à 845,35m até 849,65m. O tampão de cimento dessa frente de lavra foi posicionado e testado na profundidade 882,62m dentro do poço original, isolando a cavidade do poço. A próxima etapa do processo de fechamento dessa frente de lavra é a instalação do piezômetro, cuja atividade ocorrerá através do poço auxiliar da frente de lavra M#23, haja vista que as cavidades estão conjugadas.

Este poço auxiliar será integralmente tamponado para garantir a condição de estanqueidade para a instalação do piezômetro via poço auxiliar 23BD, conforme condição de interligação mencionada anteriormente.

No cronograma de atividades, estava prevista a conclusão das operações deste poço para o dia 17 de julho de 2022, porém, em decorrência de problemas operacionais, as atividades precisaram ser interrompidas por quase 30 dias.

As atividades de tamponamento do poço 22AD foram realizadas entre os dias 29 de junho e 01 de agosto de 2022, e o relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra foi protocolado nesta Agência no dia 02.09.2022 por meio do SEI 4885184.

Entre os dias 19 e 27 de outubro de 2022 foi realizado o complemento de superfície do tamponamento do poço original M#22, devido ao sucesso da operação de interceptação e tamponamento da base deste poço, o qual já havia sido realizado.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 142	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra, e o processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado à Agência por meio do SEI 5659346, protocolado no dia 30/11/2022.

A perfuração do poço auxiliar 23DD que permitirá a instalação piezômetro na frente de lavra conjugada M#22/M#23 que estava programada para ser realizada no mês de maio de 2023, necessitou ser replanejada devido à necessidade de disponibilidade de uma janela operacional de sonda. A referida atividade estava prevista para ocorrer em setembro de 2023, mas precisou ser suspensa temporariamente em decorrência das manifestações que impediram o acesso as áreas de fechamento. As datas das atividades serão atualizadas por meio do cronograma.

Em outubro de 2023 foi elaborado o projeto e programa de perfuração para o poço 23DD. Em paralelo, no mesmo mês foi realizada uma campanha de sondagem SPT para estudo do solo no local do posicionamento da sonda.


Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, a perfuração de poço para acesso à cavidade conjugada 22/23, para que seja realizado monitoramento via piezômetro ou sonar, sendo a perfuração desse poço essencial e classificada como prioritária. A perfuração será realizada tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

5.23 FRETE DE LAVRA M#23

A perfuração do poço auxiliar interceptador 23CD foi iniciada no 03 de novembro de 2021. A primeira fase do poço de diâmetro 17 ½" foi perfurada e revestida com 13 3/8" até a profundidade de 443,0m. A perfuração da segunda fase de diâmetro 12 ¼" foi iniciada no dia 15 de novembro e finalizada no dia 28, numa profundidade de 810,0m.

As atividades de fechamento do poço original desta frente de lavra foram concluídas no 20 de dezembro de 2021. Foram realizados os tampões de cimento, conforme previsto no plano de fechamento apresentado. O relatório de execução do fechamento desta frente de lavra será apresentado, tão logo, seja realizado a instalação do piezômetro no poço auxiliar 23BD.

Entre os dias 26 de novembro e 01 de dezembro de 2022 foi realizado o complemento de superfície do tamponamento do poço original M#23, devido ao sucesso da operação de interceptação e tamponamento da base deste poço já realizado.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 143	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra, e o processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado à Agência por meio do SEI 6047941, protocolado no dia 06/01/2023.

A perfuração do poço auxiliar 22DD que permitirá a instalação piezômetro na frente de lavra conjugada M#22/M#23 que estava programada para ser realizada no mês de maio de 2023, porém esta perfuração necessitou ser replanejada devido à necessidade de disponibilidade de uma janela operacional de sonda. A referida atividade estava prevista para ocorrer em setembro de 2023, mas precisou ser suspensa temporariamente em decorrência das manifestações que impediram o acesso as áreas de fechamento. As datas das atividades serão atualizadas por meio do cronograma.

Em outubro de 2023 foi elaborado o projeto e programa de perfuração para o poço 23DD, que permitirá a instalação piezômetro na frente de lavra conjugada M#22/M#23. Em paralelo, no mesmo mês foi realizada uma campanha de sondagem SPT (Standard Penetration Test) com o intuito de avaliar as condições de sustentação do solo no local em que será posicionada a sonda.


Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, a perfuração de poço para acesso à cavidade conjugada 22/23, para que seja realizado monitoramento via piezômetro ou sonar, sendo a perfuração desse poço essencial e classificada como prioritária. A perfuração será realizada tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

5.24 FRETE DE LAVRA M#24D

Conforme informado por meio do SEI nº 3103729, em 13/10/2021 foi apresentado o Plano de Fechamento para esta frente de lavra o qual teve a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício 1262/2022.

Em atendimento ao solicitado por meio do Ofício nº 12114/2022/GER-AL/ANM, itens 03 e 04, ressaltamos que um dos poços da frente de lavra M#24 foi selecionado em função da baixa complexidade e de sua localização nas áreas operacionais (mobilização de equipamentos/atividades em poços adjacentes) para a atividade de tamponamento em caráter experimental para desenvolvimento do Cronograma.

O descomissionamento dessa frente de lavra será realizado conforme procedimento atualmente sugerido pela consultoria especializada, no qual será soldada uma tampa cega no topo do revestimento na superfície, mantendo-se o revestimento no nível da superfície e cimentando o poço a

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 144	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

partir de aproximadamente 400m, até a superfície. Neste caso, em específico ressalta-se que não há espaço anular a ser preenchido dentro do poço.

Durante o mês de março de 2022 foram realizadas tentativas de posicionamento do primeiro tampão de base no poço 24AD para a realização do tamponamento, porém sem sucesso. A empresa optou por paralisar as atividades neste poço, temporariamente, para buscar uma solução efetiva para a realização da atividade de fechamento junto às empresas especializadas.

No dia 20 de maio de 2022 foi iniciada a perfuração do poço TM-04, utilizado para concluir a campanha de tomografia sísmica da frente de lavra M#24D. No dia 25 de maio a perfuração foi paralisada devido às condições climáticas.

A perfuração do poço TM-04 que havia sido retomada em 02/07/2022, foi interrompida novamente entre os dias 03 e 16 de julho de 2022, em razão de condições climáticas adversas que assolaram a região. A perfuração foi retomada no dia 17 de julho e finalizada no dia 16 de agosto de 2022.

As atividades de tamponamento do poço auxiliar 24CD foram iniciadas no dia 25 de outubro de 2022 e finalizadas em 01 de novembro de 2022. O outro poço auxiliar 24AD foi tamponado entre os dias 04 e 07 de novembro de 2022.


Entre os dias 01 e 08 de abril, o poço auxiliar TM-04, utilizado para concluir a campanha de tomografia sísmica da frente de lavra M#24D, foi tamponado, com o arrasamento do poço por completo, devido à conclusão dos estudos complementares relacionados à Vertical Seismic Profile (VSP) e Tomografia Sísmica, protocolados em 09.01.2023 (SEI nº 6058252). O relatório de tamponamento deste poço, contendo o descritivo das atividades realizadas será apresentado tão logo seja concluído.

Os tamponamentos dos poços relativos à frente de lavra M#24 fazem parte da execução do seu plano de fechamento e a evidência dos tamponamentos realizados até o momento foi devidamente apresentada no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra (Rev. 01), apresentado por meio do SEI 5709537, protocolado no dia 05/12/2022.

5.25 FRENTE DE LAVRA M#25D - ATUALIZADO

Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovado pela ANM (Ofício 6808/2021).

As ações de fechamento desta frente de lavra estão em fase de planejamento conforme informado por meio do SEI nº 3855206, protocolado em 06/04/2022, no qual foi apresentado o Projeto

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 145	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de enchimento das cavidades atualizado, elaborado pela Brandt e respectivo cronograma que está sendo incluído no Capítulo 8.2 deste relatório, atendendo ao item 02 do Ofício 7369/2022/GER-AL/ANM.

Para execução do Plano de Fechamento desta cavidade, que pertence ao grupo de enchimento, estava prevista a perfuração de dois novos acessos visando possibilitar o seu enchimento.

Nesse sentido, foi apresentado por meio do SEI nº 4521075, relatório elaborado pela consultoria WEP denominado “Drilling access holes to mine 25”, com a sua respectiva tradução (SEI 4521076), o qual contempla os pontos de interceptação dos dois poços na cavidade.

A perfuração do primeiro poço 25CD para o sistema de backfilling foi iniciada no dia 28 de outubro de 2022 e finalizado no dia 27 de novembro de 2022. Entre os dias 17 de dezembro de 2022 e 25 de janeiro de 2023 foi concluída a perfuração do segundo poço para o sistema de backfilling, denominado 25DD. Estes poços possibilitarão a realização do enchimento da cavidade M#25D.

Foram realizados os tamponamentos de dois acessos remanescente à frente de lavra M#25D. O poço original M#25D entre os dias 17 e 23 de novembro 2022 e o poço 25AD entre os dias 25 e 29 de novembro de 2022.

O tamponamento destes poços faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra, e o processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado por meio do SEI 5947897, protocolado no dia 28/12/2022.


As obras de instalação e montagem da planta do sistema de Backfilling II que será utilizada na frente de lavra M#25D foram finalizadas no mês de março de 2023.

O sonar realizado em 19 de janeiro de 2023, em versão preliminar, por meio do poço auxiliar 25CD, revelou um volume inicial de 177.197m³, conforme documento protocolado nesta Agência no dia 23/01/2023 (SEI 6241901).

Por questões operacionais decorrentes das chuvas que vinham atingindo o estado de Alagoas e a cidade de Maceió, que causaram impacto no fornecimento de areia para o processo de enchimento das cavidades, durante o mês de junho de 2023 a Braskem priorizou as atividades de enchimento na frente de lavra M#11, não realizando injeção na frente de lavra M#25D. A situação foi normalizada a partir do mês de agosto de 2023.

Em setembro/2023 o enchimento precisou ser novamente paralisado em razão das recentes manifestações realizadas por alguns manifestantes que impediram os acessos nas áreas de concentração das atividades de fechamento das frentes de lavra, conforme informado em documento protocolado em 14/09/2023 (SEI nº 9218945).

O processo de enchimento da cavidade da frente de lavra M#25D, foi iniciado no dia 17 de março de 2023, por meio do poço auxiliar 25CD, após conclusão da etapa de comissionamento. Em

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 146	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

novembro de 2023, previamente à suspensão das atividades, foi injetado um volume total de 17.262,50 m³ de areia, totalizando um valor acumulado de 80.397,50 m³, conforme indicado na Tabela 33.8.

No mês de janeiro de 2024, as atividades relacionadas ao enchimento da cavidade 25 continuaram paralisadas, em decorrência da ocorrência do colapso da cavidade M#18. Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla a continuidade do plano de fechamento da frente de lavra M#25, no que diz respeito à inspeção dos poços auxiliares 25BD e 25CD. Além da atividade de inspeção, será realizado um novo sonar da cavidade para entender a sua geometria atual, antes que sejam retomadas as atividades de fechamento. As atividades serão retomadas tão logo autorizadas pelos órgãos competentes e em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado. Após retomada das atividades, no mês de fevereiro/2024 foram realizadas campanhas de inspeção nos poços auxiliares 25BD e 25CD, além do exame de sonar na cavidade 25. Os resultados das campanhas demonstraram que ambos os poços estão íntegros e que não houve alteração no revestimento.

Após a realização do exame de sonar e avaliação das inspeções nos poços auxiliares 25BD e 25CD, as atividades de backfilling retornaram no dia 24/02/2024 com carga de injeção reduzida.

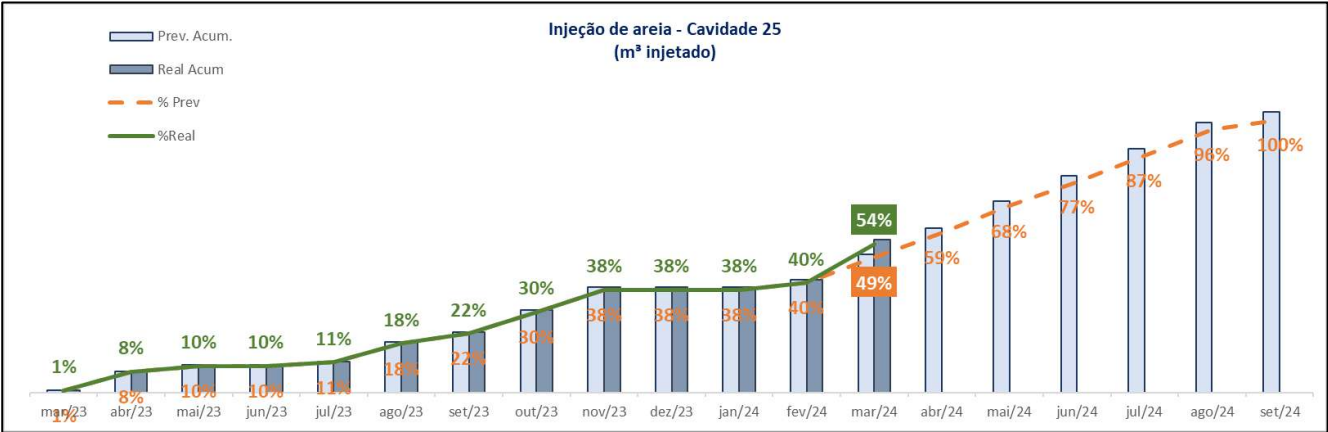
No mês de março/2024 foram injetados 30.540,00 m³ de areia, totalizando um acumulado injetado de 116.280,50 m³ na cavidade 25.

Tabela 33.8 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#25D

	Injetado (m³)	Acumulado (m³)
Março/2023	1.447,50	1.447,50
Abril/2023	14.630,00	16.077,50
Maior/2023	4.655,00	20.732,50
Junho/2023	-	20.732,50
Julho/2023	2.752,50	23.485,00
Agosto/2023	14.767,50	38.252,50
Setembro/2023	7.787,50	46.040,00
Outubro/2023	17.095,00	63.135,00
Novembro/2023	17.262,50	80.397,50

Fevereiro/2024	5.343,00	85.740,50
Março/2024	30.540,00	116.280,50

Figura 14.3 – Curva de enchimento da cavidade M#25D (base sonar).




5.26 FRETE DE LAVRA M#26D

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 27 de março de 2021, logo após a realização do sonar. Ao finalizar o corte do tampão de cimento da referida frente de lavra, foi percebido um influxo de fluido proveniente do poço M#26A, caracterizando uma cavidade pressurizada. Diante desta informação, a equipe técnica Braskem optou por antecipar o programa de fechamento da M#26D de acordo com o cronograma apresentado no Capítulo 8 (figura 48) apresentado à ANM em 15.03.2021 (SEI nº 2303877).

Durante o mês de abril de 2021 foram realizados os procedimentos de amortecimento da cavidade e instalação do equipamento de piezômetro. O processo de instalação do piezômetro foi concluído no dia 30 de abril de 2021, registrando uma pressão e temperatura de cavidade de 144,22 bar e 45,58°C, respectivamente. O relatório executivo do fechamento desta frente de lavra referente à instalação de piezômetro será apresentado após a execução do tamponamento do poço original.

As atividades de perfuração do poço de interceptação para o tamponamento do poço original foram iniciadas no dia 03 de abril de 2022. Entretanto, devido ao evento de desnivelamento da sonda, as atividades foram temporariamente paralisadas, conforme informado a esta Agência por meio dos protocolos realizados (SEI 3878634 e 3970536).

As atividades de substituição do piezômetro da frente de lavra M#26D estavam programadas, de forma antecipada, para o mês de junho de 2022, porém devido ao choque de atividades de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 148	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

tamponamento realizadas no poço circunvizinho 22AD, não foi possível realizar a atividade até a data anteriormente prevista.

A substituição do piezômetro da frente de lavra M#26D que estava programada para ser realizada após a instalação do piezômetro na frente de lavra M#35D, foi iniciada no dia 22 de novembro de 2022 e finalizada no dia 22 de dezembro de 2022. As leituras de pressão e temperatura já estão sendo apresentadas no capítulo 6 deste relatório.

O relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, contendo o descritivo das atividades realizadas durante instalação será apresentado tão logo seja concluído.

As atividades de perfuração do novo poço de interceptação 26FD para o tamponamento do poço original M#26D foram iniciadas no dia 11 de maio de 2023. Entretanto, devido ao evento de desnivelamento da sonda, as atividades foram temporariamente paralisadas, conforme informado a esta Agência por meio do protocolo realizado (SEI 7549791).


A Braskem iniciou, no dia 01 de junho de 2023, a remoção dos equipamentos utilizados na perfuração do poço 26FD, devido ao desnivelamento ocorrido, estas atividades de remoção foram finalizadas no dia 26 de junho de 2023. Novas avaliações estão sendo realizadas para retomada das operações de perfuração de um novo poço de interceptação e, em paralelo, a Braskem vêm realizando estudos adicionais da região considerando os desnivelamentos já ocorridos na área os quais foram comunicados à ANM.

Por meio do SEI 12023119 foi apresentado o Memorial Descritivo de Investigação GPR na Area 5 cujos dados subsidiaram o Relatório de Investigação relacionado ao evento de desnivelamento da sonda da Tucano 01 no poço 26FD apresentado por meio do SEI (11406183).

Em setembro de 2023 foi concluído o processo de inspeção que estava sendo realizado no poço auxiliar 26DD. Após a inspeção do poço, o piezômetro foi reposicionado na profundidade de 919,02 m (TVD). O reposicionamento do piezômetro precisou ser realizado em uma profundidade mais rasa, devido ao fato de não ter sido possível utilizar o mesmo ponto de emenda na superfície, ocasião em que foi necessário realizar uma nova emenda numa porção mais inferior do cabo do equipamento, encurtando o mesmo. A mudança no posicionamento não impacta nas medições que já estão sendo realizadas e relatadas no capítulo 6 deste relatório.

5.27 FRENTE DE LAVRA M#27D – ATUALIZADO

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 23 de fevereiro de 2021, com a etapa de perfuração do poço auxiliar M#27AD, cujo objetivo era de acessar a cavidade da frente de lavra M#27 para a instalação do piezômetro. A perfuração foi concluída no dia 24 de março

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 149	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de 2021 e sua execução foi realizada de acordo com o programa, porém, ao adentrar a cavidade, encontrou-se uma cavidade despressurizada. Diante desse cenário, a nova condição da cavidade está sendo reavaliada conforme fluxo definido no documento denominado fluxograma de fechamento das frentes de lavra apresentado. Adicionalmente, a SSO avaliou as especificidades envolvendo esta frente de lavra de acordo com a condição verificada para indicar eventuais ações adicionais porventura necessárias.

Conforme previsto, o exame de sonar foi realizado e as imagens demonstram que a cavidade se encontra dentro da camada salina, embora despressurizada.

Conforme informações já apresentadas e, de acordo com as conclusões e recomendações apresentadas pela consultoria, tendo em vista a condição de despressurização da cavidade identificada na ocasião da execução do fechamento com piezômetro, a frente de lavra M#27 deixou de fazer parte do grupo de fechamento com piezômetro (Grupo 1) e passou a integrar o grupo de enchimento (Grupo 3), conforme aprovação pela Gerência Regional.


As ações de fechamento desta frente de lavra estão em fase de planejamento conforme informado por meio do SEI nº 3855206, protocolado em 06/04/2022, no qual foi apresentado o Projeto de enchimento das cavidades atualizado, elaborado pela Brandt e respectivo cronograma que está sendo incluído no Capítulo 8.2 deste relatório, atendendo ao item 02 do Ofício 7369/2022/GER-AL/ANM.

As atividades de tamponamento do poço original M#27D foram realizadas entre os dias 15 e 22 de setembro de 2022. O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra. Este processo foi devidamente descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado à Agência por meio do SEI 5334118, protocolado no dia 27/10/2022.

No dia 11 de novembro de 2022 foi iniciada a perfuração do poço auxiliar 27BD e finalizada no dia 15 de janeiro de 2023. Este poço será utilizado com a finalidade de realizar o enchimento da cavidade M#27D. Sequencialmente, foi iniciada a perfuração do segundo poço auxiliar 27CD para completar o par de poços do sistema de backfilling desta cavidade. A perfuração do segundo poço auxiliar 27CD foi iniciada no dia 23 de janeiro e finalizada no dia 12 de março de 2023.

As atividades de preparação e montagem das linhas para início do Backfilling II desta frente de lavra foram finalizadas no mês de abril de 2023.

Por questões operacionais decorrentes das chuvas que atingiram o estado de Alagoas e a cidade de Maceió nos últimos meses, que causaram impacto no fornecimento de areia para o processo de enchimento das cavidades, a Braskem priorizou as atividades de enchimento na frente de lavra

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 150	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

M#11, não realizando injeção na frente de lavra M#27D durante o mês de junho, julho e agosto de 2023. As atividades de enchimento da frente de lavra M#27D foram retomadas em setembro de 2023.

Porém, ainda em setembro/2023, o enchimento precisou ser novamente paralisado em razão das recentes manifestações realizadas que impediram os acessos nas áreas de concentração das atividades de fechamento das frentes de lavra, conforme informado em documento protocolado em 14/09/2023 (SEI nº 9218945).

O processo de enchimento da cavidade da frente de lavra M#27D, foi iniciado no dia 19 de abril de 2023, por meio do poço auxiliar 27CD, após conclusão da etapa de comissionamento. Em novembro de 2023, previamente à suspensão das atividades, foi injetado um volume total de 3.702,50 m³ de areia, totalizando um valor acumulado de 34.362,60 m³, conforme indicado na Tabela 33.9.

No mês de janeiro de 2024, as atividades relacionadas ao enchimento da cavidade 27 continuaram paralisadas, em decorrência da ocorrência do colapso da cavidade M#18. Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla a continuidade do plano de fechamento da frente de lavra M#27, no que diz respeito à inspeção dos poços auxiliares 27BD e 27CD. Além da atividade de inspeção, será realizado um novo sonar da cavidade para entender a sua geometria atual, antes que sejam retomadas as atividades de fechamento, por meio de enchimento (backfilling), que ocorrerá de forma gradual. As atividades serão retomadas tão logo autorizadas pelos órgãos competentes e em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado. Após retomada das atividades, no mês de fevereiro/2024 foram realizadas campanhas de inspeção nos poços auxiliares 27BD e 27CD, além do exame de sonar na cavidade 27. Os resultados das campanhas demonstraram que ambos os poços estão íntegros e que não houve alteração no revestimento.

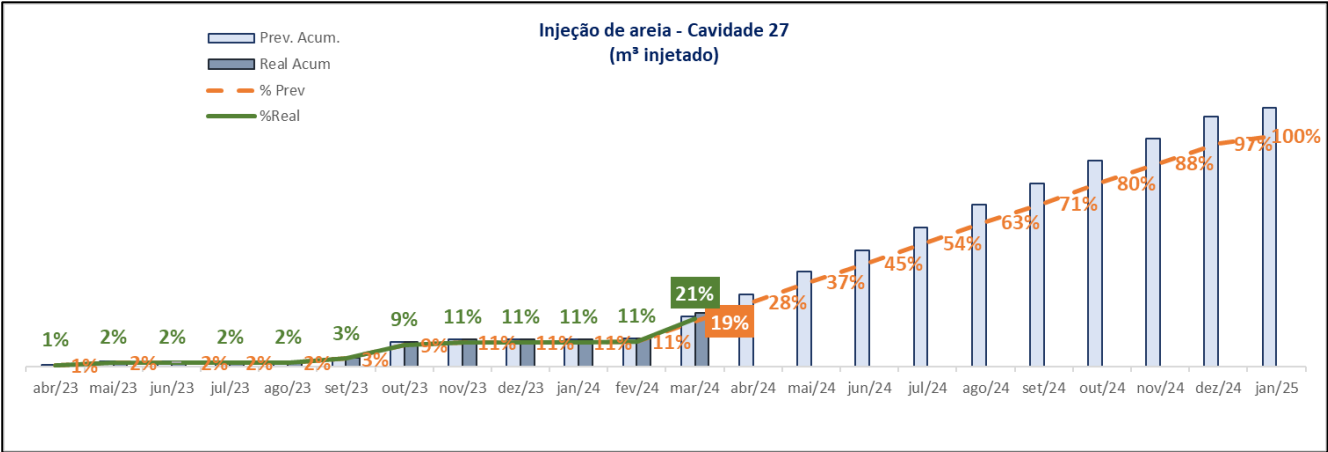
No mês de março/2024 foram injetados 31.558,00 m³ de areia, totalizando um acumulado injetado de 67.395,50 m³ na cavidade 27.

Tabela 33.9 – Volume de injeção mensal e acumulado da frente de lavra M#27D

	Injetado (m ³)	Acumulado (m ³)
Abril/2023	1.840,0	1.840,0
Maio/2023	4.240,0	6.080,0

Junho/2023	-	6.080,0
Julho/2023	-	6.080,0
Agosto/2023	-	6.080,0
Setembro/2023	5.260,00	11.340,00
Outubro/2023	19.590,10	30.930,10
Novembro/2023*	3.702,50	34.632,60
Fevereiro/2024	1.205,00	35.838,00
Março/2024	31.558,00	67.395,50


Figura 14.4 – Curva de enchimento da cavidade M#27D (base sonar)



5.28 FRENTE DE LAVRA M#28D

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 1 de junho de 2021, com a etapa de perfuração do poço auxiliar 28BD. Durante o mês de agosto de 2021, foi aberta a janela no revestimento do poço original entre as profundidades de 922,8 a 926,8m, porém, após algumas tentativas, não foi possível acessar o poço original.

Após diversas tentativas de acessar o interior do revestimento de 9 5/8” sem sucesso, foi constatado que a presença dos revestimentos de 7” e 4 1/2” dentro do poço original tornou o acesso ao poço original extremamente difícil. Diante disto, a Braskem, juntamente com a consultoria Syngular, optaram por realizar um tampão temporário de superfície no poço interceptador e paralisar, temporariamente, as atividades de fechamento nesta frente de lavra.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 152	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

As atividades de intervenção no poço auxiliar 28AD para condicionamento para instalação do piezômetro foram iniciadas no dia 24 de janeiro de 2022. Após identificado um dano no revestimento, na região de 412m, optou-se por tamponar o poço e construir um novo acesso à cavidade. Foi utilizado um *packer* de poço aberto na entrada da cavidade, na qual obteve-se indícios de estanqueidade através da pressurização identificada na cabeça do poço original.


A perfuração do poço auxiliar 28CD foi realizada entre os dias 09 de julho e 10 de agosto de 2022, o objetivo deste poço é acessar a frente de lavra M#28D que se encontra atualmente pressurizada, conforme indicação na cabeça do poço original M#28D.

Após o término da perfuração, iniciou-se a etapa de revestimento e cimentação do poço auxiliar, onde foram identificadas perdas de fluido durante a descida da tubulação, fato que impossibilitou uma cimentação efetiva do revestimento. A equipe técnica da Braskem, juntamente com a consultoria especializada Syngular Solutions avaliou a melhor forma de mitigar esta situação. Este contratempo causou atraso da instalação do piezômetro nesta frente de lavra, que estava prevista para ser concluída no dia 30 de setembro de 2022.

As atividades de condicionamento da janela de interceptação e as ações de reentrada no poço original que dá acesso a cavidade da frente de lavra M#28D foram reiniciadas no dia 11 de outubro de 2022. Durante o mês de dezembro de 2022 foram realizadas as atividades para verificação da integridade do tampão de isolamento da cavidade, na qual foi verificada a ausência de pressão na base do poço interceptador, o que indica o provável isolamento da cavidade.

A Braskem continuou trabalhando na remoção da coluna de perfuração do poço 28BD durante o mês de janeiro de 2023, visando possibilitar o avanço no tamponamento final do poço. A atividade de tamponamento do poço 28BD foi interrompida para que fosse dada continuidade ao plano de fechamento da frente de lavra M#12, tendo em vista que o poço auxiliar 28BD já se encontrava em condição segura e sem pressão indicada em superfície. Para continuidade das atividades de tamponamento do poço auxiliar 28BD, a Braskem necessitará de ferramentas de pescaria adicionais para realizar a remoção da extremidade da coluna que se encontra presa no fundo do poço, sendo que o processo de aquisição dos equipamentos já se encontra em andamento.

No dia 30 de janeiro de 2023, a perfuração do poço auxiliar 28DD foi iniciada com a finalidade de instalação do piezômetro para monitoramento da cavidade. Contudo, em decorrência de dificuldades operacionais relacionadas à estanqueidade do poço, não foi possível a conclusão da perfuração até a cavidade. A perfuração do poço foi interrompida, sem acessar a cavidade devido às zonas perdas de circulação encontradas durante a perfuração.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 153	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

A Braskem, juntamente com a consultoria especializada *Syngular Solutions* está avaliando o melhor cenário para mitigar estas perdas. O poço foi temporariamente tamponado e está aguardando novas soluções.

Diante do cenário mencionado no capítulo 5.2 deste relatório, acerca da correlação dos eventos de pressurização entre as frentes de lavra M#28D e a M#02, a Braskem, juntamente com as consultorias especializadas avaliaram a possibilidade de monitoramento das pressões das ambas as cavidades por meio de um único piezômetro, que será instalado no poço auxiliar 02DD.

O tamponamento complementar de superfície do poço original M#28D, que dava acesso à frente de lavra M#28D ocorreu entre os dias 09 e 15 de abril de 2023. Este processo está descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, apresentado por meio do SEI nº 7318888.

5.29 FRENTE DE LAVRA M#29D


Em execução a medida de monitoramento regular por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovado pela ANM (Ofício 6808/2021).

No dia 29 de julho de 2022 a sonda de completação PERBRÁS SPT-80 iniciou a operação de tamponamento do poço auxiliar 29BD. Como a perfuração do referido poço auxiliar não foi bem-sucedida, a Braskem optou por tamponar integralmente o poço. O tamponamento foi finalizado em 14 de agosto de 2022 e o relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra, foi protocolado nesta Agência no dia 14.09.2022 por meio do SEI 4978340.

A consultoria especializada SSO recomendou a perfuração de um poço auxiliar para acessar a cavidade, em uma posição que seja possível eliminar as zonas ocultas identificadas nos sonares anteriores. Esta perfuração está prevista para acontecer no mês de julho de 2023.

No mês de agosto de 2023, após alcançar 185 m perfurados no poço auxiliar 29CD, foi necessário realizar a suspensão temporária das atividades do poço. A suspensão se deu em razão das recentes manifestações realizadas que impediram os acessos nas áreas de concentração das atividades de fechamento das frentes de lavra, conforme informado em documento protocolado em 14/09/2023 (SEI nº 9218945).

Em novembro de 2023, foi possível avançar na perfuração do poço 29CD cimentando e posicionando a sapata do revestimento do 9 5/8" em 500,6 m. A perfuração deste poço foi interrompida em 23/11 devido à suspensão preventiva das atividades em decorrência da sensibilização de alertas microsísmicos e DGPS na área de concentração das operações de fechamento.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 154	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Previamente ao interrompimento das atividades de perfuração do poço 29CD, este foi perfurado até a profundidade de 490 m (TVD). O colapso da cavidade 18 gerou dois impactos na Frente de Lavra M#29D, devido à proximidade da região do colapso. Um primeiro impacto está relacionado a impossibilidade da continuidade da perfuração do poço auxiliar 29CD, o que gerou a desmobilização da sua sonda (Tucano 03). Enquanto o segundo diz respeito a perda do acesso ao poço original M#29D. A perda do acesso ao poço original M#29D e a paralisação da perfuração do poço auxiliar 29CD, fez com que a cavidade 29, pertencente ao grupo 4 de fechamento (de monitoramento por sonar), não possua mais acesso, impossibilitando a realização do acompanhamento da geometria da cavidade.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, a perfuração do novo poço auxiliar 29DD para que o monitoramento por sonar da cavidade 29 seja mantido bem como a realização de uma inspeção no poço auxiliar 29CD por meio de perfis relevantes que possam verificar possíveis impactos no poço, para posterior tamponamento. A estratégia de tamponamento dos poços 29D e 29CD será avaliada pelas consultorias especializadas. As atividades de perfuração, dos poços 29DD e ED, e inspeção do poço 29CD serão realizadas tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).


O referido Plano também foi aprovado pela Defesa Civil Municipal por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823), emitido em 15/02/2024. Considerando as aprovações, as atividades seguem o cronograma apresentado. Após retomada das atividades, durante o mês de fevereiro/2024 foram elaborados projetos para execução de dois poços para acesso a cavidade 29, o poço 29DD e 29ED. Ainda em fevereiro foi realizada a campanha de SPT para perfuração do ante poço 29DD.

5.30 FRETE DE LAVRA M#30D

O detalhamento da atividade de fechamento já foi realizado nessa frente de lavra, conforme relatório de execução do fechamento documento SEI nº 1303200, apresentado em 07.05.2020.

A perfuração do novo poço auxiliar 30BD foi realizada entre os dias 07 e 30 de dezembro de 2021, com o objetivo de instalar um novo piezômetro na cavidade.

Entre os dias 12 de janeiro e 07 de fevereiro de 2021, foi realizada a instalação do piezômetro na frente de lavra M#30D por meio do poço auxiliar 30BD. O processo de instalação do piezômetro foi concluído no dia 08 de fevereiro de 2022, registrando uma pressão e temperatura de 155,39 ⁽¹⁾ BAR e 52,95°C, respectivamente na profundidade de 906,30m TVD. O piezômetro foi instalado dentro do

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 155	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

revestimento de 7" para mitigar os riscos de danos mecânicos ao equipamento. Sendo assim, as pressões foram corrigidas para a profundidade conceitual recomendada pela consultoria.

Conforme comunicado apresentado à Agência em 07.07.2022(SEI 4456749), em razão das condições climáticas e dos eventos chuvosos que assolaram a região de Maceió/AL, houve a necessidade de suspensão temporária das atividades de fechamento em curso, até o restabelecimento das condições de segurança da área, dentre elas, o monitoramento de pressão e temperatura da frente de lavra M#30D. Com o objetivo de preservar a integridade dos piezômetros, foi sugerido pelo fabricante do equipamento o desligamento temporário das fontes de alimentação de energia. Os equipamentos permaneceram desligados entre os dias 03 e 13 de julho de 2022, retornando à operação, indicando parâmetros similares aos registrados anteriormente ao desligamento.

Atividades de complemento do tamponamento do poço original M#30D, foram realizadas entre os dias 08 e 15 de julho de 2022, tendo em vista que o tampão anterior havia sido posicionado apenas até 500m. O relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra foi protocolado nesta Agência no dia 15/08/2022 por meio do SEI 4750795.


Entre os dias 30 de março e 05 de abril de 2023 foi realizada a operação de inspeção da frente de lavra M#30D, via poço auxiliar 30BD. Esta inspeção contemplou a avaliação da integridade e da tortuosidade do poço auxiliar, bem como a condição da cavidade e o funcionamento do equipamento de piezômetro para medição de pressão e temperatura. Foi constatado que a cavidade se encontra numa condição de estabilidade e o poço auxiliar 30BD não apresenta deformações significantes. Não houve alterações na posição do piezômetro.

A consultoria especializada Sabine Storage and Operations (SSO) está avaliando quais os próximos passos para esta frente de lavra. A cavidade segue sendo monitorada.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, devido à proximidade da Frente de Lavra M#30 com a região do colapso da cavidade 18, a realização de inspeção e sonar no poço auxiliar 30BD e sua respectiva cavidade, que serão realizados tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

5.31 FRETE DE LAVRA M#31D

O detalhamento da atividade de fechamento realizada nesta frente de lavra se encontra descrito no documento SEI nº 1303201, apresentado em 07.05.2020.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 156	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Conforme comunicado apresentado à Agência em 07.07.2022 (SEI 4456749), em razão das condições climáticas e dos eventos chuvosos que assolaram a região de Maceió/AL, houve a necessidade de suspensão temporária das atividades de fechamento em curso, até o restabelecimento das condições de segurança da área, dentre elas, o monitoramento de pressão e temperatura da frente de lavra M#31D. Com o objetivo de preservar a integridade dos piezômetros, foi sugerido pelo fabricante do equipamento o desligamento temporário das fontes de alimentação de energia. Os equipamentos permaneceram desligados entre os dias 03 e 13 de julho de 2022, retornando à operação, indicando parâmetros similares aos registrados anteriormente ao desligamento.


5.32 FRETE DE LAVRA M#32

O detalhamento da atividade de fechamento realizada nesta frente de lavra se encontra descrito no documento SEI nº 1579584, apresentado em 30.07.2020.

A perfuração do novo poço auxiliar 32BD foi iniciada no dia 22 de janeiro de 2022, com o objetivo de permitir a instalação de um novo piezômetro na frente de lavra M#32. Entre os dias 14 de março e 26 de abril, foram realizadas as operações de acesso à cavidade utilizando as sondas CONTERP-88 e Great-127. As atividades foram interrompidas para adequação dos equipamentos de segurança de superfície para trabalhar com a pressão elevada da cavidade.

Entre os dias 31 de maio e 20 de junho de 2022, foi realizada a instalação do piezômetro na frente de lavra M#32D por meio do poço auxiliar 32BD. O processo de instalação do piezômetro foi concluído no dia 23 de junho de 2022, registrando uma pressão e temperatura de 161,37 BAR e 52,91°C, respectivamente na profundidade de 935,52m TVD. O piezômetro foi instalado dentro do revestimento de 7" para mitigar os riscos de danos mecânicos ao equipamento. Sendo assim, as pressões foram corrigidas para a profundidade do topo da cavidade à 976,49m TVD, conforme recomendado pela consultoria.

Conforme comunicado apresentado à Agência em 07.07.2022(SEI 4456749), em razão das condições climáticas e dos eventos chuvosos que assolaram a região de Maceió/AL, houve a necessidade de suspensão temporária das atividades de fechamento em curso, até o restabelecimento das condições de segurança da área, dentre elas, o monitoramento de pressão e temperatura da frente de lavra M#32. Com o objetivo de preservar a integridade dos piezômetros, foi sugerido pelo fabricante do equipamento o desligamento temporário das fontes de alimentação de energia. Os equipamentos permaneceram desligados entre os dias 03 e 13 de julho de 2022, retornando à operação, indicando parâmetros diferentes aos registrados anteriormente ao seu desligamento e vem apresentando uma tendência de queda de pressão, diferente da tendência inicial observada após a instalação.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 157	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

O detalhamento das atividades de fechamento e instalação do novo piezômetro realizada nesta frente de lavra foi apresentado a esta Agência, por meio de relatório do andamento das atividades de fechamento da frente de lavra M#32, protocolado em 15/09/2022, SEI 4993910.

Em agosto de 2023 foi concluído o processo de inspeção que estava sendo realizado no poço 32BD. Após a inspeção do poço, o piezômetro foi reposicionado na profundidade de 924,92 m (TVD). O reposicionamento do piezômetro precisou ser realizado em uma profundidade mais rasa, devido ao fato de não ter sido possível utilizar o mesmo ponto de emenda na superfície, ocasião em que foi necessário realizar uma nova emenda numa porção mais inferior do cabo do equipamento, encurtando o mesmo. A mudança no posicionamento não impacta nas medições que já estão sendo realizadas.


5.33 FRETE DE LAVRA M#33D

As atividades de fechamento dessa frente de lavra foram iniciadas no dia 21 de fevereiro de 2021, por meio da perfuração do poço de interceptação M#33BD. No dia 18 de abril de 2021, iniciou-se a interceptação da frente de lavra M#33 a uma profundidade de 928,6m. Em 24 de abril foi concluída a abertura da janela com um comprimento total de 6,1m entre os intervalos de 928,6m à 934,7m de profundidade. Após a etapa de abertura da janela, iniciou-se a etapa de verificação de acesso ao poço original, permitindo uma descida livre por dentro do revestimento de 7" até encontrar o topo revestimento de 4 ½", à profundidade de 1084,6m no poço M#33D original.

Em maio de 2021, o processo de tamponamento do poço original M#33D foi finalizado por meio do poço 33BD, criando assim, uma condição para a pressurização da cavidade. A próxima etapa do plano de fechamento consiste na instalação do piezômetro no poço auxiliar 33AD. Após a conclusão de todas as etapas, será apresentado o relatório final de execução do fechamento, relativo à instalação de piezômetro.

No dia 03 de agosto de 2021, foi iniciada a atividade de remoção do tampão de cimento do poço auxiliar 33AD, com o objetivo de reestabelecer o acesso à frente de lavra M#33D para a instalação do piezômetro. Entretanto, após alguns dias de operação com a sonda de perfuração não foi possível remover o tampão de cimento. Diante desse cenário, a Schlumberger, empresa responsável pela construção dos poços direcionais auxiliares, realizou estudos alternativos para remoção do tampão, mantendo a trajetória original do poço auxiliar.

No dia 15 de março de 2022 dando continuidade as atividades no poço 33AD, após a realização de um estudo geofísico, a empresa Schlumberger apresentou uma alternativa de realizar a interceptação do poço auxiliar. Esta interceptação se faz necessária para promover o isolamento hidráulico entre a cavidade e o poço, que se encontra sem revestimento a partir de 400,2m de profundidade.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 158	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Após a realização de primeira etapa das perfilagens especiais, que pudessem identificar a posição do poço auxiliar, foi realizada uma manobra para substituição dos equipamentos. Durante a manobra, foi necessário descer no poço uma coluna para condicionamento, neste momento, foi detectado uma obstrução que impedia a passagem da broca por volta da profundidade de 220m. Após realizar um perfil de cáliber foi identificado um dano no revestimento que impediria a continuidade do trabalho por meio deste poço. Diante deste cenário, o poço foi revestido com um *casing* de 7" e a operação foi temporariamente paralisada para uma reavaliação técnica.


Entre os dias 01 e 16 de dezembro de 2022 foi realizado o complemento de superfície do tamponamento do poço original M#33D, devido ao sucesso da operação de interceptação e tamponamento da base deste poço, o qual já havia sido realizado.

As atividades complementares de tamponamento do poço original M#33D foram realizadas durante o mês de dezembro de 2022. O tamponamento deste poço faz parte da execução do plano de fechamento desta frente de lavra. Este processo foi descrito no relatório do andamento das atividades de fechamento desta frente de lavra apresentado por meio do SEI 6426826, protocolado em 02/02/2023.

A Braskem optou por antecipar a perfuração do novo poço auxiliar que já se encontra em fase de planejamento para instalação do piezômetro e monitoramento da cavidade enquanto desenvolve a solução técnica para realizar o tamponamento do poço auxiliar 33AD. Espera-se que o início da perfuração ocorra no primeiro semestre de 2023.

Durante a intervenção realizada pelo poço auxiliar 33CD/33DD, para verificação das suas condições mecânicas, observou-se uma restrição no diâmetro do revestimento. Este poço auxiliar seria o poço o qual seria realizada a instalação do piezômetro, porém, foram identificados danos, os quais inviabilizam a instalação do equipamento por meio deste acesso. Um novo poço auxiliar deverá ser construído para este objetivo, com previsão para ocorrer no primeiro semestre de 2024.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra, o qual contempla, a perfuração de poço para acesso à cavidade 33, para que seja realizado monitoramento via piezômetro ou sonar, sendo a perfuração desse poço essencial e classificada como prioritária. A perfuração será realizada tão logo o retorno das atividades seja autorizado pelos órgãos competentes e, em conformidade com plano apresentado e aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 (SEI 11283057).

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 159	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

5.34 FRETE DE LAVRA M#34D

Em execução a medida de monitoramento por meio de sonar, a fim de obter mais informações sobre a possível migração ascendente da cavidade, conforme recomendação da consultoria e aprovado pela ANM (Ofício 6808/2021).


A realização do exame de sonar nesta cavidade estava programada para o mês de abril de 2022, entretanto, por questões operacionais envolvendo remanejamento de sonda e paralisações operacionais devido às condições climáticas, a atividade foi postergada. O exame de sonar foi realizado no dia 20 de setembro de 2022, e as dimensões da cavidade estão sem alterações.

5.35 FRETE DE LAVRA M#35D

O detalhamento da atividade de fechamento realizada nesta frente de lavra se encontra descrito no documento SEI nº 1677826, apresentado em 30.08.2020.

As atividades de fechamento desta frente de lavra foram iniciadas em 03 de setembro de 2022. O poço auxiliar 35AD foi perfurado para permitir a reinstalação de um piezômetro. A perfuração foi finalizada no dia 18 de outubro de 2022.

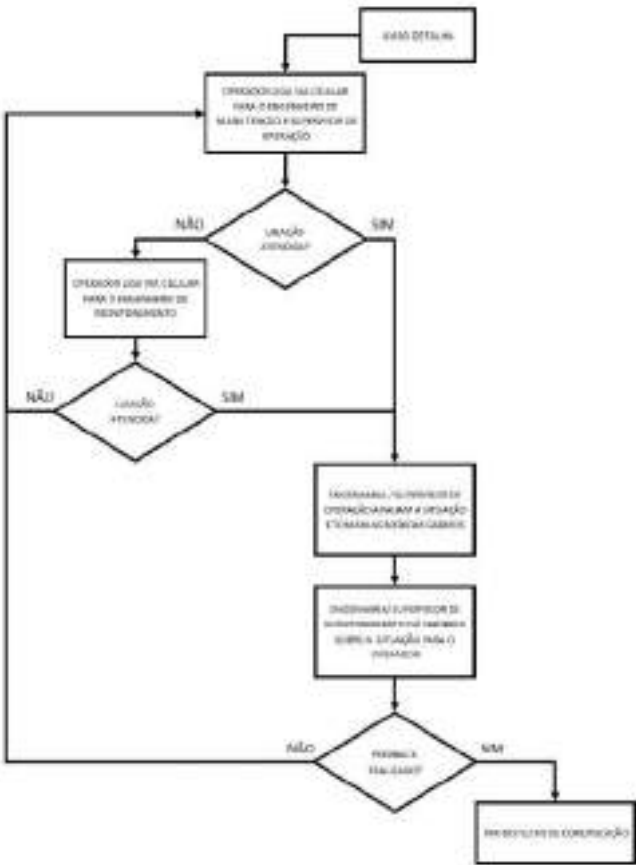
A instalação do piezômetro na frente de lavra M#35D foi iniciada no dia 28 de outubro de 2022 e finalizada no dia 22 de novembro de 2022. A cavidade já se encontra sob monitoramento de temperatura e pressão, cujos dados estão dispostos no capítulo 6.1.8 deste relatório.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 161	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

durante a vistoria, relacionadas aos piezômetros, trata-se dos principais itens do processo contidos na sistemática utilizada pela empresa.

A sistemática é aplicada em caso de aviso de falha nas plataformas de monitoramento do solo TrimbleT4D Web (Monitoramento DGPS), Seismic Early Warning System - Geoapp (Lunitek rede sísmica de superfície), Athena (rede sísmica integrada), DMS WebView (inclinômetros e tiltímetros), e SDCD (Piezômetro), garantindo que os eventos de falha sejam notados, averiguados e tratados devidamente, conforme fluxograma abaixo apresentado:

Fluxograma 1 – Fluxograma de Comunicação para Avisos de falha nos Equipamentos e Sistemas



6.1 MEDIÇÃO DE PRESSÃO NAS CAVIDADES SALINAS - ATUALIZADO

A pressão no interior das cavidades salinas é um dos parâmetros de processo, cujo acompanhamento mensal foi requerido pela ANM por meio do ofício 05/2019, item B. A medição da pressão nas cavidades pode ser dividida em três categorias:


- i) **Cavidades onde há indicação de pressão na superfície:** medição realizada por meio de manômetro.
- ii) **Cavidades onde não há indicação de pressão na superfície:** medições do nível estático realizadas por meio de trena centimetrada.
- iii) **Cavidades com piezômetros instalados:** Considera o valor de pressão absoluta medido no interior das cavidades.

O status atual de cada cavidade, com relação ao método de medição da pressão, pode ser acompanhado na tabela 34. Nessa organização, os itens manômetro, piezômetro, trena centimetrada são equivalentes, respectivamente, aos itens i), ii) e iii) anteriormente mencionados. É importante salientar que não é possível efetuar a medição de pressão nas cavidades que foram tamponadas temporariamente.

As medições de pressão realizadas na cabeça do poço por meio de manômetro ou trena centimetrada foram retomadas no mês de março/2024. Os resultados das medições estão disponíveis nas Tabelas 34, 35 e 35.1.

Tabela 34 – Modalidade de medição da pressão nas cavidades em março/2024

Cavidade	Piezômetro	Trena Centimetrada	Manômetro	Tamponada temporariamente	Medição realizada via poço
M01	✓				1AD
M02	✓				02DD
M03		✓			03BD
M04		✓			04BD
M05		-			N/A Tamponado
M06		-			N/A Tamponado
M07		-			N/A Tamponado
M08		-			N/A Tamponado
M09				✓	M#09 (original)
M10	✓				10AD
M11		✓			11BD
M12				✓	M#12 (original)
M13	✓				13BD
M14		-			N/A Tamponado

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 163	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

M15		✓			15AD
M16				✓	16AD
M17		-			N/A Tamponado
M18D		-			N/A Área isolada
M19D		-			N/A Tamponado
M20D		✓			20AD
M21D		✓			20AD
M22				✓	22AD
M23				✓	23BD
M24D		-			N/A Tamponado
M25D		-			N/A Backfilling
M26D	✓				26DD
M27D		-			N/A Backfilling
M28D				✓	M#28D (original)
M29D		-			N/A sem acesso
M30D	✓				30BD
M31D	✓				M#31D (original)
M32	✓				32BD
M33D				✓	33AD
M34D			✓		M#34D (original)
M35D	✓				35AD

Nas cavidades, cujos poços apresentam pressão na superfície, a coleta de dados é realizada manualmente, a cada 3 dias ou, no mínimo, semanalmente, por meio de um manômetro instalado na cabeça do poço. Por outro lado, nas cavidades, cujos poços apresentam nível estático, as medições são realizadas com a mesma frequência citada anteriormente, porém a coleta dos dados é realizada por meio de uma trena centimetrada. Sendo assim, de posse da pressão na cabeça do poço ou do nível estático, pode-se calcular a pressão no interior da cavidade, especificamente, no ponto mais alto da cavidade em TVD.

O cálculo da pressão nas cavidades passou a ser realizado no ponto mais alto da cavidade, a fim de utilizar a mesma referência do modelo geomecânico do IFG.

Então, pode-se obter por meio das equações 1 e 2, os seguintes dados:


$$P_{TOTAL} = P_{manômetro} + P_{hidrostática} + P_{atmosférica} \quad (1)$$

$$P_{hidrostática} = \rho \cdot g \cdot h_{líquido} \quad (2)$$

Onde,

P_{TOTAL} = Pressão total no interior da cavidade, no topo da cavidade em metros TVD (kgf/cm²)

$P_{Manômetro}$ = Pressão lida no manômetro da árvore de natal da frente de lavra, na superfície (kgf/cm²)

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 164	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

$P_{Atmosférica}$ = Pressão atmosférica na superfície, (1,03 kgf/cm²)

$P_{Hidrostática}$ = Pressão exercida pelo líquido em função da sua coluna de líquido (kgf/cm²)

ρ = densidade do fluido (kg/m³)

g = aceleração gravitacional (m/s²)

$h_{líquido}$ = Diferença entre a posição do topo da cavidade em TVD e o nível estático do fluido no poço (m).

A tabela 35 exibe a média mensal do nível estático do fluido nos poços que possuem comunicação direta com a cavidade separado por frente de lavra. Vale salientar, que as frentes de lavra 5,6,8,14 e 24 não fazem mais parte desta lista, pois as consultorias concluíram que estas cavidades passaram por um processo de autopreenchimento.

Tabela 35: Níveis estáticos e pressão das cavidades.

Frente de lavra	Profundidade de medição da pressão ⁽¹⁾ (m)	Março/2024 Pressão ⁽²⁾ (kgf/cm ²)	Março/2024 Nível estático ⁽²⁾ (m)
M#03 ⁽⁴⁾	705,40	82,86	14,88
M#04	835,39		97,36
M#07	694,51	-	Tamponada ⁽⁹⁾
M#09	942,20	-	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾
M#11 ^{(4) (8)}	823,54	115,29	64,49
M#12	942,50	-	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾
M#15 ⁽⁴⁾	905,80	106,91	14,9
M#16 ⁽⁴⁾	1021,15	-	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾
M#17 ⁽⁴⁾	737,71	-	Tamponada ⁽⁹⁾
M#18D	948,00	-	Inacessível ⁽¹¹⁾
M#19D	874,25	-	Tamponada ⁽⁹⁾
M#20D ⁽⁶⁾	740,50 ⁽⁶⁾	87,06	14,96
M#21D ^{(4) (6)}	740,50 ⁽⁶⁾	87,06	14,96
M#22 ⁽⁴⁾	909,17	-	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾
M#23	929,80	-	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾
M#25D ⁽⁴⁾	556,76	-	Backfilling
M#27D ⁽⁴⁾	891,12	-	Backfilling
M#28D ^{(3) (7)}	991,03	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾	-
M#29D	852,34	-	Inacessível ⁽¹¹⁾
M#33D	1044,00	-	Temp. Tamponada ⁽¹⁰⁾
M#34D ⁽³⁾	892,99	111,56	-

Nota ¹: Os pontos de medição são em metros TVD referentes ao topo das cavidades atualizados em 31/03/2022.

Nota ²: Os valores dos níveis estáticos e pressões correspondem à média aritmética dos valores medidos no mês do relatório.

Nota ³: As pressões das frentes de lavra M#34D, M#28D são em referência à coluna de fluido até ao topo da cavidade acrescido à média mensal das pressões registradas nas cabeças dos respectivos poços de cada frente de lavra.


Nota ⁴: Os níveis estáticos das cavidades 03, 11, 15, 16, 17, 21, 22, 25 e 27 passaram a ser medidos via poço auxiliar por permitirem uma comunicação hidráulica plena com a cavidade.

Nota ⁵: A cabeça do poço se encontra inacessível devido às atividades de sonda em poços adjacentes ou condições climáticas.

Nota ⁶: As cavidades 20 e 21 estão conjugadas, portanto a pressão está sendo medida através do poço 20AD.

Nota ⁷: O poço auxiliar da frente de lavra M#28D foi tamponado e a cavidade veio a pressurizar, a partir 22 de abril de 2022 o poço original passou a apresentar pressão em superfície na cabeça do poço sendo medido via manômetro. O valor apresentado na tabela já contempla esta pressão.



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				 ID: 5891490
ÁREA: Mineração	Pág.: 165	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Nota ⁸: A cavidade da frente de lavra M#11 veio a pressurizar devido ao processo de enchimento e a diferença de densidade dos fluidos entre os poços. O poço passou a apresentar pressão em superfície na cabeça sendo medido via manômetro. O valor apresentado na tabela já contempla esta pressão.

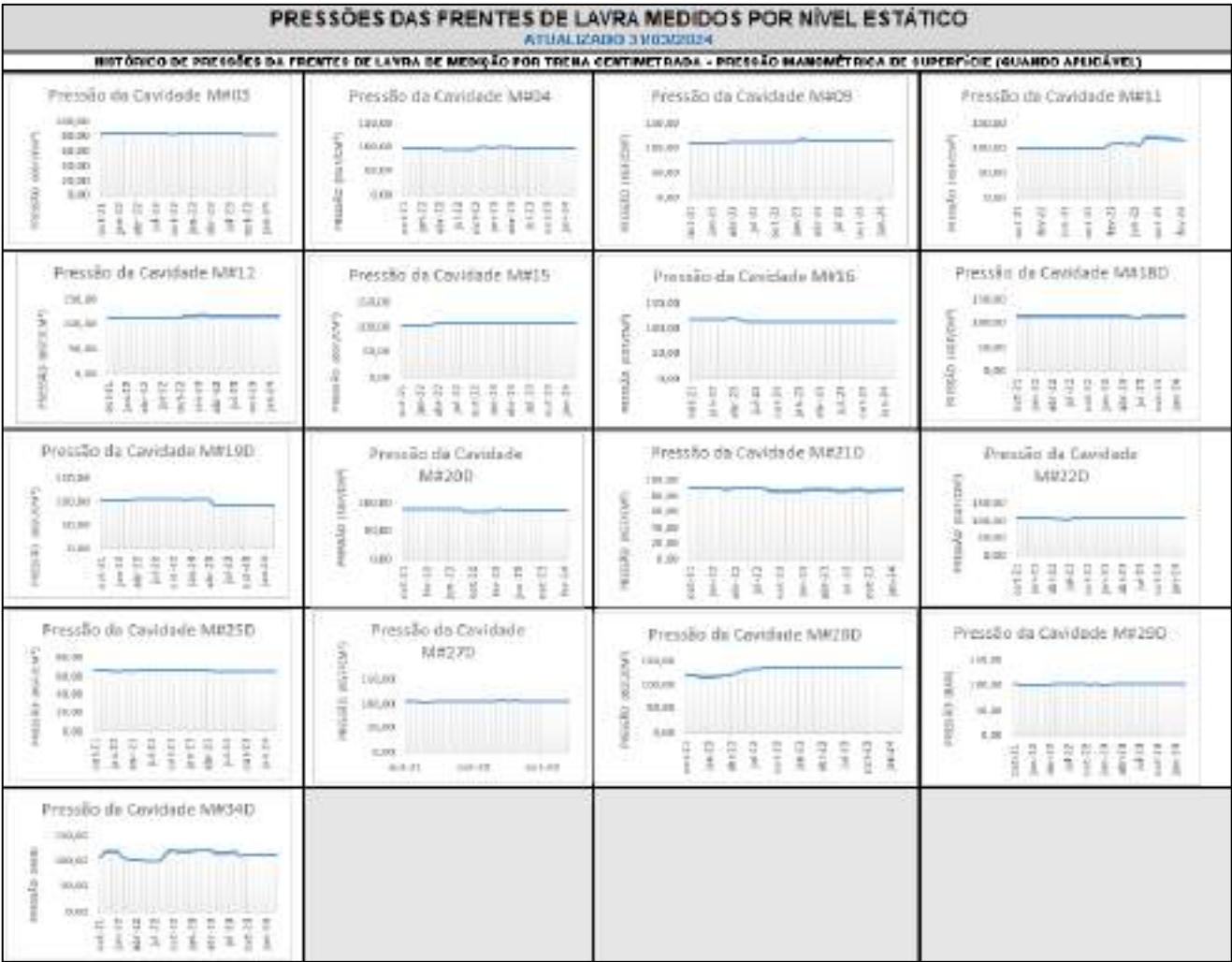
Nota ⁹: Todos os poços que permitiam acesso a cavidade estão completamente tamponados e aguardam as próximas etapas de descomissionamento.


Nota ¹⁰: Os poços que permitiam acesso a cavidade estão temporariamente tamponados enquanto aguardam execução dos próximos passos do plano de fechamento de cada frente.

Nota ¹¹: Poços originais se tornaram inacessíveis após serem atingidos pelo colapso da Mina 18.

A tabela 35.1 exibe os gráficos da pressão no topo das cavidades dos poços que apresentam nível estático e da cavidade 34, cuja pressão é medida na cabeça do poço. Esclarecemos que a cavidade M#02 não está mais representada na tabela 12, tendo em vista que a cavidade está sendo monitorada por piezômetro.

Tabela 35.1: Evolução das pressões das cavidades medidas por nível estático



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 166	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Para as cavidades das frentes de lavra onde os piezômetros já foram instalados, os dados são coletados automaticamente por um sistema informatizado (SDCD). A partir de janeiro/2024, com a otimização da Plataforma Integrada de Monitoramento (PIM), os dados de pressão e temperatura obtidos a cada 1 segundo que anteriormente eram apresentados a cada 2 horas, passaram a ser apresentados a cada 1 hora, otimizando então o acompanhamento do processo com a possibilidade de visualização de uma tendência mais detalhada nos gráficos aqui apresentados.

No mês de novembro/2023 houve uma elevação na taxa de eventos microssísmicos concentrada na área das operações de fechamento. Esta variação na taxa de eventos ocorreu em dois momentos bem definidos.

Em uma primeira fase (06/11/2023 a 10/11/2023) todos os piezômetros, com ressalva do sensor localizado na M#02, registraram uma pequena despressurização. A maior variação negativa na pressão foi percebida na frente de lavra M#10 e foi de -0,05BAR. Todos os outros sensores retornaram aos valores normais (semelhantes ao registrados antes do evento) em 08/11/2023, inclusive na frente de lavra M#10.

Em uma segunda fase (20/11/2023 a 04/12/2023), todos os piezômetros registraram pressurização. A maior variação positiva na pressão foi percebida na frente M#10 e foi de 1,18BAR. Os sensores que já retornaram (até a data de corte deste relatório) aos valores normais (semelhantes ao registrados antes do evento) são das frentes de lavra M#26 e 32.

[Na tabela 36, observa-se o valor da média aritmética das pressões e temperaturas no mês de março de 2024, com os respectivos desvios padrões e variâncias.](#)

Ainda, em atendimento as recomendações apresentadas por meio do Item 02 do Ofício nº 12128/2022/GER-AL/ANM. Destaca-se aqui, a inserção na Tabela 36 das colunas 6, 7, 9 e 10, representando os dados estatísticos de média aritmética, variância e desvio padrão dos últimos 30 dias dos valores medidos de temperatura e pressão das cavidades medidos por meio dos equipamentos de piezômetro. Deste modo, entende-se como atendida a recomendação apresentada sendo que as atualizações passam a compor os relatórios mensais.


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 167	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Tabela 36 - Pressão e temperatura médios captados com piezômetro no mês de março/2024.

Frente de lavra	Data de início da medição do Piezômetro	Condição de Pressurização	Profundidade corrigida dos registros (m TVD) ⁽¹⁾	Pressão (BAR) ⁽²⁾	Desvio Padrão da Pressão	Variância da Pressão	Temp (°C) ⁽²⁾	Desvio Padrão da Temp.	Variância da Temp.
M#01 ⁽⁴⁾	19/03/2021	Estabilizada	903,3	123,72	0,026	0,069	52,98	0,42	0,174
M#02	04/07/2023	Em redução	958,6	132,14	0,04	0,001	47,92	0,16	0,027
M#10	18/08/2021	Estabilizada	919,9	124,99	0,05	0,002	52,29	0,00	0,000
M#13 ⁽⁵⁾	19/10/2021	Estabilizada	997,3	134,07	0,08	0,006	37,24	0,00	0,000
M#26D	30/04/2021	Estabilizada	966,26	114,55	0,04	0,002	54,87	0,00	0,000
M#30D ⁽⁴⁾	08/02/2022	Estabilizada	944,36	143,70	0,02	0,000	53,50	0,01	0,000
M#31D ⁽⁴⁾	17/02/2020	Em redução	991,65	121,05	0,014	0,018	43,85	0,02	0,000
M#32 ⁽⁴⁾	23/07/2022	Em redução	976,49	139,42	0,15	0,02	54,67	0,00	0,000
M#35D ⁽⁴⁾	22/11/2022	Estabilizada	942,58	139,27	0,01	0,000	55,28	0,00	0,000

Nota 1: A média das pressões medidas das frentes de lavra medidas no mês corrente foram corrigidas para a referência do topo da cavidade em metros TVD.

Nota 2: Os valores representam a média aritmética de todos os dados registrados no mês para os sensores no interior de cada cavidade ou interior dos poços.

Nota 3: As pressões da cavidade indicam um processo equalização devido à troca dos fluidos (fluido de amortecimento X salmoura saturada) após processo de instalação do piezômetro.

Nota 4: O piezômetro da cavidade M#01 esteve inativo devido à falha entre o período de 17/08/2021 e 23/09/2021. O piezômetro da cavidade M#30 esteve inativo devido à falha entre o período de 03/08/20 e 11/02/2022. O Sensor A do piezômetro da cavidade M#31 falhou no 10/02/22, porém, em uma manutenção de rotina da empresa Schlumberger no mês de outubro de 2022, foi detectado que não houve falha no equipamento e sim um erro de configuração, o sensor A voltou a operar no dia 04/10/22 após uma nova atualização no firmware. Durante todo o período o sensor B instalado na cavidade M#31D continuou operante. O piezômetro da cavidade M#32 falhou em 21/08/2020 e foi reinstalado um novo equipamento em 23 de junho de 2022. O piezômetro da cavidade M#35D foi substituído em novembro de 2022.

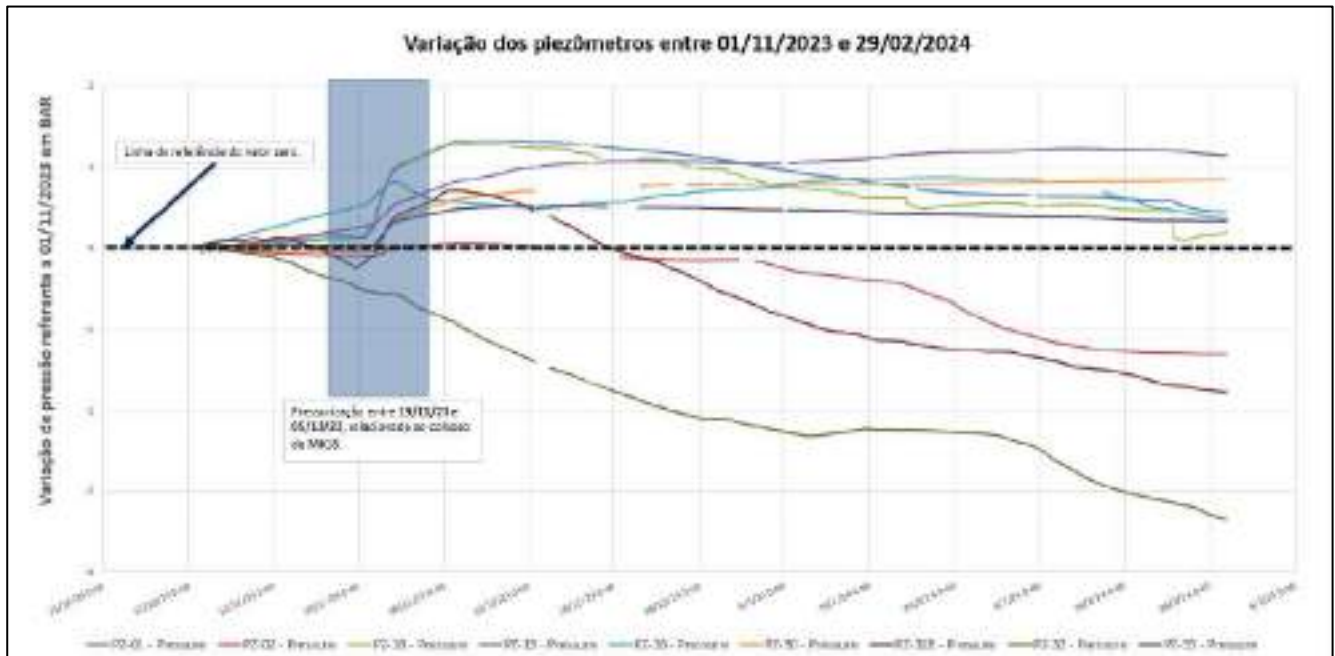
Nota 5: Em março de 2023, foi realizada a inspeção de integridade do conjunto do piezômetro (poço, cavidade e sensor) e foi identificada uma deformação no poço que não permitiu a instalação do piezômetro na mesma posição, o equipamento foi instalado a 394,17m TVD, sendo necessário aplicar a correção da pressão para equivaler à pressão do topo da cavidade. O reposicionamento ocasiona uma mudança significativa na temperatura que está diretamente ligada ao grau geotérmico.

Em atendimento ao item 05 do Ofício 2477/2024, no que diz respeito aos resultados consolidados e interpretados das leituras de monitoramento das demais cavidades com o controle de pressão ativo, apresentamos o Gráfico 01 abaixo demonstrando o comportamento das pressões registradas pelos piezômetros entre os dias 01/11/2023 (anterior ao processo do colapso da M#18 que se findou no dia 10/12/2023) e 29/02/2024. A análise dos dados demonstra que dentre as 09 cavidades monitoradas por piezômetro (M#01, M#02, M#10, M#13, M#26, M#30, M#31, M#32 e M#35), 08 sofreram um acréscimo de pressão entre os dias 20/11/2023 e 05/12/2023, no qual apenas o piezômetro da M#32 não sofreu variações. A maior variação de pressão foi registrada para o piezômetro da frente de lavra M#10 que atingiu um valor de 1,27 BAR superior ao valor registrado em 01/11/2023 (133,48 BAR). Dentre as cavidades em que os piezômetros registraram o aumento de

pressão, apenas M#31 e M#02 retornaram para patamares de pressão inferiores ao registrados antes do dia 01/11/2023, com respectivamente -1,78 BAR e -1,38BAR. Os piezômetros das outras 06 cavidades (M#01, M#10, M#13, M#26, M#30 e M#35) se mantêm em patamares superiores aos registrados antes do evento em 01/11/2023.


Cumpre ressaltar que nenhum dos 09 equipamentos registraram um comportamento diferenciado no dia do colapso da M#18 em 10/12/2023.

Gráfico 01 – Variações nos valores de pressão medidos pelos piezômetros entre 01/11/2023 e 29/02/2024



No que diz respeito à frente de lavra 31, observou-se uma lenta queda da pressão. Durante as avaliações, constatou-se que existia uma pequena perda de fluido ao longo do cabo que está cimentado, condição que impedia a elevação da pressão. Ressaltamos que, como medida mitigadora, foi realizada uma cimentação complementar no poço original da cavidade M#31 com o intuito de sanar o problema da perda de fluido. Tais medidas foram suficientes para cessar a perda de fluido na superfície, porém a cavidade continuou com o processo de redução da pressão. Diante disso, a situação vem sendo avaliada pelas consultorias especializadas.

Com relação às falhas dos piezômetros observadas entre os anos de 2020 e 2022 nas frentes de lavra citadas acima, foram elencadas como possíveis causas, o rompimento do cabo e/ou infiltração


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 169	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de salmoura no cabo elétrico localizado dentro do poço, condições que podem ter provocado um curto-circuito no sistema.

No parâmetro temperatura, observa-se uma elevação contínua dos valores em função do aquecimento natural da salmoura contida no interior da cavidade, cujo valor máximo a ser alcançado, ao longo do tempo, é a temperatura da rocha.

Em atendimento as recomendações apresentadas por meio do Item 01 do Ofício nº 12128/2022/GER-AL/ANM, destaca-se aqui, a inserção nos gráficos das figuras 18.1, 18.3, 18.5, 18.7, 18.9, 18.11, 18.13 e 18.15, representados pelas pressões de referência de 80% da pressão litostática e a pressão hidrostática.

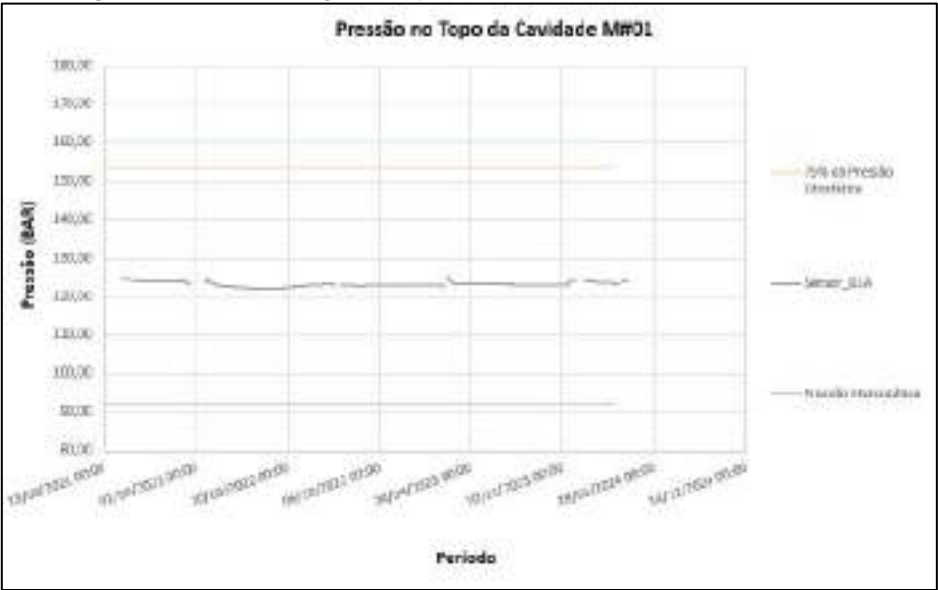
A partir do presente relatório, iremos apresentar no capítulo de monitoramento à interpretação dos dados dos piezômetros, conforme recomendação apresentada por meio do Parecer Técnico nº 4/2022/GT-SAL/SPM-ANM/DIRC, em suas conclusões, conforme itens a seguir.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 170	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.1 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#01 - ATUALIZADO

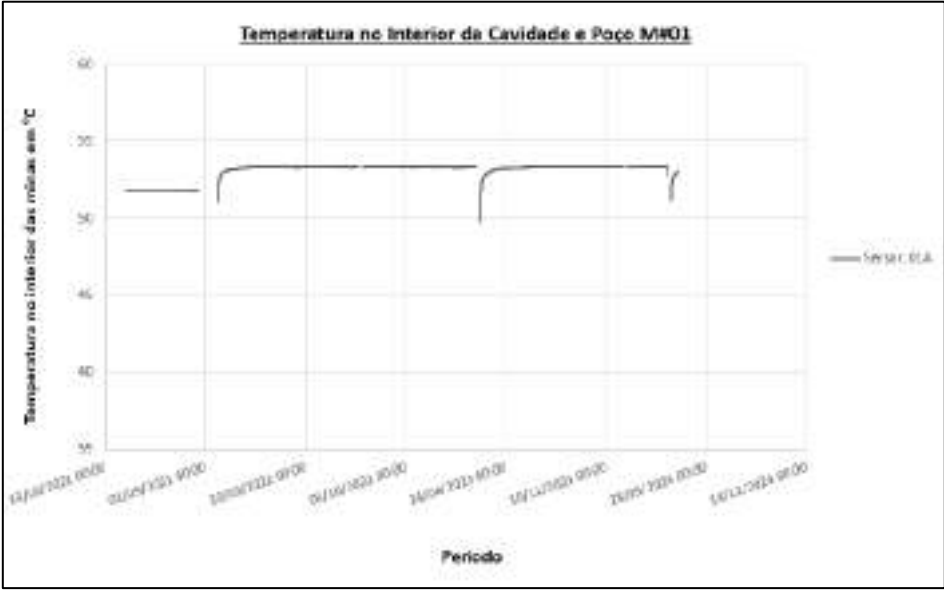
Entende-se que a cavidade indica estabilização da pressão e vem apresentando características de estanqueidade. No mês de março/24 o piezômetro passou por inspeção e manutenção entre os dias 13/03 e 19/03.


Figura 18.1 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#01



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#01 foram corrigidas para o topo da cavidade em 903,3m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 153,24 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 92,06 BAR.

Figura 18.2 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#01

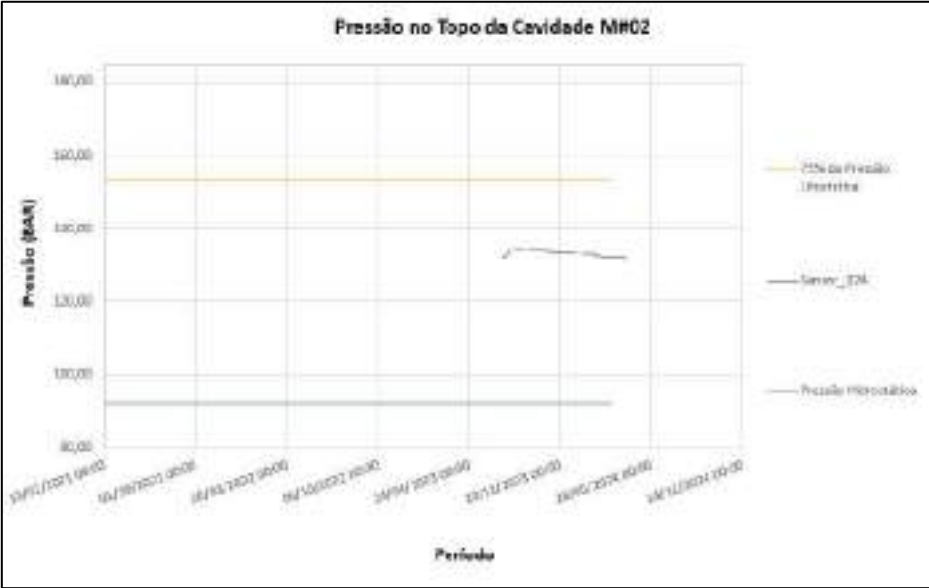


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 171	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.1 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#02 - ATUALIZADO

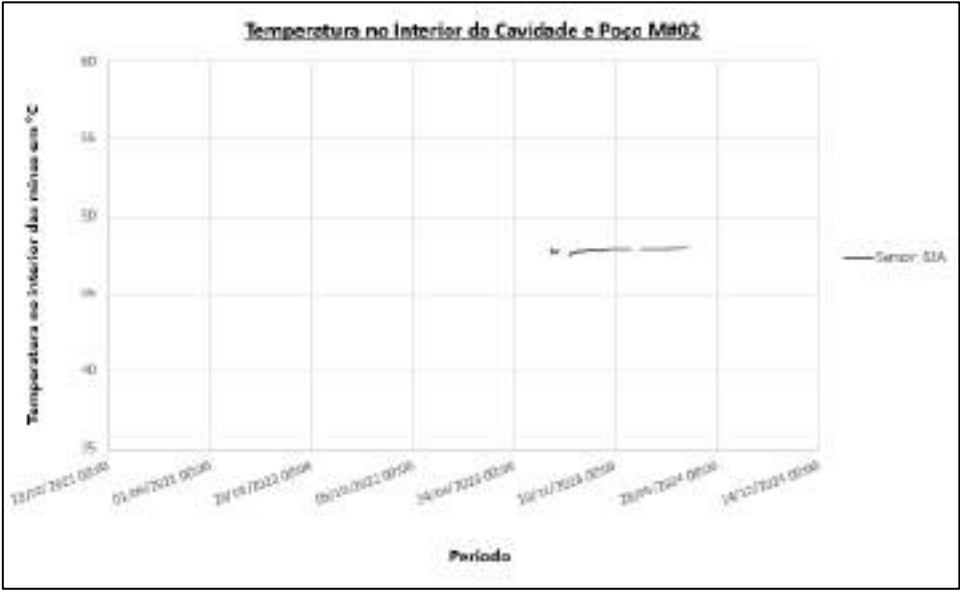
Entende-se que a cavidade passou a indicar uma pequena variação de pressão.


Figura 18.3 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#02



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#02 foram corrigidas para o topo da cavidade em 958,6m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 162,62 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 98,68 BAR.

Figura 18.4 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#02

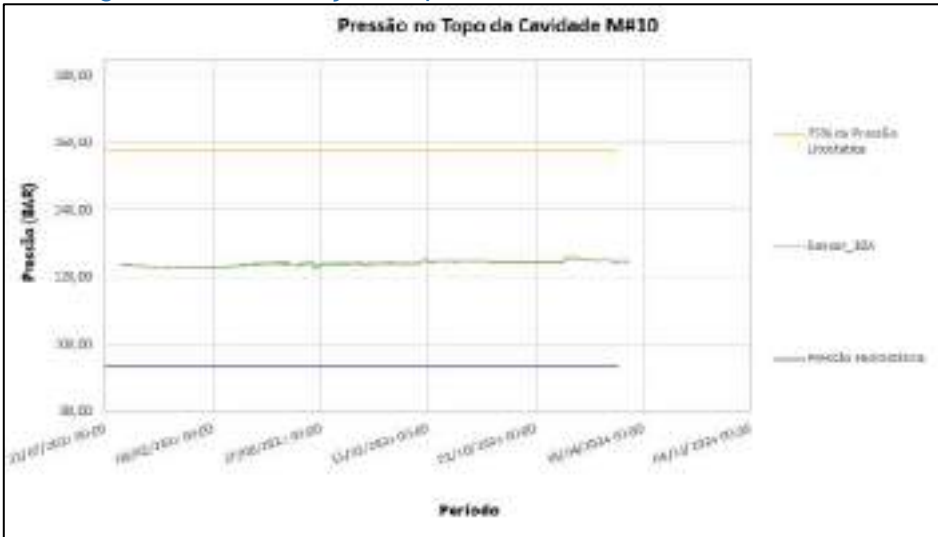


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 172	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.2 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#10 - ATUALIZADO

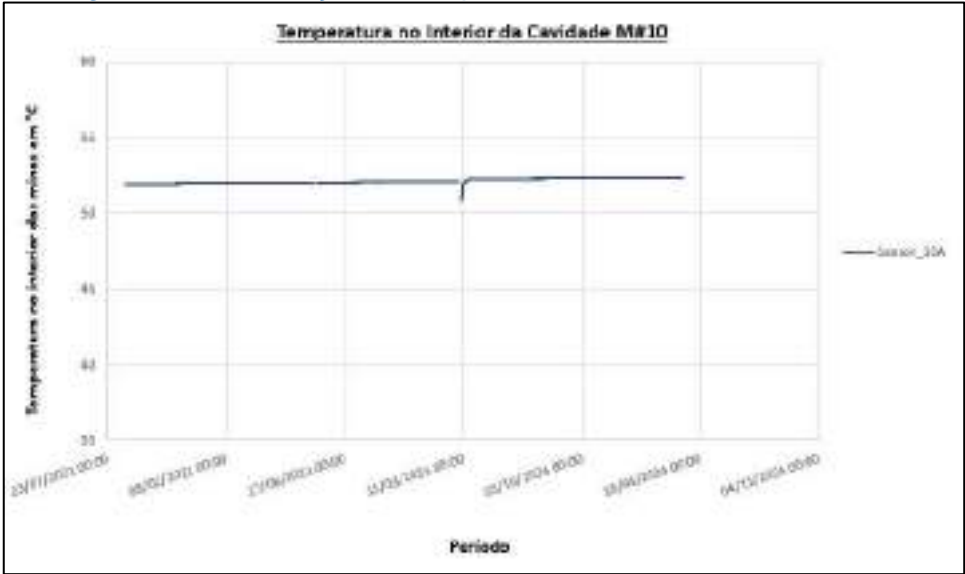
Entende-se que a cavidade indica estabilização da pressão e vem apresentando características de estanqueidade. No mês de março/24 o piezômetro passou por manutenção entre os dias 20/03 e 31/03. Após identificar danos em diversos pontos do poço 10AD, o piezômetro, anteriormente posicionado em 896 m, foi inspecionado e reinstalado utilizando uma coluna de 4 1/2" em 423,7 m de profundidade.


Figura 18.5 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#10



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#10 foram corrigidas para o topo da cavidade em 919,9m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 158,18 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 94,04 BAR.

Figura 18.6 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#10

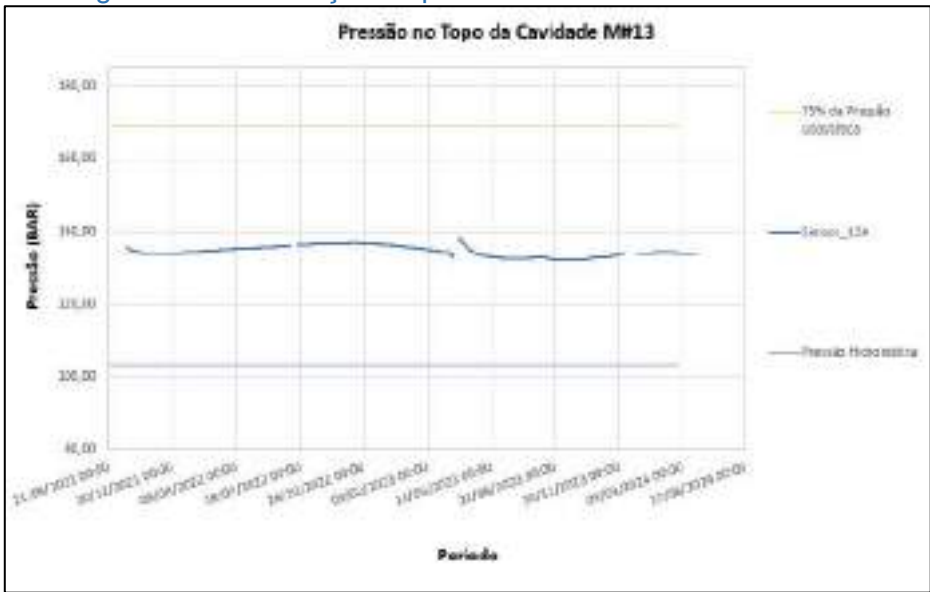


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 173	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.3 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#13 - ATUALIZADO

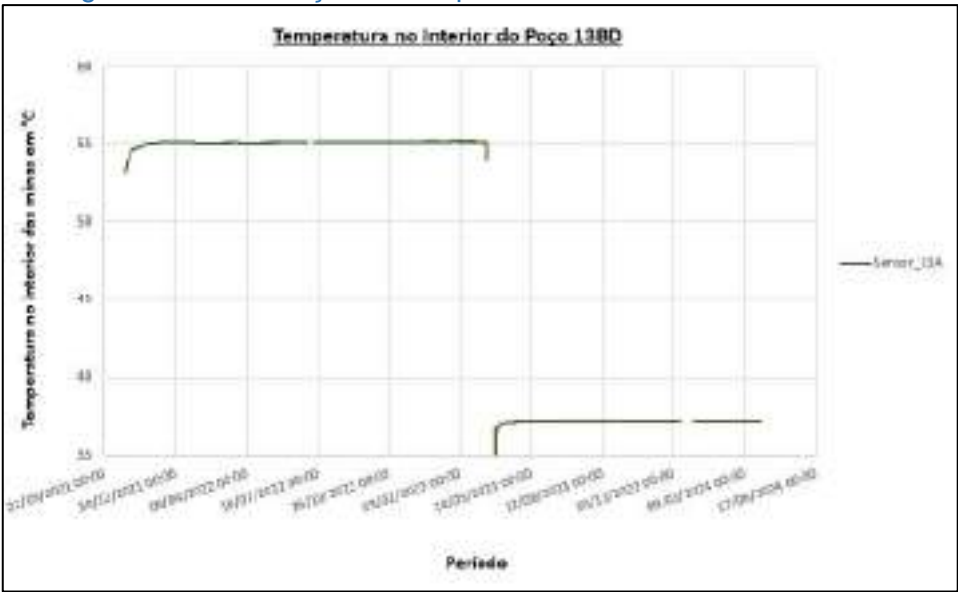
Entende-se que a cavidade indica estabilização da pressão e vem apresentando características de estanqueidade.

Figura 18.7 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#13




Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#13 foram corrigidas para o topo da cavidade em 997,3m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 169,19 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 103,29 BAR.

Figura 18.8 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#13



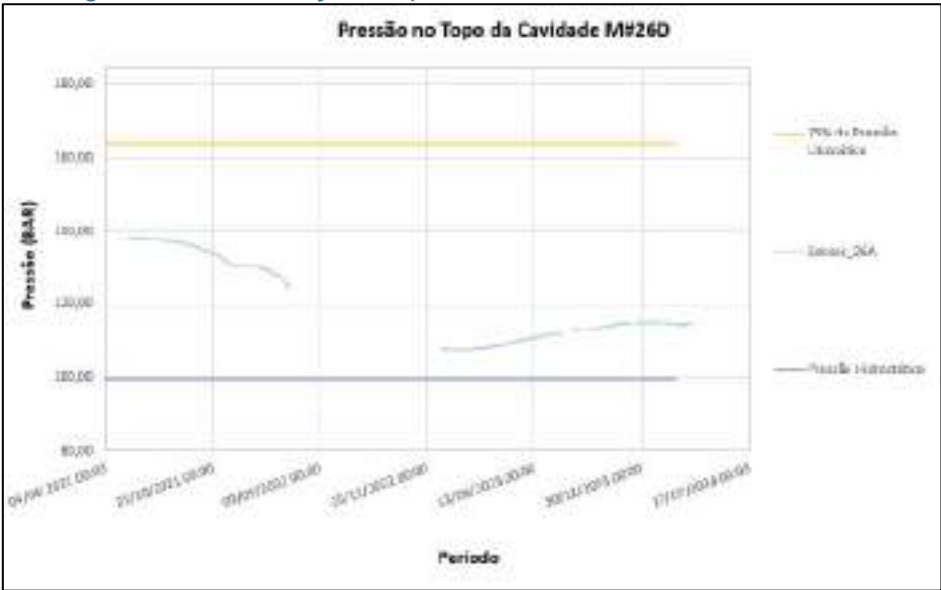
Nota 1: A queda na temperatura se deve ao reposicionamento da profundidade do piezômetro no poço.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 174	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.4 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#26D - ATUALIZADO

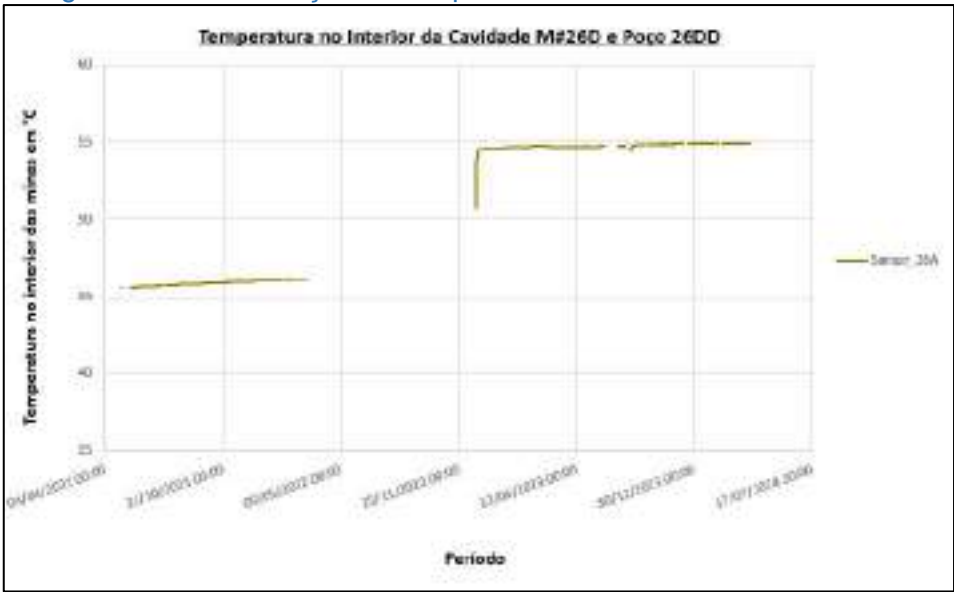
Entende-se que a cavidade indica estabilização da pressão.


Figura 18.9 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#26D



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#26D foram corrigidas para o topo da cavidade em 966,26m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 163,92 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 94,04 BAR.

Figura 18.10 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#26D

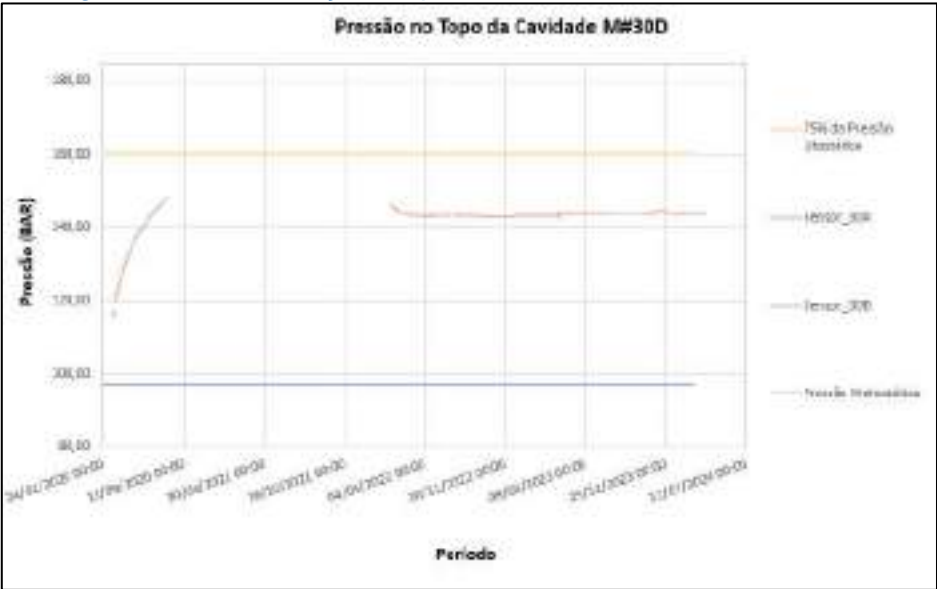


RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 175	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.5 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#30D - ATUALIZADO

Entende-se que a cavidade indica estabilização da pressão e vem apresentando características de estanqueidade.

Figura 18.11 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#30D



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#30D foram corrigidas para o topo da cavidade em 944,36m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 160,21 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 96,96 BAR.

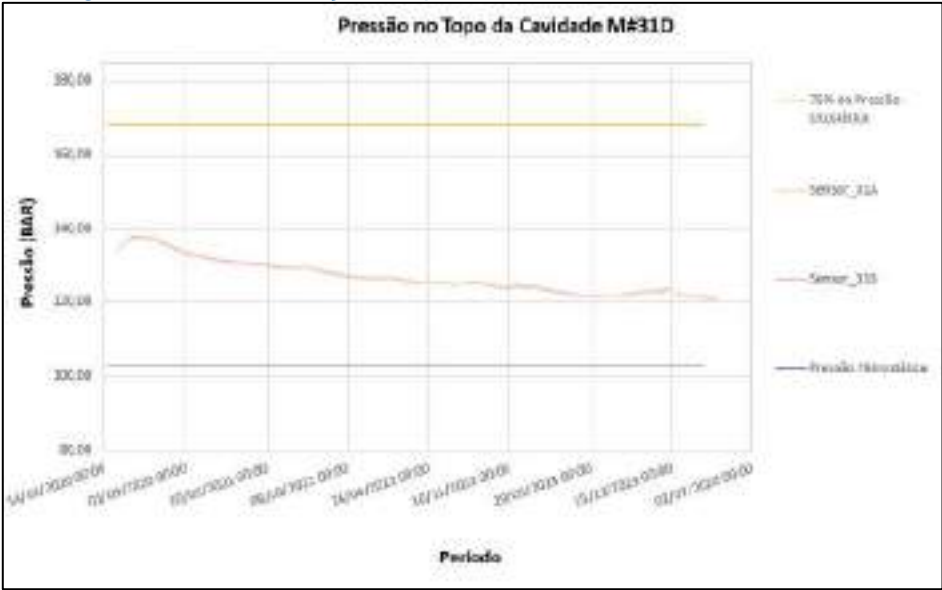
Figura 18.12 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#30D



6.1.6 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#31D - ATUALIZADO

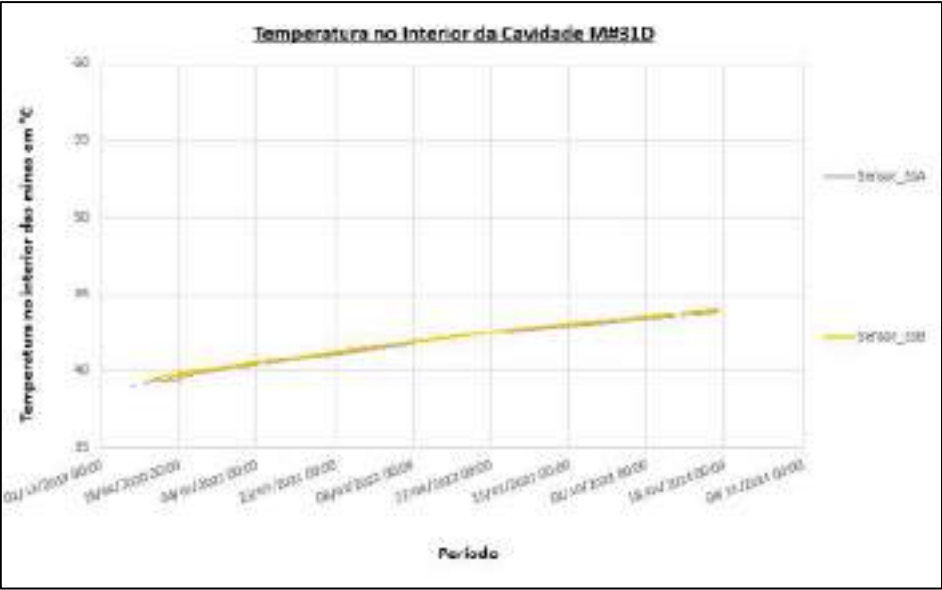
Entende-se que a cavidade indica um comportamento de redução da pressão.

Figura 18.13 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#31D



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#31D foram corrigidas para o topo da cavidade em 991,65m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 168,23 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 102,62 BAR.

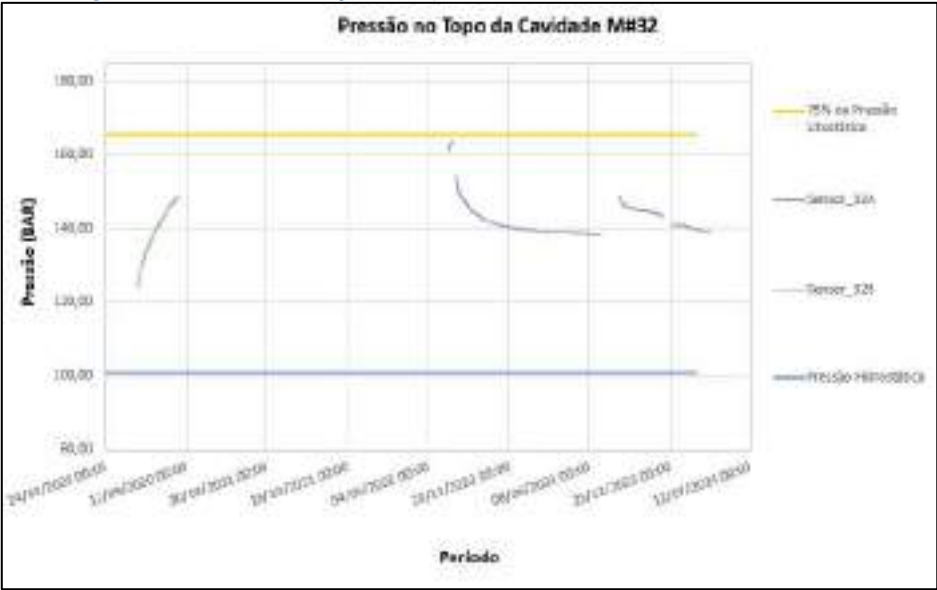
Figura 18.14 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#31D



6.1.7 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#32 - ATUALIZADO

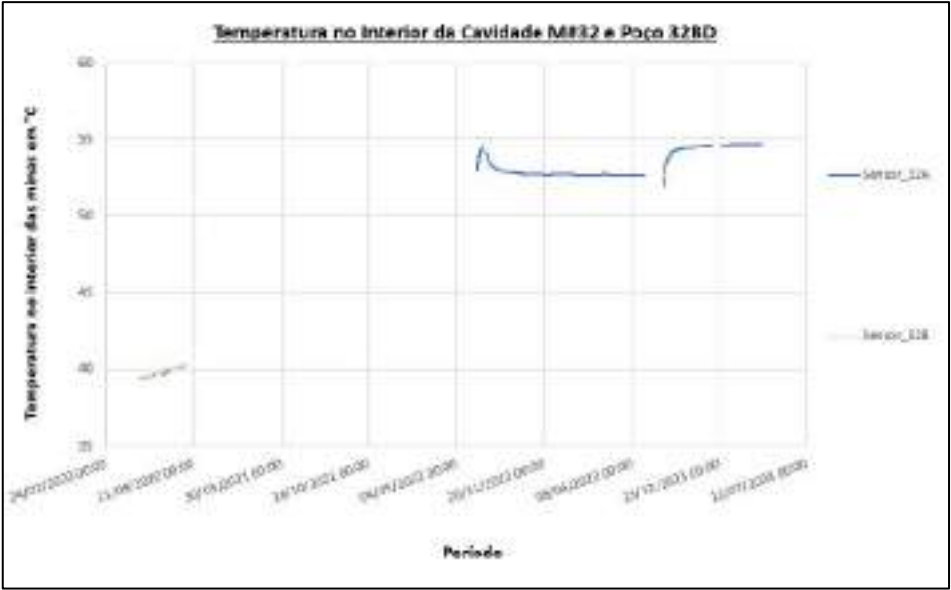
Entende-se que a cavidade indica um comportamento de redução da pressão.


Figura 18.15 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#32



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#32 foram corrigidas para o topo da cavidade em 976,49m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 165,66 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 100,8 BAR.

Figura 18.16 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#32



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 178	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.1.8 MEDIÇÃO DE PRESSÃO VIA PIEZÔMETRO DA CAVIDADE M#35D - ATUALIZADO

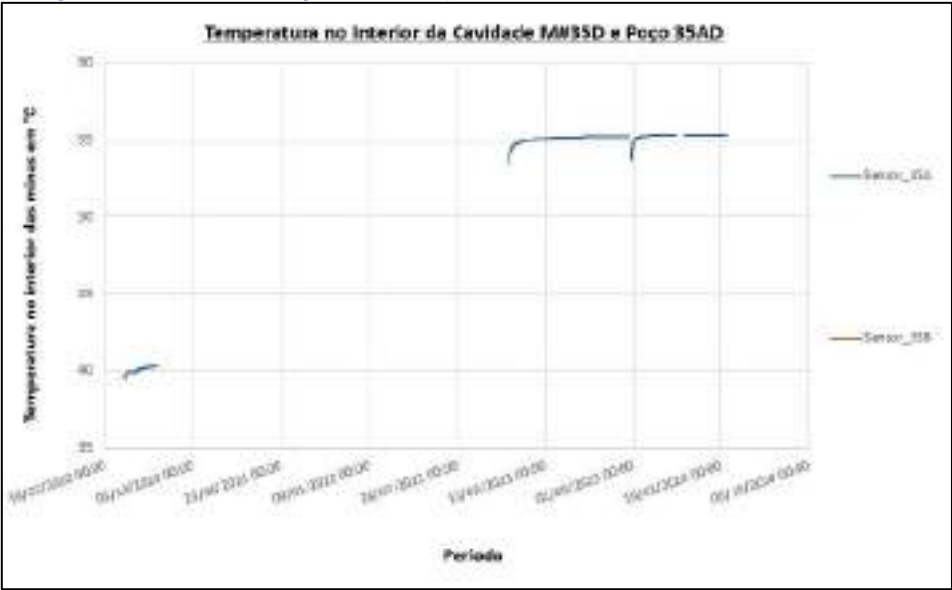
Entende-se que a cavidade indica estabilização da pressão e vem apresentando características de estanqueidade.


Figura 18.15 – Evolução da pressão da Frente de Lavra M#35D



Nota 1: As pressões referentes à Frente de Lavra M#35D foram corrigidas para o topo da cavidade em 942,58m TVD.
Nota 2: A pressão de referência no topo desta cavidade é de 75% da pressão litostática, conforme recomendação da consultoria Sabine Storage and Operations (SSO) sendo neste caso, igual a 159,90 BAR e a pressão hidrostática, que seria a menor pressão para a mesma profundidade é 96,75 BAR.

Figura 18.16 – Evolução da temperatura na Frente de Lavra M#35D



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 179	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

As informações contidas neste capítulo estão sendo apresentadas em atendimento à solicitação apresentada por meio do Ofício nº 12128/2022/GER-AL/ANM, item 03, e Ofício 12114/2022, item 02. Deste modo, conforme evidenciado por meio da Nota Técnica de Esclarecimento (SEI 4114834) entende-se como atendida de forma integral as recomendações formuladas por meio dos referidos Ofícios, sendo que as atualizações passam a compor os relatórios mensais.

6.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE LAVRA - ATUALIZADO

6.2.1 MONITORAMENTO DA SUBSIDÊNCIA POR DGPS - ATUALIZADO

Todos os dados de monitoramento do sistema DGPS estão contemplados no relatório mensal da empresa Geoapp, anexo 02 ([Geoapp: MONTHLY REPORT ON THE MONITORING DATA OVER THE MACEIO' AREA](#)). Informamos que a tradução do referido relatório será apresentada a esta Agência tão logo concluída.

A partir da atualização de maio/2023, o relatório síntese da empresa Geoapp, passou a analisar de forma individual e integrada, não somente os dados de INSAR, DGPS e topografia, mas também os dados dos inclinômetros, tiltímetros e monitoramento microssísmico tendo assim uma maior integração do acompanhamento dos diversos sistemas de monitoramento. Para o sistema DGPS são apresentados dados de velocidade nas componentes Norte-Sul, Leste-Oeste e Vertical, além da quantificação dos limiares de warning e/ou alertas observados na referida atualização. Com o intuito de permitir uma análise mais ampla dos deslocamentos medidos na mineração e entorno, serão apresentados os dados de monitoramento das 74 antenas DGPS instaladas na pretérita área de mineração e entorno, vide Figura 19. Atualmente, o sistema de monitoramento por DGPS é composto de 77 antenas, das quais 03 são bases de monitoramento, 10 equipamentos possuem o tag “Mina (M#)” e estão instalados prioritariamente em áreas próximas as cavidades, 62 antenas possuem o tag “DG” e foram instaladas conforme Termos de Cooperação 01 e 02, com a Defesa Civil Municipal de Maceió e demais ações, e 02 estações possuem o tag “RB” que foram instaladas pós ocorrência do dia 10.12.23.

Adicionalmente, levando em consideração as lições aprendidas durante a ocorrência da cavidade 18 e reconhecendo a importância do sistema de monitoramento, 13 novas antenas serão instaladas a fim de densificar a rede por DGPS, considerando a área de segurança de cada cavidade. Este quantitativo de antenas poderá ser ajustado conforme necessidade.

A UFAL, através do projeto da Linha Temática 03: “Análise da Qualidade dos Dados Geodésicos e Topográficos Advindos das Diversas Técnicas Utilizadas para o Monitoramento de Deslocamento de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 180	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


Superfície”, emitiu a sugestão técnica sobre a “Verificação dos Métodos de Monitoramento de Superfície: Rede Geodésica GNSS”, o arquivo segue como anexo 05 deste relatório.

Os resultados do acompanhamento dos DGPS podem ser vistos no relatório anexo 02 (Geoapp: MONTHLY REPORT ON THE MONITORING DATA OVER THE MACEIO’ AREA). O relatório da Geoapp (anexo 02) apresenta uma análise das 74 antenas GNSS utilizando dados do Projeto 12h da plataforma Trimble 4D (Pós processado de 12h) para identificar possíveis acelerações ou desacelerações dos movimentos e compará-los com dados InSAR coletados no mesmo período.

Conforme já informado por meio do protocolo SEI nº 7549791, em 28.05 foi identificada a ocorrência de desnivelamento da sonda durante as atividades de perfuração do novo poço de interceptação 26FD. Na referida data, foram observados deslocamentos no DGPS M35, equipamento mais próximo das atividades, nas três componentes (dN, dE e dH). Estão sendo realizadas novas avaliações com vistas a retomada desta operação e melhor entendimento do ocorrido.

Figura 19 – Localização das antenas DGPS.



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 181	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

6.2.2 MONITORAMENTO DA SUBSIDÊNCIA POR TOPOGRAFIA - ATUALIZADO

Os dados de topografia são, em geral, apresentados com periodicidade trimestral, no relatório mensal da empresa Geoapp, anexo 02.

Conforme razões apresentadas no documento SEI nº 1665013, a Braskem informou a alteração da periodicidade na realização das campanhas mensais de topografia para trimestrais. [Logo, a versão de março/2024, do relatório da Geoapp, não contempla atualização da topografia, conforme calendário trimestral. A próxima atualização da topografia no relatório da Geoapp ocorrerá em maio/2024.](#)

O relatório síntese da empresa Geoapp analisa de forma individual e integrada os dados de INSAR, DGPS e topografia. A análise de dados apresentada no relatório refere-se sempre ao mês anterior à atualização do Plano de Fechamento, ou seja, na apresentação de dados do mês de [maio/2024](#) do PFM, serão apresentados os dados referentes a topografia do mês de [abril/2024](#) no relatório da Geoapp. No que tange à campanha de topografia, são disponibilizados, trimestralmente, dados do nivelamento geométrico, os quais permitem calcular o deslocamento vertical do terreno considerando intervalos determinados

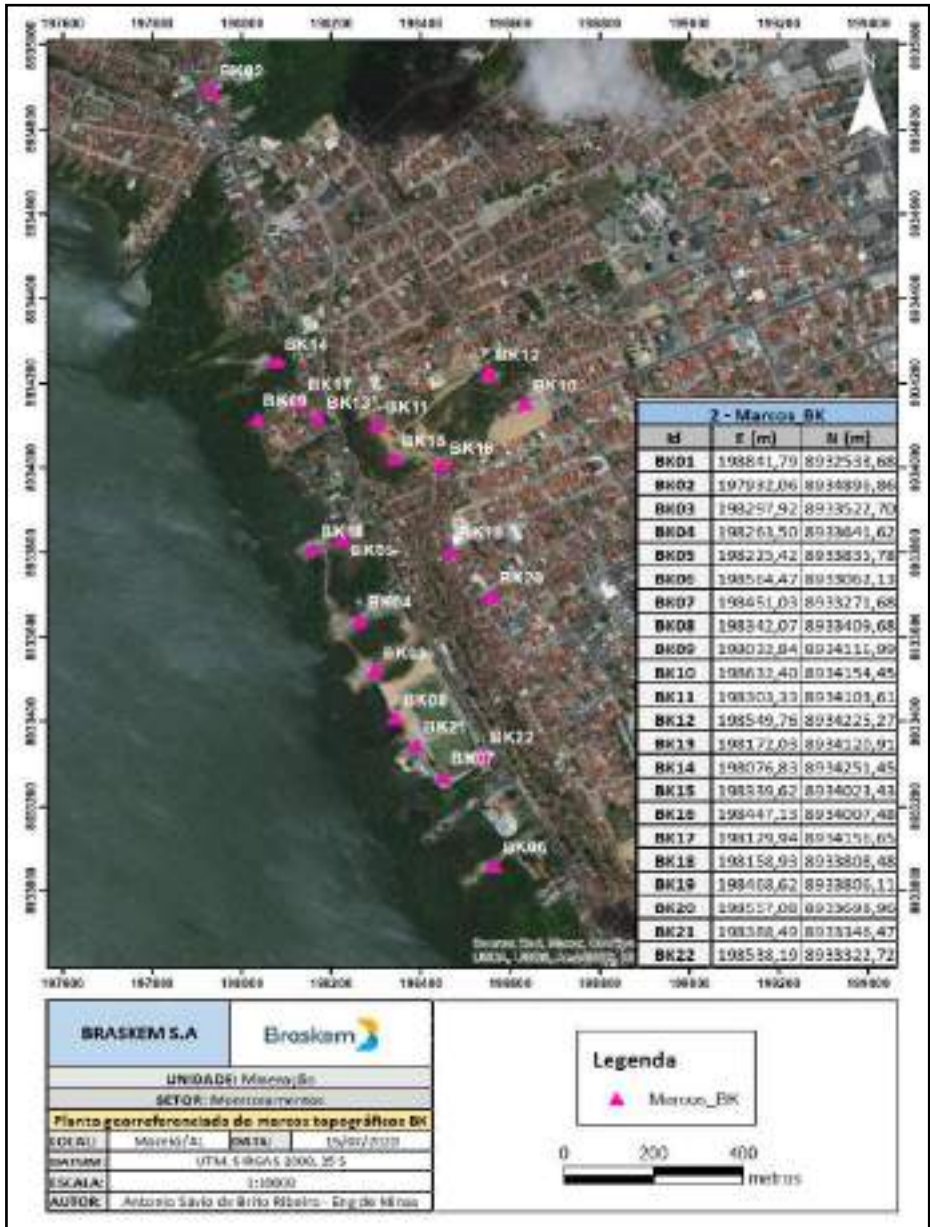
O Nivelamento Geométrico é baseado no paralelismo de planos, cujos instrumentos empregados são o nível eletrônico com tripé e a mira (por código de barra). Em cada estação mede-se a altura, ou seja, a distância vertical que vai da referência de nível (marco com a cota conhecida) até a linha de visada (marco do monitoramento), estabelecida com o nível. A partir destas alturas e da cota inicial, determinam-se as cotas de todos os pontos subsequentes.

É importante salientar que a conservação e acesso a todos os marcos é mantida e zelada dentro das condições operacionais. Porém, manutenções necessárias nos marcos e trabalhos de sondas de perfuração, resultam em alguns marcos que não possam ser medidos em todas as campanhas, tendo sua mensuração reestabelecida em campanha posterior ou tão logo possível.

Adicionalmente, com relação aos marcos topográficos localizados nas cabeças dos poços, a Braskem ressalta que a tendência é que a cada nova campanha de topografia, o quantitativo de leituras referentes aos marcos “Mina” seja reduzido, em razão da realização do arrasamento dos poços, conforme plano de atividades previsto para o Fechamento das Frentes de Lavra. É válido ressaltar que a redução dos marcos topográficos “Mina” não compromete a qualidade do monitoramento do deslocamento do solo, uma vez que o monitoramento por topografia continua a ser executado nos marcos BKs instalados nos mesmos terrenos onde há cabeças de poços. Ainda, com o colapso da cavidade 18, o marco topográfico localizado na área foi submerso. A previsão é que até a próxima campanha (abril/24), um novo marco seja materializado, possibilitando a continuidade do monitoramento por topografia na região.


Na Figura 20 é possível verificar a disposição e coordenadas dos marcos BKs. Já os marcos de prefixo Mina, possuem localização coincidente com a cabeças dos poços.

Figura 20 – Localização dos marcos topográficos BKs



6.2.3 MONITORAMENTO DA SUBSIDÊNCIA POR INTERFEROMETRIA - ATUALIZADO

Dois relatórios mensais compõem os estudos que relacionam os dados de interferometria e subsidência. O primeiro relatório é apresentado pela empresa TRE Altamira que, além de coletar e

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 183	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

processar os dados do satélite TerraSAR-X, apresenta um histórico que abrange desde a qualidade na coleta dos dados até o acompanhamento e análise da subsidência em 21 poligonais espalhadas pela região dos bairros. Já o segundo relatório é apresentado pela empresa Geoapp que interpreta os dados de Interferometria, DGPS e dados topográficos, conforme resumo no item 7 deste plano.


Como os dados captados pelo satélite TerraSAR-X necessitam de um certo tempo para serem interpretados, o relatório da TRE Altamira, apresentado no anexo 03, apresenta dados referentes ao mês fevereiro/2024.

Em resumo, a atualização do relatório da TRE Altamira no mês de janeiro de 2024 apresentou resultados referentes ao deslocamento no solo da geometria ascendente e dos dados decompostos (Leste-Oeste e vertical). Também foram analisados comportamentos de velocidade e aceleração das medidas de deslocamento.

Os resultados apresentados a partir da atualização que contém os dados de junho/2022 estão utilizando uma nova baseline. Segundo a TRE Altamira: “A análise SqueeSAR® da nova baseline inclui o processamento em LOS das geometrias ascendente e descendente e a decomposição vetorial 2D do movimento nos pontos coincidentes em ambas as geometrias LOS no período de imagens de junho de 2019 a junho de 2022. O novo processamento de baseline, além de remover os pontos de medição temporários que perderam qualidade devido às mudanças provocadas pelas alterações na superfície ao longo do tempo, mantendo-se apenas os pontos com retorno de fase interferométrica mais estável, resultou em um aumento substancial da densidade de MP, um pouco mais que o dobro na geometria ascendente e mais que o triplo na geometria descendente, aproximadamente, graças à aplicação do novo algoritmo de processamento que a TRE ALTAMIRA desenvolveu como melhoria da cadeia de processamento SqueeSAR®.”

A análise utilizou a técnica SqueeSAR® patenteada pela empresa TRE ALTAMIRA que processa multi-interferogramas e consegue medições dos deslocamentos do terreno com alta precisão. Para a nova baseline com atualização de fevereiro de 2024 foram utilizadas 154 imagens do satélite TerraSAR-X em geometria ascendente e 159 imagens em geometria descendente, cobrindo o período de junho de 2019 a janeiro de 2024.

Como apresentado anteriormente na reunião realizada com esta Agência nos dias 28 e 29 de março/2023, a instalação dos Cones de Reflexão (Corner Reflectors), para fins de monitoramento do deslocamento do solo através dos dados InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), tem como objetivo principal viabilizar o contínuo monitoramento por interferometria das áreas que já passaram pelo processo de demolição ou que passarão por alguma dinâmica que resulte em alteração da capacidade de reflexão do terreno.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 184	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Diante do compromisso firmado pela Braskem de realizar o monitoramento da movimentação do solo na área do mapa de realocação, o primeiro cone refletor foi instalado em 16/06/2023. Após a validação do sinal refletido e do método de instalação adotado, os demais cones serão instalados considerando as áreas disponíveis até o momento.

6.2.4 MONITORAMENTO DA ÁREA AFETADA PELO EVENTO DE 10/12/2023 POR RADAR - ATUALIZADO

Conforme atualização apresentada em 13/12/2023 (SEI 10568925), em busca de metodologias adicionais para monitoramento do deslocamento do solo dessa região, foi instalado, no topo da encosta do Mutange fora da área de resguardo, equipamento adicional de monitoramento (Radar), denominado SSR-SARx, que realiza medidas de deslocamento de um ponto (pixel) na linha de visada do radar (LOS) entre duas leituras distintas considerando um intervalo de tempo. Os pontos utilizados devem possuir refletividade suficiente para permitir a leitura do radar.


O equipamento, fornecido pela empresa Ground Probe, inclui o apoio de um centro de avaliações dos resultados com geotécnicos e especialistas de operação do equipamento, com funcionamento 24 horas ao dia, 365 dias ao ano.

. O acompanhamento dos dados é realizado em três subáreas distintas, sendo essas as subáreas A, B e C, conforme Figura abaixo.

Figura 20-1 – Subáreas de monitoramento do Radar.



Considerando os dados acumulados no mês de março de 2024, conforme o informe online diário disponibilizado às 03h do dia 01/04/2024, observa-se que as três áreas não indicam tendência

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 185	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

de deformação. Em relação à subárea A, embora não haja indícios de variações na deformação que se destaquem significativamente do ruído da medição, o ponto A10, que era monitorado com o intuito de estabelecer uma base para o monitoramento na referida subárea, passou a apresentar comportamento ruidoso de acordo com a empresa especializada GroundProbe. Isso pode ser atribuído ao baixo retorno de sinal na área e/ou à presença de ruído causado pela influência de água e vegetação nos dados de monitoramento. Ainda, durante o mês de fevereiro, alguns pontos de acompanhamento nas três subáreas, apresentaram comportamento cíclico e/ou ruidoso, provavelmente associado ao baixo retorno de sinal.

A subárea B apresenta o maior registro de deformação negativa acumulada, considerando desde o dia de instalação, 14 de dezembro de 2023. No entanto, a partir do mês de fevereiro, os pontos de acompanhamento, de modo geral, passaram a apresentar comportamento ruidoso ou baixo retorno de sinal. No que se refere ao ponto B14, devido à proximidade da localização, é possível notar correlação com os dados obtidos pelo sensor GNSS RB01 instalado na área, demonstrando aderência principalmente com a componente horizontal dE. Na subárea C, não foram identificadas tendências de deformação nos pontos de controle.


Adicionalmente, a Geoapp e GroundProbe finalizaram a configuração da visualização dos dados de monitoramento do Radar que já estão disponíveis para acesso em tempo real na Plataforma Integrada de Monitoramento – PIM. No que diz respeito ao histórico (14/12/2023 à 08/01/2024) será em breve disponibilizado na plataforma.

Ressalta-se que o equipamento foi instalado como metodologia adicional de monitoramento, com duração de 6 meses (início em dezembro/23), sendo uma alternativa provisória diante do cenário de interdição da área de segurança da cavidade 18.

6.2.5 MONITORAMENTO DA ÁREA AFETADA PELO EVENTO DE 10/12/2023 POR BATIMETRIA NÃO TRIPULADA - ATUALIZADO

Algumas campanhas de batimetria não tripulada foram executadas na área da cavidade 18 e seu entorno, para acompanhamento do comportamento do fundo da laguna ao longo do tempo. O levantamento batimétrico foi realizado pela empresa especializada BIOMAP e os dados são processados em conjunto com os pesquisadores da UFAL. Até o momento temos as seguintes campanhas:

- Campanha E23: concluída em 19/12/2023. Dados já compartilhados (SEI 10705390);
- Campanha F23: concluída em 23/12/2023. Dados já compartilhados (SEI 10779160);

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 186	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

- Campanha G23: concluída em 27/12/2023. Dados já compartilhados (SEI 10779160);
- Campanha H23: concluída em 29/12/2023. Dados compartilhados em 08/01/2024 (por meio do mesmo link do teams no qual foram salvos os dados anteriores);
- Campanha I24: concluída 04/01/2024. Dados compartilhados em 17/01/2024 (por meio do mesmo link do teams no qual foram salvos os dados anteriores);
- Campanha J24: campanha concluída 06/01/2024. Dados compartilhados em 17/01/2024 (por meio do mesmo link do teams no qual foram salvos os dados anteriores); [Nova superfície processada, compartilhada em 15/04/2024.](#)
- Campanha K24: campanha concluída 28/01/2024. Dados compartilhados em 15/04/2024 (por meio do mesmo link do teams no qual foram salvos os dados anteriores);
- Campanha L24: campanha concluída 01/02/2024. Dados compartilhados em 15/04/2024 (por meio do mesmo link do teams no qual foram salvos os dados anteriores);


Os resultados da superfície processada (J24) reafirmam que a área de influência da ocorrência do evento do dia 10/12/2023 está inserida dentro do raio de segurança definido pelos Órgãos competentes, sendo três vezes o raio médio da cavidade 18 com base nos dados do sonar de agosto de 2023 (SEI 8993790). Com as novas campanhas disponibilizadas, em termos de profundidade, foi possível verificar pontos com [até 15,7 metros](#) na área do entorno da Mina 18.

A UFAL compartilhou a versão final do processamento das duas últimas campanhas de batimetria não tripulada (K24 e L24) que estavam em fase de análise preliminar, assim como a superfície da campanha J24 reprocessada. O objetivo foi realizar uma filtragem dos pontos considerados ruidosos, para que a superfície pudesse evidenciar o fundo da laguna na área afetada. As superfícies foram disponibilizadas na mesma plataforma que estão os dados anteriores. É válido ressaltar que o filtro não foi executado no pacote de dados brutos, apenas nas superfícies supracitadas.

A Braskem informa que a próxima campanha de batimetria tripulada do projeto em parceria com a UFAL, está prevista para final de abril de 2024.

6.2.6 MONITORAMENTO DAS ATIVIDADES DE PERFURAÇÕES COM GEOFONES

O monitoramento das atividades de perfurações dos poços e furos auxiliares é realizado por meio de sismógrafos de engenharia, cuja finalidade é identificar vibrações que possam causar impactos nas estruturas civis próximas às sondas.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 187	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

De acordo com o relatório da empresa Brain Engenharia, anexo 04, no mês de março de 2024, considerando todos os equipamentos, “os resultados não ultrapassaram os valores preconizados pelos parâmetros, que são: NBR9653:2018 e BS7385-2:1993”.

6.2.7 MONITORAMENTO POR MICROSSÍSMICA, TILTÍMETROS E INCLINÔMETROS - ATUALIZADO

O comissionamento dos equipamentos de monitoramento por microssísmica e por variação angular (tiltímetros) foi concluído no final de dezembro de 2020. Contudo, a campanha de monitoramento, que inclui esses equipamentos, foi iniciada em 1º de janeiro de 2021.

Como atualização para o período, informamos que os dados referentes ao Monitoramento Microssísmico, Tiltímetros e Inclinômetros passaram a ser sintetizados, a partir do mês maio de 2023, pela empresa Geoapp no relatório que integra o anexo 2 (Geoapp: MONTHLY REPORT ON THE MONITORING DATA OVER THE MACEIO' AREA). Neste sentido, no anexo 02, é apresentado o relatório de monitoramento, emitido pela empresa Geoapp, referente ao mês de [março de 2024](#). Esse relatório contém informações, tais como magnitude e localização dos eventos microssísmicos, dados de rotação angular dos tiltímetros, além das informações de deslocamento horizontal, temperatura e aceleração registrada pelos inclinômetros.


- Tiltímetros

Com relação aos dados de rotação angular dos tiltímetros, uma análise mais detalhada demonstra que, para o acompanhamento dos dados, [é necessário utilizar, preferencialmente](#), as informações coletadas às 6 horas da manhã. Isso se deve ao fato de que a influência da temperatura é mínima nesse horário. Os tiltímetros medem rotação angular, em dois eixos, com o eixo B registrando Norte (-)/Sul (+) e o eixo A registrando Leste(+)/Oeste(-).

[Quando se avaliam os dados dos tiltímetros, considerando somente as leituras de 6 horas da manhã de cada dia, a Geoapp informa que “\[...\] os movimentos no período foram, em geral, menores que 0,1°. Não foram observados movimentos abruptos \(movimentos únicos significativos\) durante o mês de março de 2024.”](#)

- Inclinômetros

Os dados medidos pelos inclinômetros são enviados automaticamente para o servidor da empresa CSG, por meio do software DMS® Ew, e podem ser acessados via internet, sendo registrados e transmitidos dados de monitoramento a cada 6 horas. Os equipamentos registram dados de

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 188	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

deslocamento horizontal, acumulado e discreto, além de temperatura, nível de água e aceleração. Os dados estão dispostos no relatório mensal emitido pela Geoapp, conforme anexo 02.

Com relação ao monitoramento de deslocamento por inclinômetros em março de 2024, a Geoapp informa: “No que diz respeito aos inclinômetros, foi possível observar que os deslocamentos de topo acumulados desde o início do monitoramento variaram entre 66,5 e 196,7 mm. Ao avaliar o valor do incremento mensal no topo dos instrumentos, verifica-se um deslocamento médio de 9,74 mm, o que representa um valor superior à média mensal registrada até o momento e se deve principalmente ao IN004. Pequenos deslocamentos de profundidade também foram identificados nos quatro sensores e podem estar associados ao processo de assentamento da coluna dos inclinômetros nestas regiões. Ressalta-se que a interpretação dos deslocamentos horizontais representa um monitoramento de longo prazo, ou seja, análises mais detalhadas, bem como conclusões quanto à taxa/velocidade dos deslocamentos medidos podem ser avaliadas com o aumento da série histórica.”

Considerando os valores do último mês e a variação da média mensal, a Geoapp vem realizando o acompanhamento para melhor entendimento do comportamento observado.

- Microsísmica

Com relação ao monitoramento baseado em microsísmica, em março de 2024, foram analisados manualmente e confirmados 67 eventos Classe A. Os eventos Classe A são os microssismos revisados manualmente ocorridos dentro de uma área de cerca de 5,3 km² chamada MAOI (Mining Area of Interest).

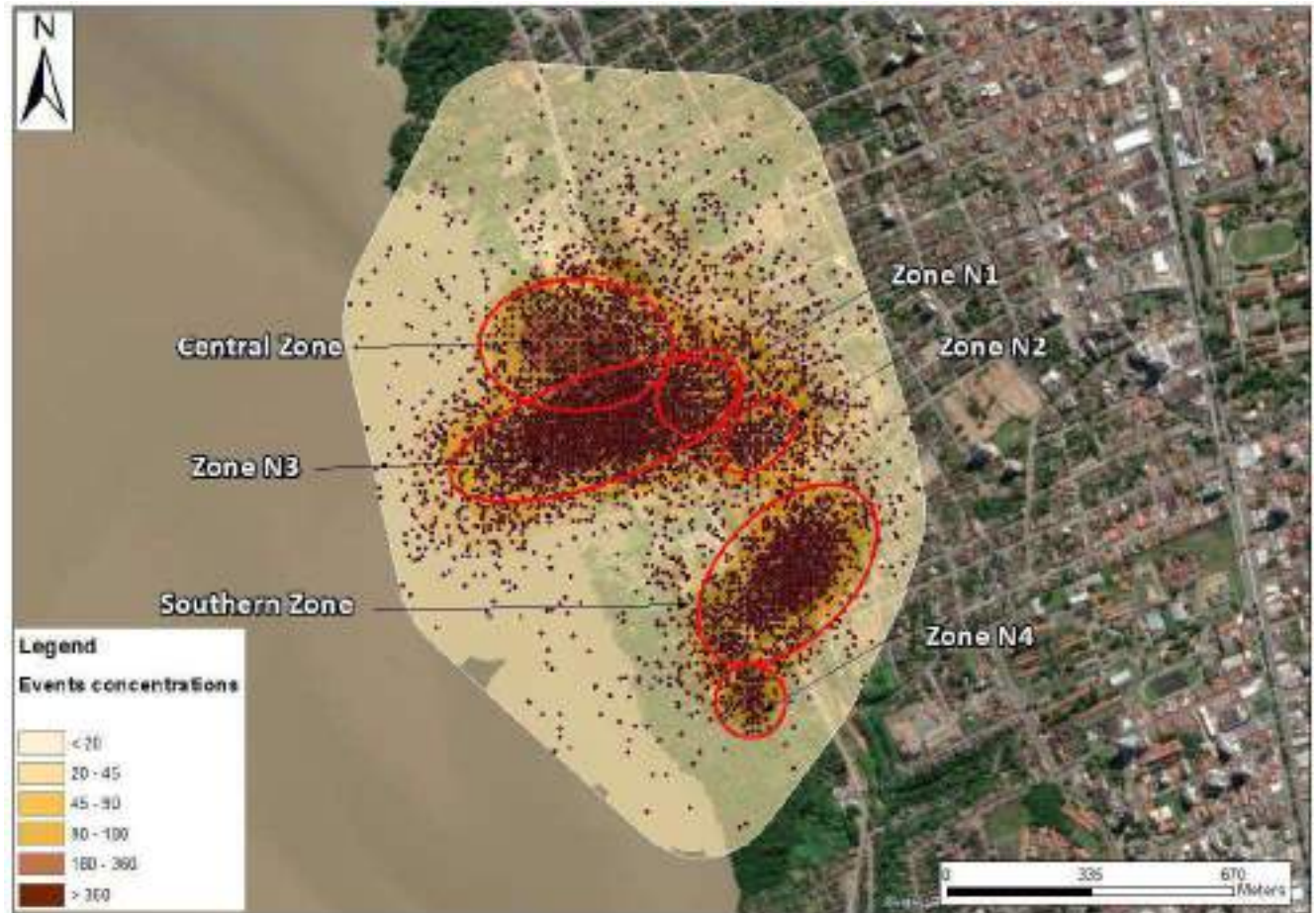
Com relação à quantidade e faixa de magnitude dos eventos microsísmicos registrados em março de 2024, a Geoapp informa: “Relativamente à atividade microsísmica, a rede confirmou através de verificação manual 67 eventos de Classe A durante o período de monitorização. A magnitude dos eventos varia entre -2,48 MI e -0,43 MI, com média de -1,6 MI.”

Com relação à distribuição epicentral dos eventos microsísmicos, a Geoapp informa: “Conforme explicado nos relatórios anteriores, existem cinco regiões geográficas que historicamente (ao observar dados desde 1 de janeiro de 2021) têm uma densidade de registro de eventos mais elevada. Estas regiões foram aqui referidas como zonas de concentração Central, Sul, N1, N2 e N4. Dos 67 eventos Classe A do período, 42 (62,7%) ocorreram em alguma das zonas. Em março de 2024, parte dos eventos de Classe A ocorreu em uma área denominada N3.”

Na Figura 21, é possível observar a localização epicentral dos microssismos registrados de janeiro de 2021 a março de 2024 e a localização das zonas de concentração. Informações complementares estão disponíveis no relatório mensal emitido pela Geoapp, conforme anexo 02.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				Braskem
ÁREA: Mineração	Pág.: 189	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt


Figura 21 – Localização das zonas de concentração epicentral de eventos microssísmicos acumulados até março de 2024.



Em 16 de outubro de 2023, dois tipos de alertas sísmicos foram implementados nas plataformas de monitoramento:

1. Baseado em taxa horária de eventos detectados automaticamente, densidade epicentral e persistência sísmica;
2. Baseado em estimativa automática de Magnitude Local para sismos com fases P e S identificáveis.

Tais alertas foram desenvolvidos pela empresa Geoapp, com dados fornecidos pela empresa Nanometrics, advindos dos sistemas de monitoramento da Braskem, e pela plataforma EPISODES (episodesplatform.eu), que forneceu os dados sismológicos relacionados ao Caso de Cerville-Buissoncourt (Kinscher, 2015). Os protocolos dos alertas foram desenvolvidos no âmbito do Comitê de Acompanhamento Técnico e apresentados por meio do SEI 10174955.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 190	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Com relação aos alertas baseados em taxa horária de eventos detectados automaticamente e em estimativa automática de Magnitude Local, a Geoapp informa: “Em março de 2024, não foram emitidos alertas ou avisos utilizando os critérios de magnitude (Figura 65), enquanto foram alcançados 4 limiares de observação (nível de observação) utilizando os critérios de taxa horária (Tabela 15, Figura 66) devido ao ruído antropogênico relacionado com uma operação de perfuração na Área 2.”

Com relação à sismicidade relacionada ao processo de colapso da cavidade M#18, a Geoapp informa:

“A partir de 6 de novembro, a atividade microssísmica aumentou significativamente com 8 fases (duas fases principais e seis fases secundárias) até o momento. A Fase 1 e, especificamente, a Fase 2 mostram a taxa média de eventos por hora e valores de duração superiores às fases seguintes. Após a fase principal 2, uma tendência de diminuição da duração e taxa foi observada, bem como um aumento no tempo de ocorrência entre uma fase e a seguinte (Figura 60) apontando para uma diminuição da sismicidade.”


“A distribuição total da posição 2D dos centroides está agrupada entre a Área 3 e a Área 4, mostrando um alinhamento ENE-OSO. A distribuição total da profundidade dos centroides mostra uma tendência geral de superficialização de 600-700 m a ~300 m. A partir da Fase 3, a taxa de superficialização é significativamente reduzida. A partir da Fase 6, é possível observar uma nova superficialização menor.”

“Assim como ocorreu em novembro, também em dezembro de 2023, a maioria dos eventos classe A são posicionados fora das elipses definidas com base dos eventos classe A, ocorridos entre 1º de janeiro de 2021 e 30 de outubro de 2023. Os eventos Classe A de dezembro de 2023 concentram-se em torno da estação de D-GPS M20, e a sua distribuição espacial permite definir uma elipse adicional, denominada Zona N3 (Figura 61).”

A ocorrência dessa sismicidade foi reportada à ANM por meio de reportes encaminhados nos dias 07/11/2023, 10/11/2023, 21/11/2023, 23/11/2023, 24/11/2023, 27/11.2023 (SEI 10304670), 28/11/2023, 29/11/2023 (SEI 10344343) e 30/11/2023 (SEI 10367384) bem como por meio do relatório de situação apresentado em atendimento ao ofício ANM Nº 42227/2023 de 29/11/2023, protocolado junto à esta Agência.

Conforme Despacho nº 4478/2024 (SEI 10920560) emitido por esta Agência, restou aprovada a suspensão do envio de atualização diária dos dados de monitoramento por meio de ofício.

A seguir, conforme aprovado por esta Agência por meio do Despacho nº 17015/2024, apresentamos o resumo das atualizações relacionadas à microssismicidade, anteriormente reportadas por meio de relatório semanal.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 191	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

- Desde o dia 19/12/2023 às 12.16h até o dia 25/01/2024 às 10:05h, o limiar de observação não tinha sido atingido. Contudo, no dia 25/01/2024 às 10:06h, em função de atividades relacionadas às demolições emergenciais fora da Área de Resguardo, o limiar de observação foi atingido, se mantendo desse modo (limiar de observação) por um período de aproximadamente 34 minutos, ou seja, algo pontual e, estando, portanto, vinculadas com atividades antrópicas.
- Desde o dia 28/11/2023 às 22.05h até 26/01/2024, não foram registrados eventos micro sísmicos revisados manualmente de magnitude positiva acima de 1 MI.

Como atualização ao último relatório semanal, enviado em 26/01/2024 (11154535), informamos a ocorrência de um limiar de observação de taxa horária em 31/01/2024 às 13h22min, com duração de 2 min, ocorrido em decorrência das atividades de demolições emergenciais fora da Área de Resguardo.

6.2.8 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM SUPERFÍCIE CONSIDERANDO A OCORRÊNCIA DA CAVIDADE 18 EM 10/12/2023

Considerando o cenário da ocorrência da cavidade 18, vimos apresentar as informações acerca do comportamento do deslocamento em superfície que pode ser verificado por meio da análise dos dados de DGPS e interferometria, atendendo ao item 04 do Ofício 2477/2024, conforme a seguir:

Figura 22: Localização das antenas GNSS próximas à ocorrência da cavidade 18.



ÁREA DIRETAMENTE AFETADA

O DGPS da Mina 20, devido à sua localização, registrou as maiores taxas de deslocamento em todas as três componentes (norte-sul, leste-oeste e vertical). A partir de 21/11/23, a antena indicou que a possível migração da cavidade estava começando a refletir em superfície. A partir do colapso, a referente antena deixou de registrar as informações em razão da perda do equipamento. Esta região carece de pontos naturais de interferometria, devido às limitações do método.

Figura 23: Gráfico de deslocamento nas três componentes do DGPS Mina20 localizado na área da ocorrência da cavidade 18 – julho/19 a fevereiro/24

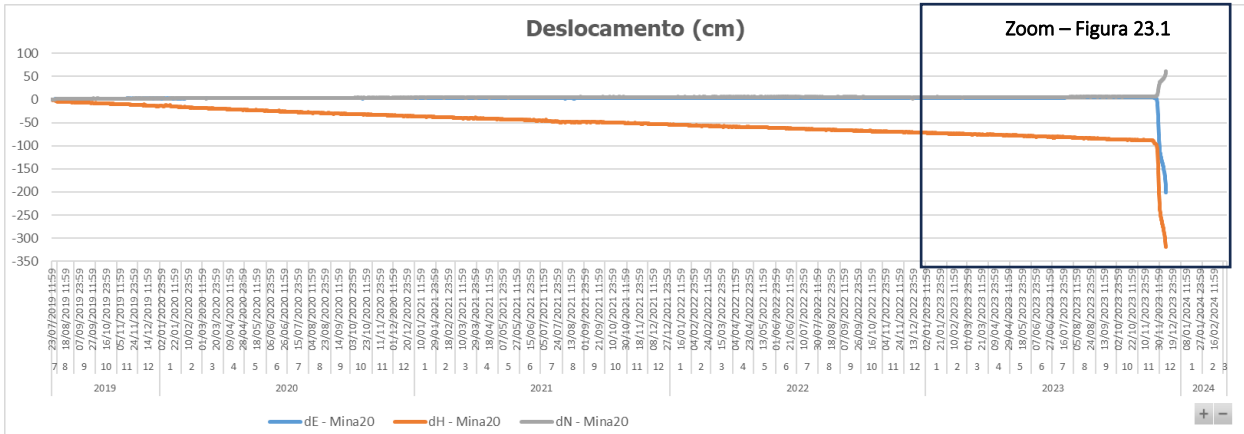
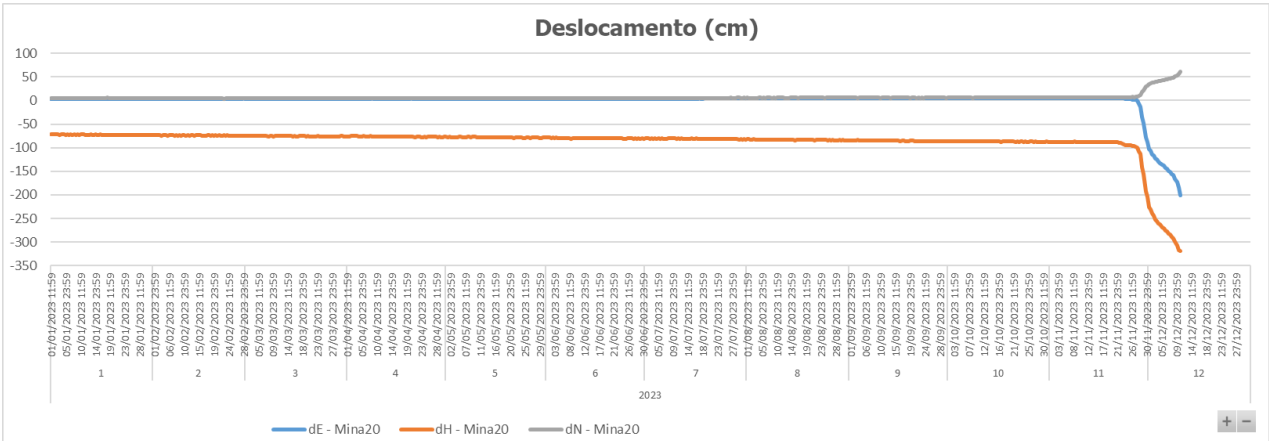


Figura 23.1: Gráfico de deslocamento nas três componentes do DGPS Mina20 localizado na área da ocorrência da cavidade 18 – janeiro/23 a fevereiro/24



ÁREA DO ENTORNO DO EVENTO

A partir de 21/11/23, as antenas DGPS próximas ao evento também demonstraram mudanças em suas três direções de deslocamento. É importante ressaltar que em maio de 2023, a antena DGPS da Mina 35 registrou um incremento no deslocamento vertical devido ao desnivelamento da Sonda Tucano 1, de conhecimento desta Agência (SEI 7549791). Ainda, em julho de 2023, a mesma antena foi elevada em razão do alteamento do solo necessário para a continuidade operacional das atividades do Plano de Fechamento de Mina Os dados do InSAR apresentam variação de deslocamento semelhante ao DGPS no final de novembro de 2023.

Figura 24: Gráfico de deslocamento vertical dos DGPS localizados no entorno da ocorrência da cavidade 18 – Julho/19 a Fevereiro/24

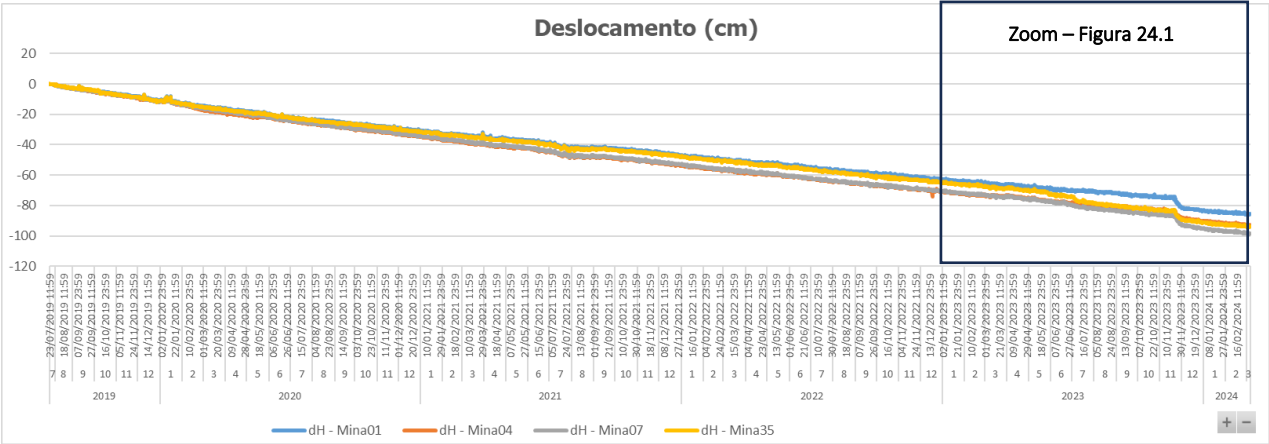


Figura 24.1: Gráfico de deslocamento vertical – janeiro/23 a fevereiro/24. Linha Verde: indica o início do deslocamento em superfície, resultante do processo de migração da cavidade 18. Linha Preta: data da ocorrência da cavidade 18. Linha azul: desnivelamento da Sonda Tucano 1. Linha laranja: alteamento da antena.

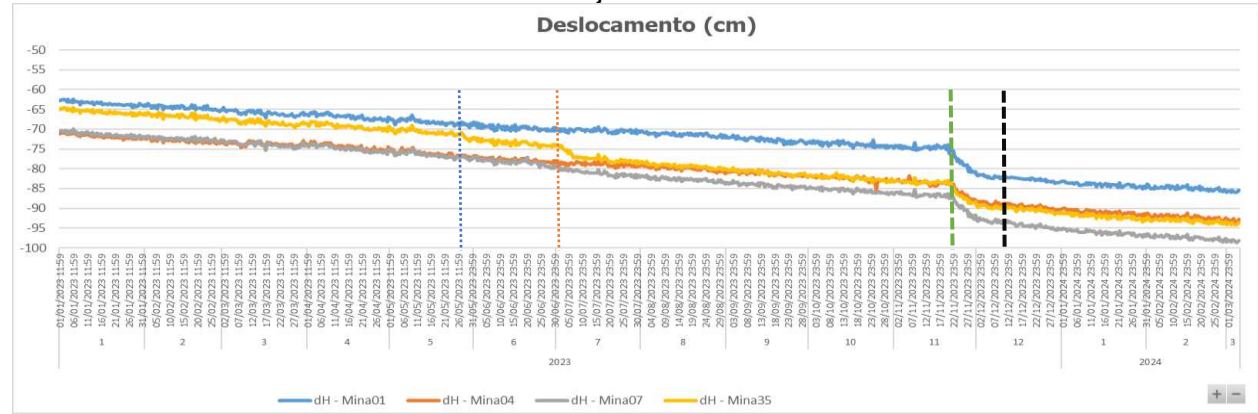


Figura 25: Gráfico de deslocamento leste-oeste dos DGPS localizados no entorno da ocorrência da cavidade 18 – Julho/19 a Fevereiro/24

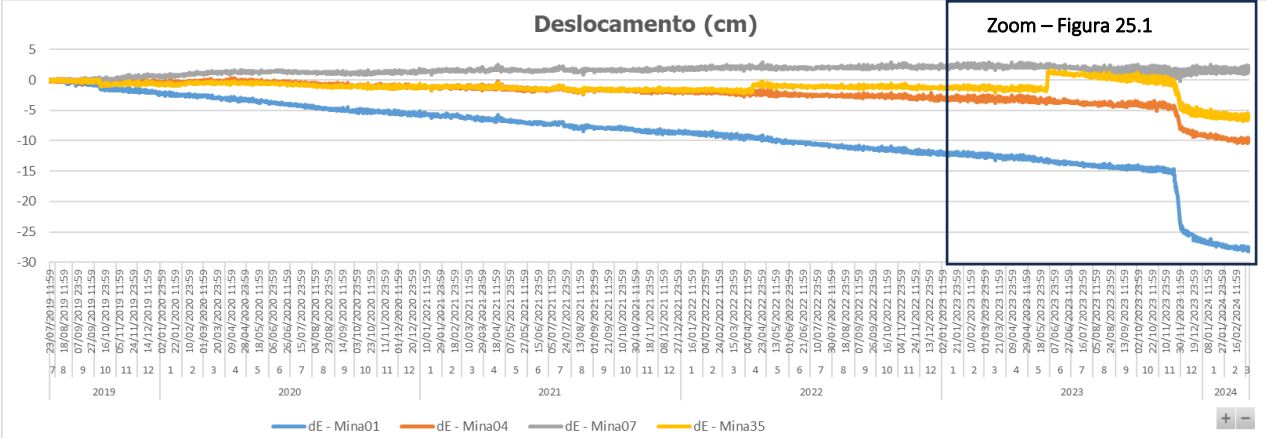


Figura 25.1: Gráfico de deslocamento leste-oeste – janeiro/23 a fevereiro/24. Linha Verde: indica o início do deslocamento em superfície, resultante do processo de migração da cavidade 18. Linha Preta: data da ocorrência da cavidade 18. Linha azul: desnivelamento da Sonda Tucano 1

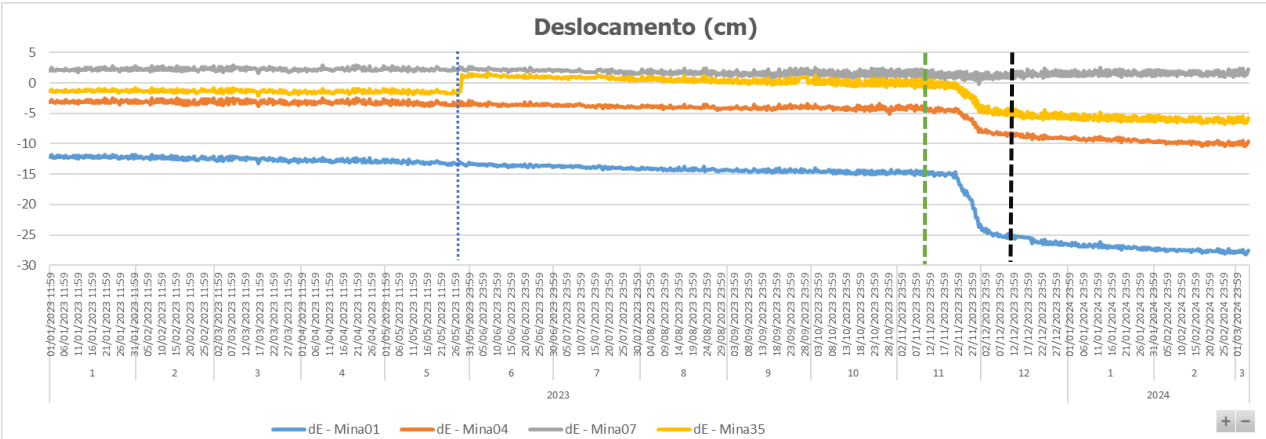


Figura 26: Gráfico de deslocamento norte-sul dos DGPS localizados no entorno da ocorrência da cavidade 18 – Julho/19 a Fevereiro/24

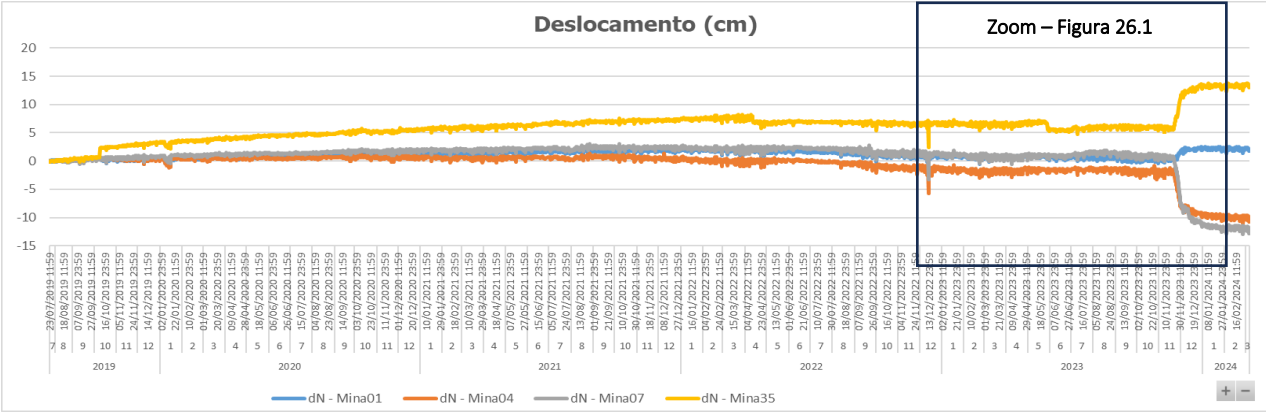


Figura 26.1: Gráfico de deslocamento norte-sul – janeiro/23 a fevereiro/24. Linha Verde: indica o início do deslocamento em superfície, resultante do processo de migração da cavidade 18. Linha Preta: data da ocorrência da cavidade 18. Linha azul: desnivelamento da Sonda Tucano 1

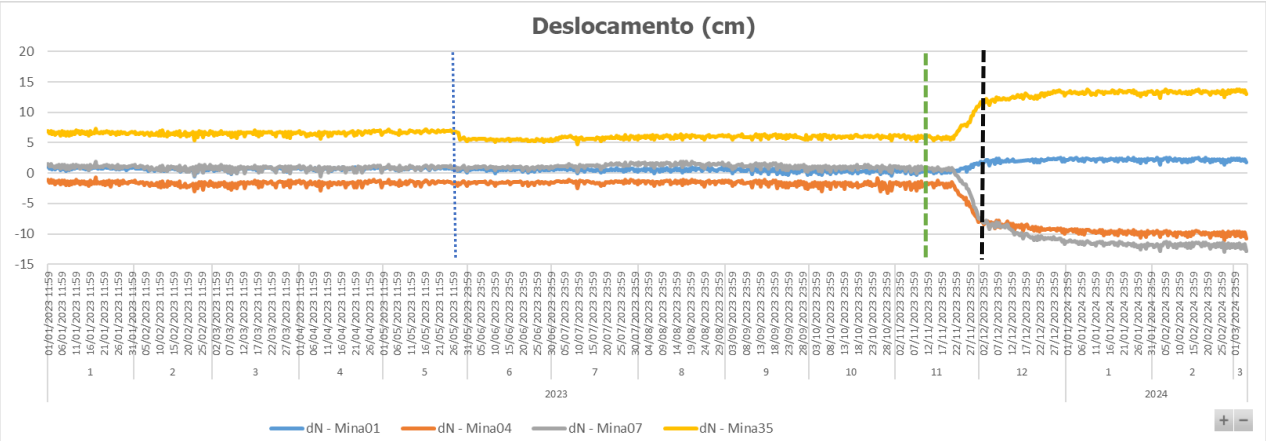


Figura 27: Gráfico de deslocamento vertical dos pontos InSAR localizados próximos às antenas de GNSS (conforme legenda) do período entre junho/19 a janeiro/24

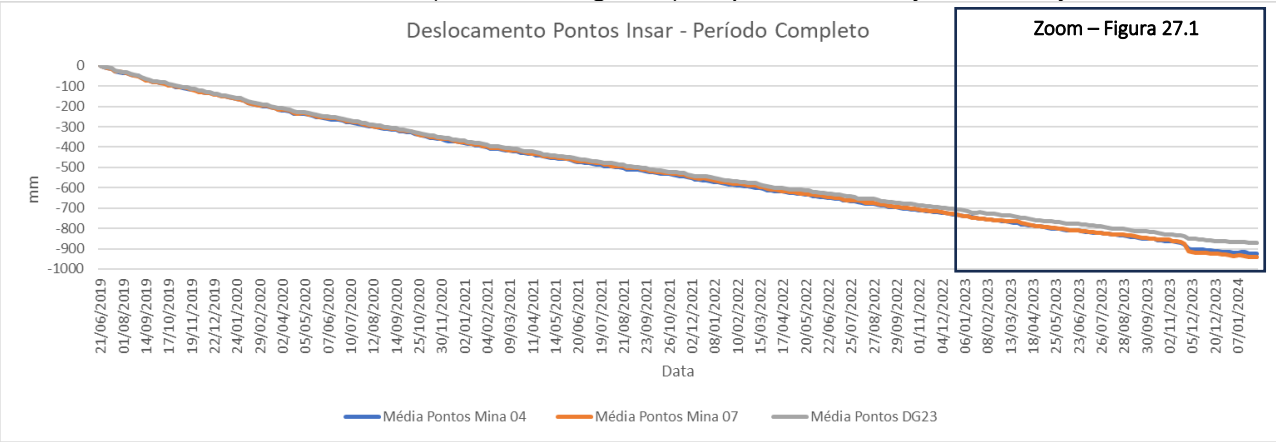


Figura 27.1: Gráfico de deslocamento vertical dos pontos InSAR localizados próximos às antenas de GNSS do período entre janeiro/23 e janeiro/24

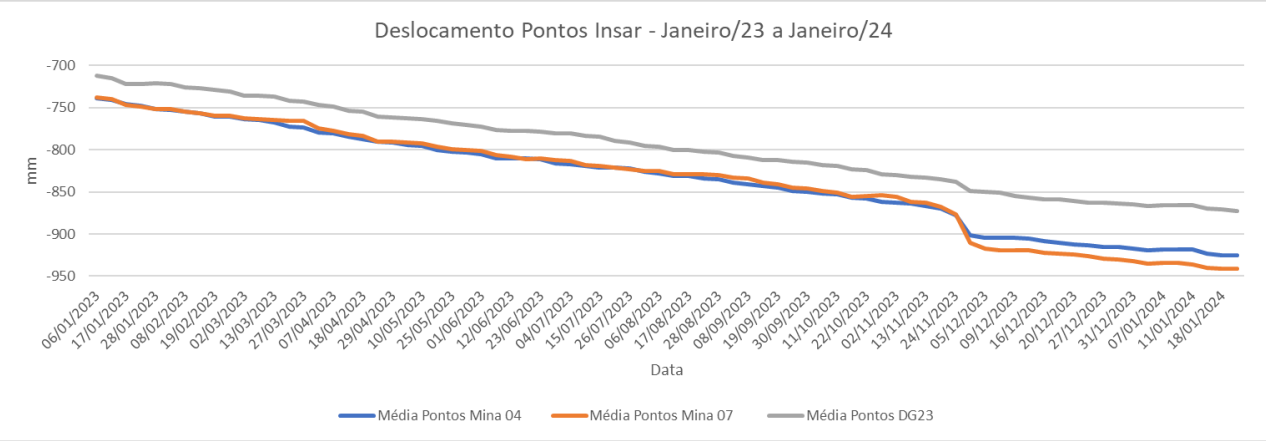


Figura 28: Gráfico de deslocamento horizontal dos pontos InSAR localizados próximos às antenas de GNSS (conforme legenda) do período entre junho/19 a janeiro/24.

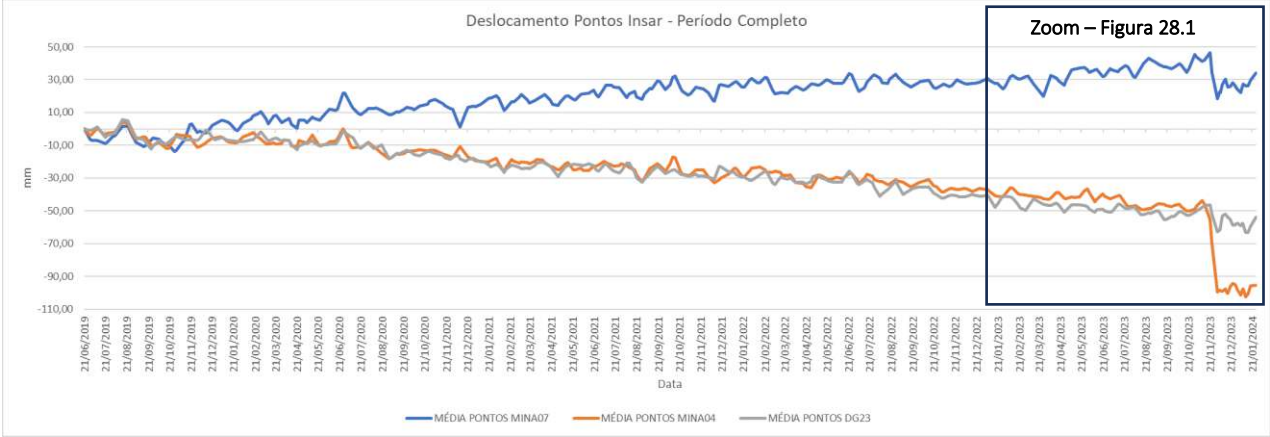
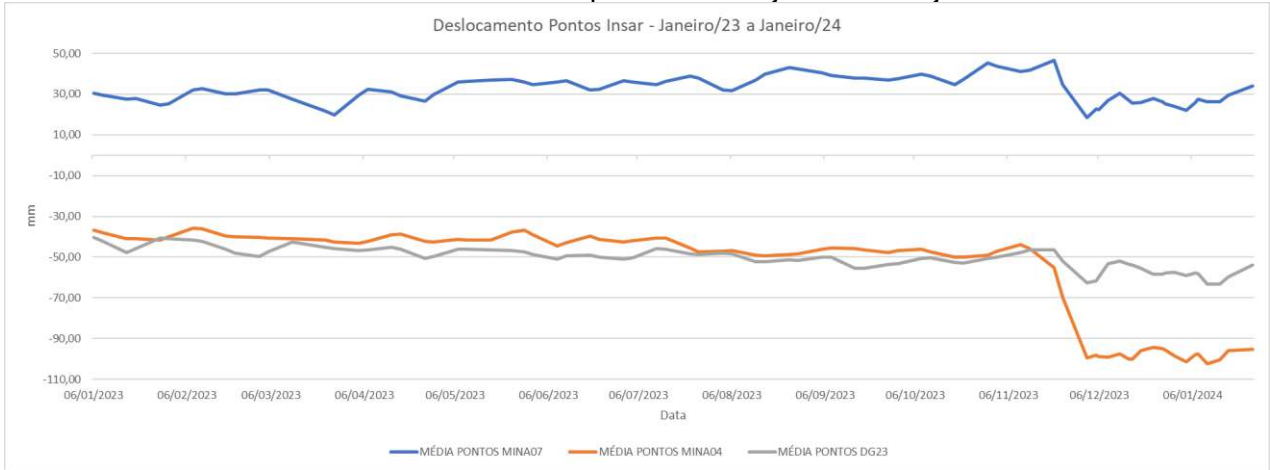


Figura 28.1: Gráfico de deslocamento horizontal dos pontos InSAR localizados próximos às antenas de GNSS do período entre janeiro/23 e janeiro/24



ÁREA DA BORDA DO MAPA

A análise dos gráficos das antenas DGPS e pontos InSAR localizados na região da borda do mapa, confirma que a área afetada pela ocorrência da cavidade 18 se restringiu a uma região específica, sem expansão para as áreas mais externas, conforme pode ser observado nas figuras a seguir.

Figura 29: Localização das antenas DGPS na área periférica do Mapa de Linhas e Ações Prioritárias – V4.



Figura 30: Gráfico de deslocamento vertical dos DGPS localizados na borda do mapa - Julho/22 a Fevereiro/24.

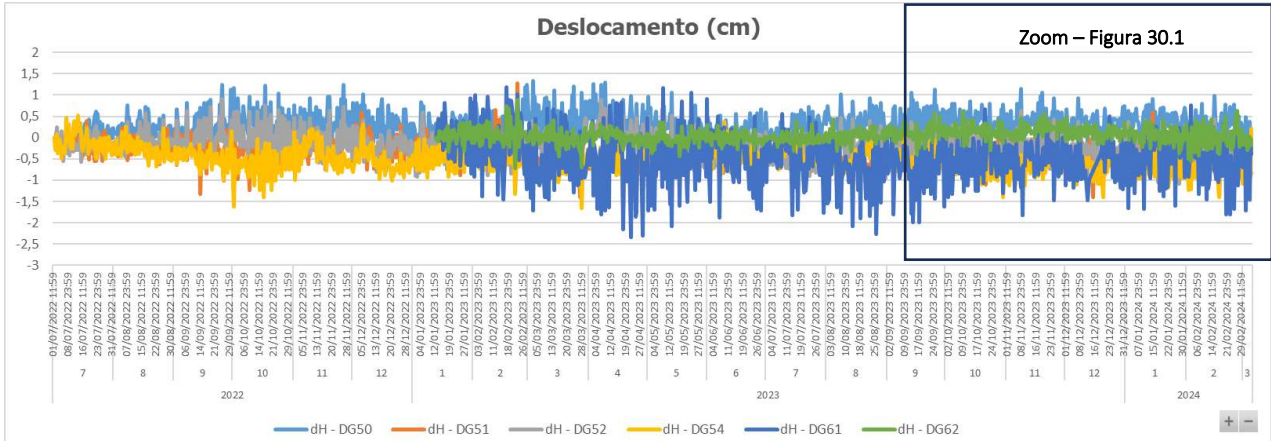


Figura 30.1: Gráfico de deslocamento vertical – setembro/23 a fevereiro/24. Linha Verde: indica o início do deslocamento em superfície, resultante do processo de migração da cavidade 18. Linha Preta: data da ocorrência da cavidade 18

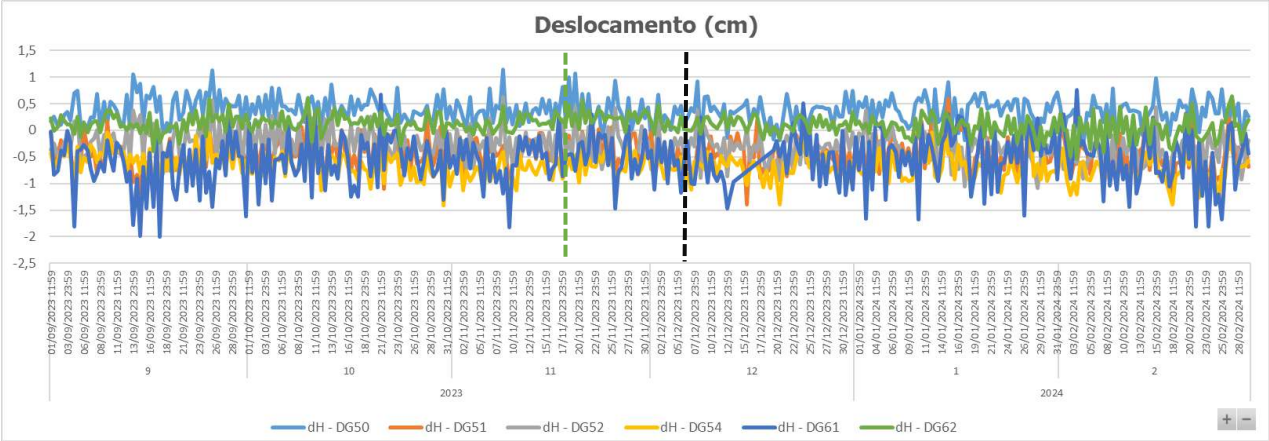


Figura 31: Gráfico de deslocamento leste-oeste dos DGPS localizados na borda do mapa - Julho/22 a Fevereiro/24

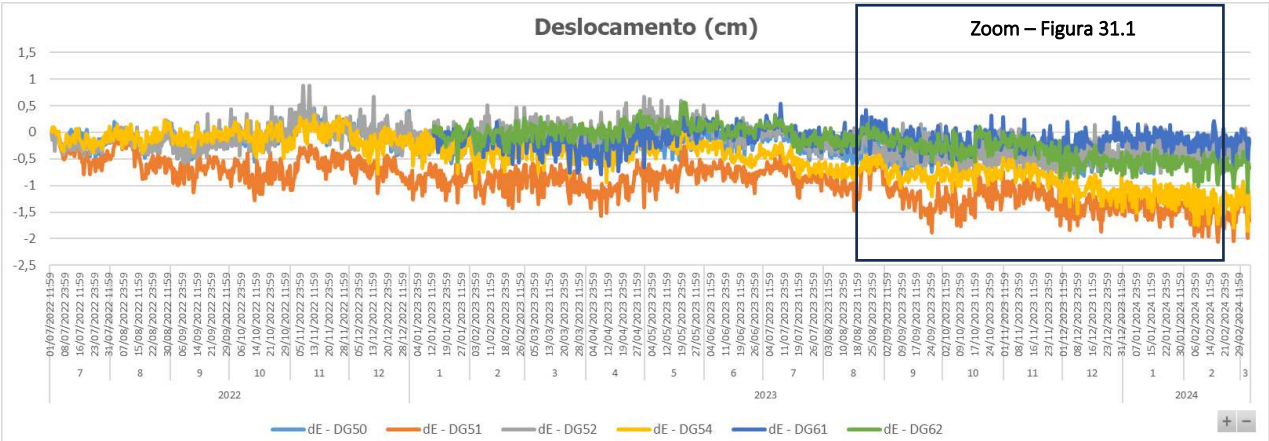


Figura 31.1: Gráfico de deslocamento leste-oeste – setembro/23 a fevereiro/24. Linha Verde: indica o início do deslocamento em superfície, resultante do processo de migração da cavidade 18. Linha Preta: data da ocorrência da cavidade 18

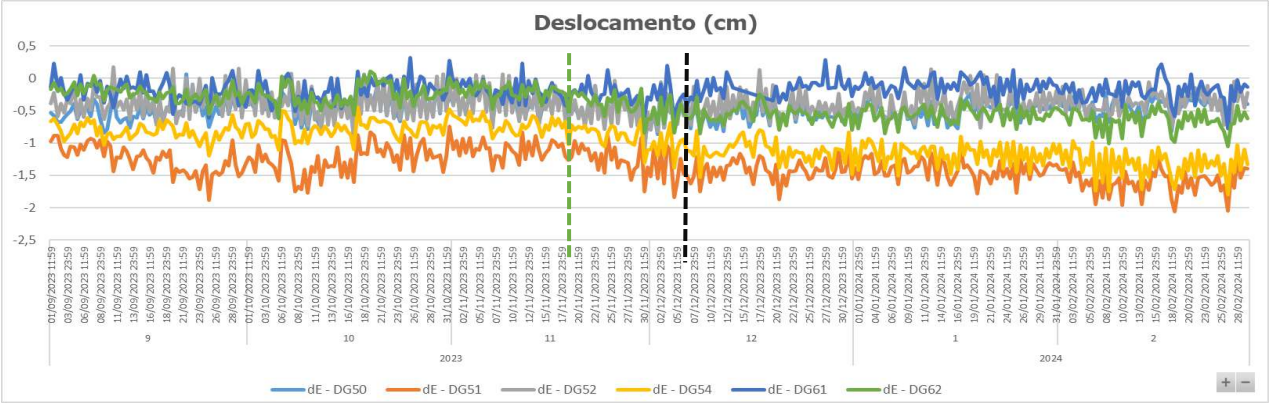


Figura 32: Gráfico de deslocamento norte-sul dos DGPS localizados na borda do mapa - Julho/22 a Fevereiro/24

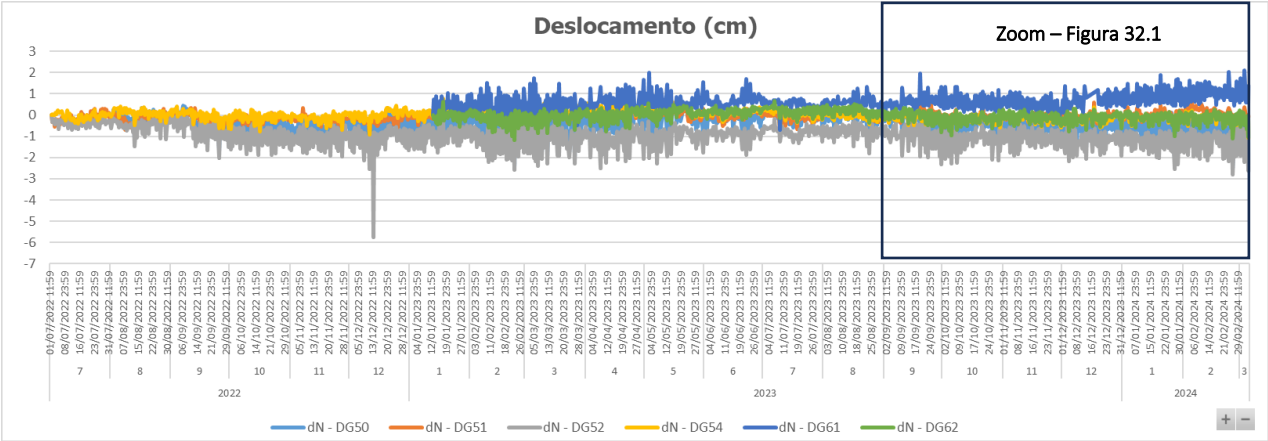


Figura 32.1: Gráfico de deslocamento norte-sul – setembro/23 a fevereiro/24. Linha Verde: indica o início do deslocamento em superfície, resultante do processo de migração da cavidade 18. Linha Preta: data da ocorrência da cavidade 18

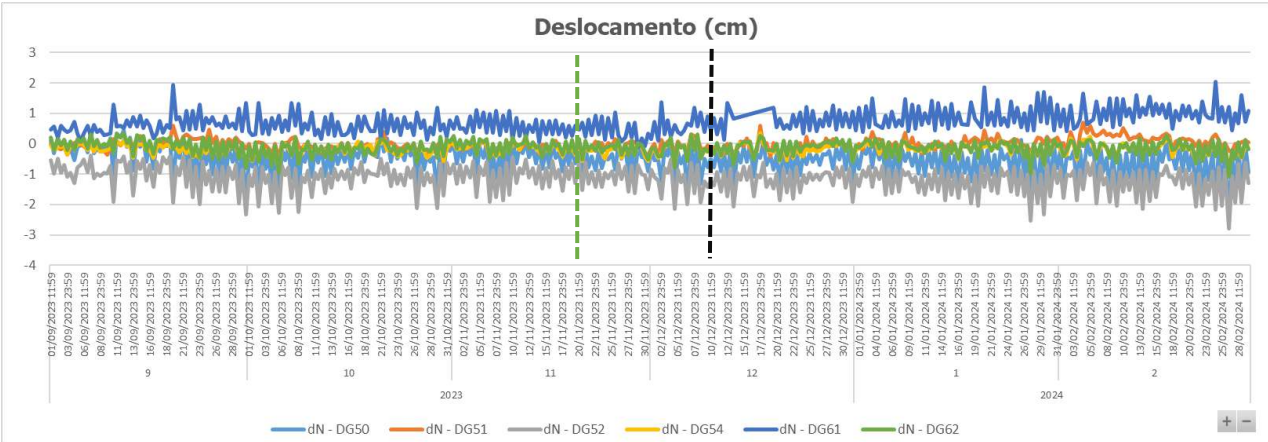


Figura 33: Gráfico de deslocamento vertical dos pontos InSAR da borda do mapa localizados próximos às antenas de GNSS (conforme legenda) do período entre junho/19 e janeiro/24

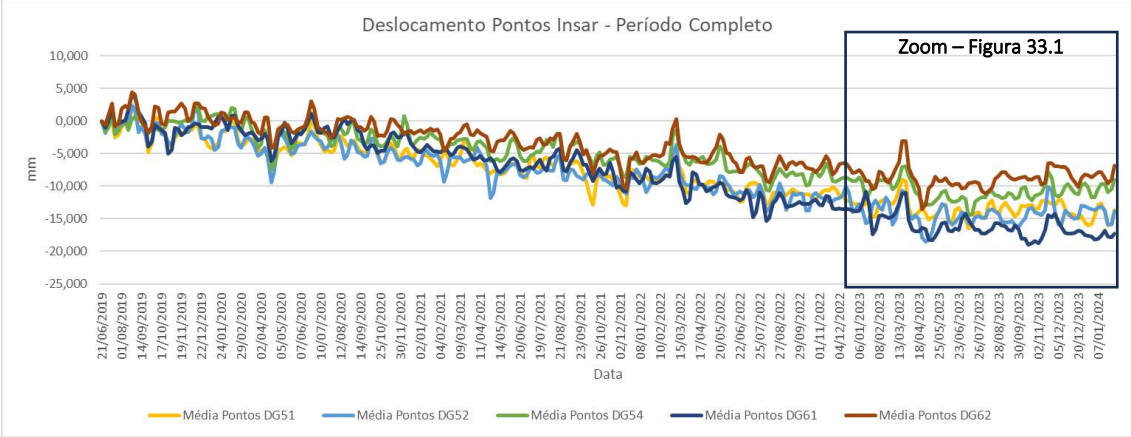


Figura 33.1: Gráfico de deslocamento vertical dos pontos InSAR da borda do mapa localizados próximos às antenas de GNSS (conforme legenda) do período entre janeiro/23 e janeiro/24

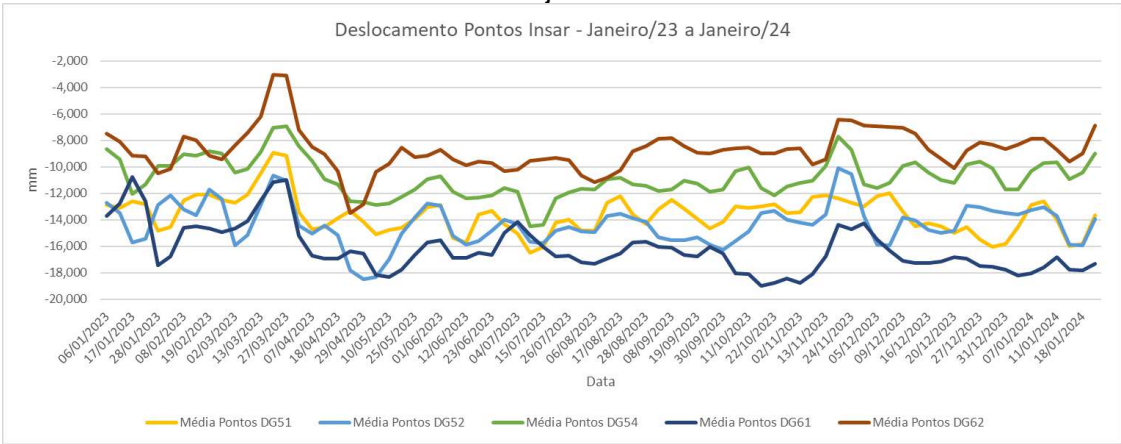


Figura 34: Gráfico de deslocamento horizontal dos pontos InSAR da borda do mapa localizados próximos às antenas de GNSS (conforme legenda) do período entre junho/19 e janeiro/24

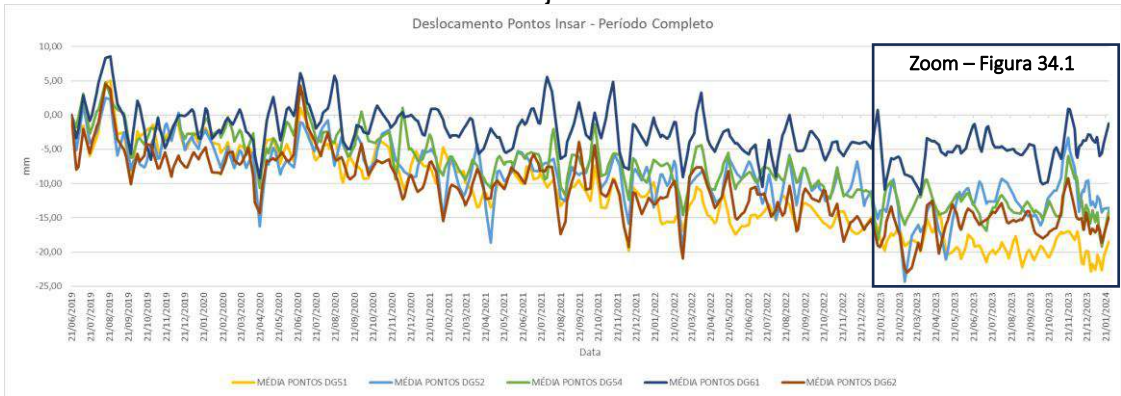
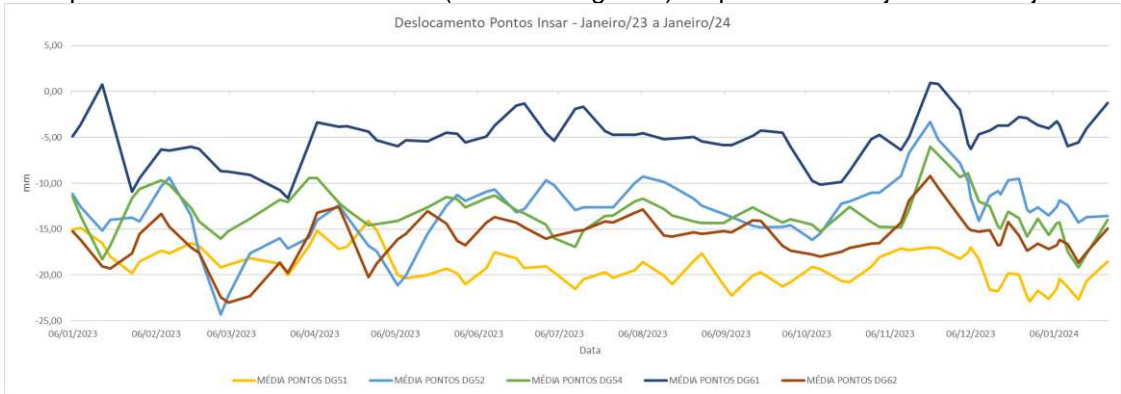


Figura 34.1: Gráfico de deslocamento horizontal dos pontos InSAR da borda do mapa localizados próximos às antenas de GNSS (conforme legenda) do período entre janeiro/23 e janeiro/24



6.2.9 INSPEÇÃO DOS POÇOS


O fenômeno de subsidência presente na área de resguardo é caracterizado pela manifestação de movimentações em superfície e profundidade. Portanto, a realização regular de inspeções nos poços é essencial para monitorar qualquer eventual mudança nas condições dos poços e permitir a funcionalidade contínua do poço. Essas inspeções não apenas contribuem para a preservação dos acessos às cavidades, mas também para a segurança das cavidades pressurizadas.

As inspeções em poços têm o objetivo de averiguar especialmente eventuais danos e reduções significativas de diâmetro. Para tanto, são realizadas descidas com sensor de Caliper, projetado para percorrer o poço através de cabos de wireline, que são cabos de aço inseridos no poço e controlados pela superfície. A função principal da ferramenta de Caliper é fornecer informações precisas sobre as dimensões dos poços, incluindo diâmetro e formato, ao longo de sua profundidade. A ferramenta de Caliper geralmente é equipada com sensores ou braços extensíveis que se expandem contra a parede do poço, permitindo que ela faça medições precisas do diâmetro em diferentes pontos. Os dados coletados pela ferramenta são transmitidos para a superfície em tempo real e passam por pós-tratamento dos dados registrados para análise posterior.

Essas inspeções são realizadas desde 2023 nos poços com piezômetro, e em 2024 após o retorno das atividades, após colapso da cavidade 18, já foram realizadas quinze inspeções em diferentes poços. A lista de inspeções está descrita abaixo na Tabela 37 organizada por grupos de poços pertencentes a uma mesma Frente de Lavra. Nos próximos parágrafos serão descritas as inspeções realizadas neste ano.

Tabela 37 – Lista de inspeções de poços realizadas no ano de 2024 – Atualizada até março/2024.

Poço	Data da inspeção
Poço-MINA01AD	16/03/2024
Poço-MINA04CD	17/03/2024
Poço-MINA09ED	23/03/2024
Poço-MINA10AD	25/03/2024
Poço-MINA15AD	27/02/2024
Poço-MINA18AD	29/03/2024
Poço-MINA18CD	02/03/2024
Poço-MINA20AD	18/01/2024
Poço-MINA25BD	24/02/2024
Poço-MINA25CD	20/02/2024

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 202	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Poço-MINA25DD	22/02/2024
Poço-MINA27AD	23/02/2024
Poço-MINA27BD	21/02/2024
Poço-MINA27CD	26/02/2024

Poço 01AD

O poço 01AD foi perfurado em agosto de 2021. Na inspeção ocorrida em março de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (23 lb/ft) da superfície até a profundidade de 858 m, cujo diâmetro nominal interno é de 6,366". Em geral, esta tubulação está livre de penetração intensiva, perdas significativas de metal ou corrosão.

O registro de caliper detectou deformações em 3 profundidades diferentes:

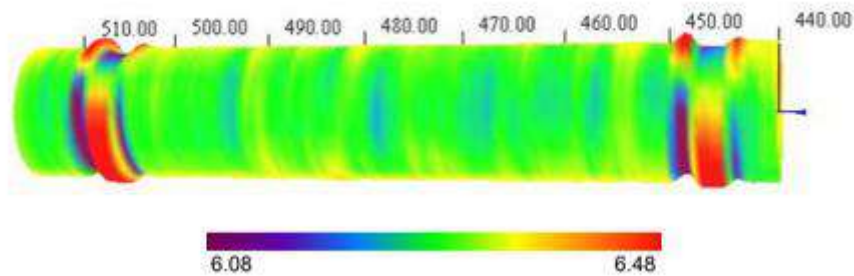
[446 m até 447 m](#)

[506 m até 508 m](#)


[610 m até 660 m](#)

O menor diâmetro encontrado foi de 5,975" em 507.4 m. Com essa restrição de diâmetro, a instalação do piezômetro para além dessa profundidade fica impossibilitada, pois o conjunto coluna de 4 ½" + clamp+ cabo constituem um diâmetro de 6".

Figura 35 - Deformações do poço 01AD



O poço 01AD já havia passado por inspeções anteriores e não foram identificados danos importantes nesse poço como demonstrado na tabela abaixo:

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 203	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Poço 01AD			
Inspeções			
	2021	2023	2024
Regiões dos danos	Instalação	Sem danos significativos	446 m até 447 m 506 m até 508 m 610 m até 660 m

Poço 04CD

O poço 04CD foi perfurado em fevereiro de 2022 com objetivo de auxiliar no processo de enchimento da cavidade. Na inspeção ocorrida em março de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 9 5/8" (32 lb/ft) da superfície até a profundidade de 804 m, cujo diâmetro interno é de 8,921". O revestimento de 9-5/8" tem uma leve erosão ao longo do registro.

O registro de caliper detectou deformações em 3 profundidades diferentes nas seguintes profundidades:

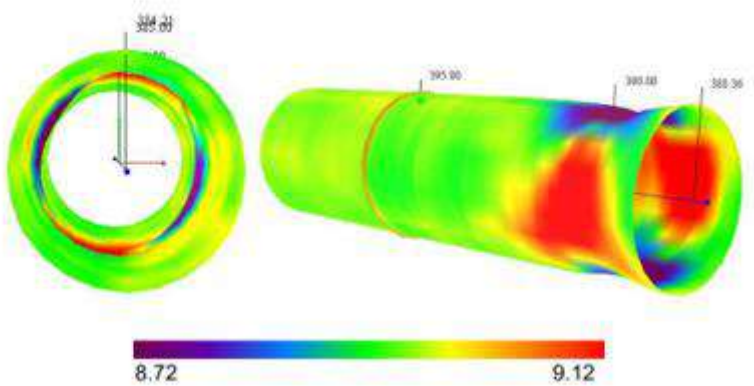
[388 m até 390 m](#)


[336 m até 338 m](#)

[425 m até 426 m](#)

O menor diâmetro encontrado foi de 8,599" a 389.4 m (Este diâmetro interno mínimo corresponde à área ovalizada). Este intervalo é afetado por perda de massa em todo o registro de perfil de caliper.

Figura 36 - Deformações do poço 04CD



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 204	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Poço 09ED

O poço 09ED foi perfurado em março de 2024. Na inspeção ocorrida em março de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação revestimento de 7" (23 lb/ft) da superfície até a profundidade de 910 m, cujo diâmetro nominal interno é de 6,456". Por se tratar de um tubo novo em um poço recém-instalado, não foram encontrados danos ou corrosão no poço.

Poço 10AD

O poço 10AD foi perfurado em agosto de 2021. Na inspeção ocorrida em março de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (23 lb/ft) da superfície até a profundidade de 885 m, cujo diâmetro nominal interno é de 6,366". Em geral, esta tubulação está livre de penetração intensiva, perdas significativas de metal ou corrosão.

O registro de caliper detectou deformações em 3 profundidades diferentes nas seguintes profundidades:

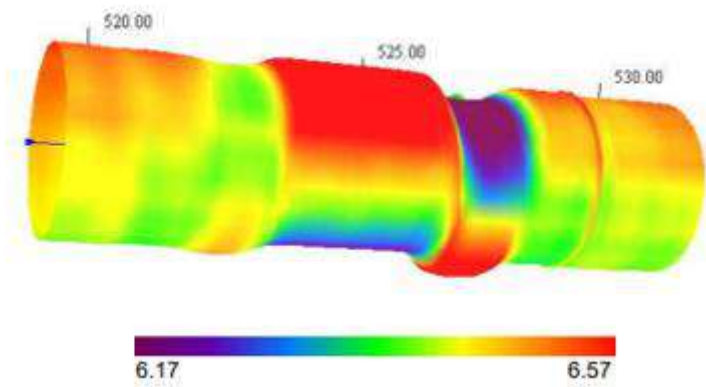
524 m até 527 m


636 m até 638 m

658 m até 659 m

Até o momento, essas deformações não apresentam redução importante de diâmetro. Um exemplo dessas anomalias está na imagem 37. O diâmetro interno mínimo é de 6.306" a 695,5 m. Apesar dessas anomalias não representarem reduções de diâmetro importantes, o piezômetro do poço 10AD foi reposicionado de forma preventiva e o piezômetro foi reposicionado acima da região de deformações encontradas.

Figura 37 - Deformações do poço 10AD



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 205	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Poço 15AD

O poço 15AD foi perfurado em outubro de 2019. Na inspeção ocorrida em fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (23 lb/ft) da superfície até a profundidade de 920 m, cujo diâmetro nominal interno é de 6,366". O registro de caliper detectou deformações em 6 regiões diferentes nas seguintes profundidades:

[193 m até 195 m](#)

[255 m até 264 m](#)

[360 m até 362 m](#)

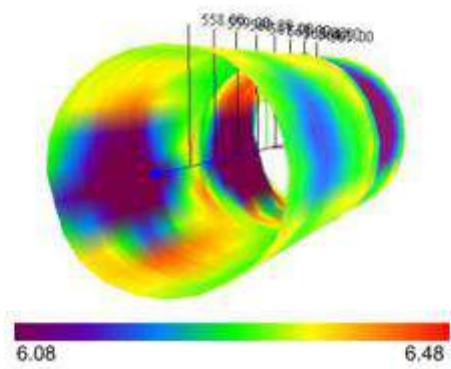
[559 m até 564 m](#)

[613 m até 627 m](#)


[695 m até 697 m](#)

Em geral, esta tubulação apresenta grau moderado de corrosão com menor diâmetro encontrado de 5,817" em 564,2 m.

Figura 38 - Deformações do poço 15AD



O poço 15AD já havia passado por inspeções anteriores e não foram identificados danos importantes nesse poço como demonstrado na tabela abaixo:

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 206	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

Poço 15AD			
Inspeções			
	2019	2023	2024
Regiões dos danos	Instalação	Sem danos significativos	193 m até 195 m 255 m até 264 m 360 m até 362 m 559 m até 564 m 613 m até 627 m 695 m até 697 m

Poço 18AD

O poço 18CD foi perfurado em agosto de 2023. A inspeção ocorrida em março de 2024 foi feito um perfil de investigação no tubo de 7" com um peso de 29 lb/ft e 9 5/8" com um peso de 36 lb/ft registrado até a profundidade de 950 m até a superfície.

Não foram encontrados danos ou corrosão importantes nesse poço.

Poço 18CD

O poço 18CD foi perfurado em junho de 2023. A inspeção ocorrida em março de 2024 foi feito um perfil de investigação no tubo de 4 1/2" com um peso de 11.6 lb/ft e 9 5/8" com um peso de 36 lb/ft registrado até a profundidade de 815 m até a superfície.

Não foram encontrados danos ou corrosão importantes nesse poço.

Poço 20AD

O poço 20AD foi perfurado em março de 2022. O poço 20AD tem por objetivo a inspeção por sonar da cavidade M20&21. Na inspeção ocorrida em Janeiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (29 lb/ft) da superfície até 658 m de profundidade. O diâmetro nominal interno deste revestimento é de 6,184#.

De acordo com a perfilagem realizada, regiões com deformações da tubulação de 7" foram detectadas em diferentes intervalos. O registro de caliper detectou deformações nas seguintes profundidades:

152 m até 158 m

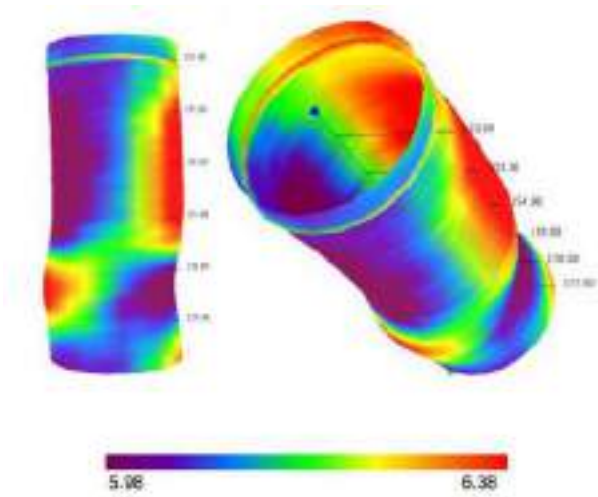
[210 m até 220 m](#)

[260 m até 265 m](#)

[273 m até 282 m](#)

Até o momento, essas anomalias não apresentam redução importante de diâmetro. Um exemplo dessas anomalias está na figura 39. Não foram detectadas pontos de corrosões significativas. O diâmetro interno mínimo é de 6.013" a 594.53 m (junta #44).

Figura 39 - Deformações no poço 20AD.




O poço 20AD já havia passado por inspeções anteriores e não foram identificados danos importantes nesse poço como demonstrado na tabela abaixo:

Poço 20AD			
Inspeções			
	2022	2023	2024
Regiões dos danos	Instalação	Sem danos significativos	152 m até 158 m 210 m até 220 m 260 m até 265 m 273 m até 282 m

Poço 25BD

O poço 25BD foi perfurado em novembro de 2021. Na inspeção ocorrida em fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (23 lb/ft) da superfície até a

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 208	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

profundidade de 544 m, totalizando 43 juntas inspecionadas. O diâmetro nominal interno é de 6.366 pol.

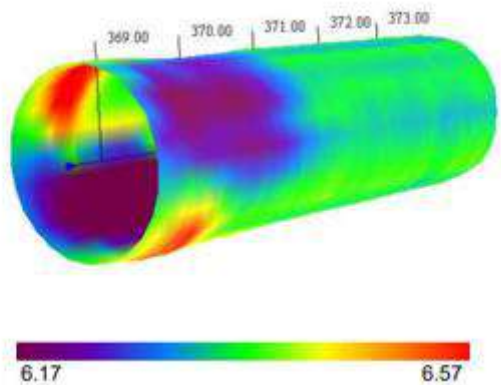
O registro de caliper detectou duas regiões de deformações nas seguintes profundidades:

426 m até 432 m

369 m até 370 m

De forma geral, o poço possui uma coluna em boas condições de integridade, apresentando as maiores regiões com perda de massa metálica em zonas ovalizadas. A região com maior perda de material metálico encontrada é de 55.0% de redução de material a 426.9 m de profundidade, detectada na área de ovalização. Em geral, esta tubulação apresenta grau moderado de erosão e o menor diâmetro encontrado foi de 5,965" em 369 m.


Figura 40 - Deformações do poço 25BD



Poço 25CD

O poço 25CD foi perfurado em Novembro de 2022 para o enchimento da cavidade M25. Na inspeção ocorrida em Fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (29 lb/ft) da superfície até a profundidade de 870 m. O diâmetro nominal interno é de 6,184". Além disso, foi realizada uma avaliação indireta da coluna cimentada de 9 5/8" que possui um peso de 36lb/ft.

A inspeção do poço por meio de perfilagem avaliou 44 juntas de 7" e 36 juntas de 9-5/8". O revestimento de 7" tem erosão moderada e com pequena alteração do diâmetro ao longo do registro. O diâmetro interno mínimo encontrado foi de 5,823" a 595.5 m de profundidade. Além disso, foi possível reconhecer uma perda máxima 10,3% de material metálico a 70,4 m de profundidade. Nesta região,

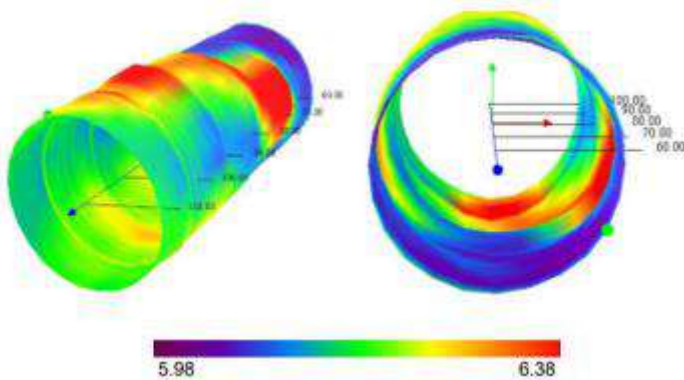
RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 209	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

o detector de espessura magnética mostrou que a espessura mínima no revestimento de 7" foi de 0,366 polegadas na junta 3 e começa em 64,6 m e vai até 76.6 m de profundidade. Esta erosão observada no revestimento está associada ao processo de injeção com areia do backfilling. Ademais, o registro de caliper detectou deformações nos revestimentos nas seguintes profundidades:

64 m até 102,4 m

584 m até 597 m

Figura 41 - Deformações de 64 m até 102,4 m no 25CD.



Além disso, a perfilagem indicou que o revestimento de 9-5/8" está em boa condição de integridade.

Após inspeção, coluna de 7" foi removida e substituída para o retorno das atividades de enchimento da cavidade M25.

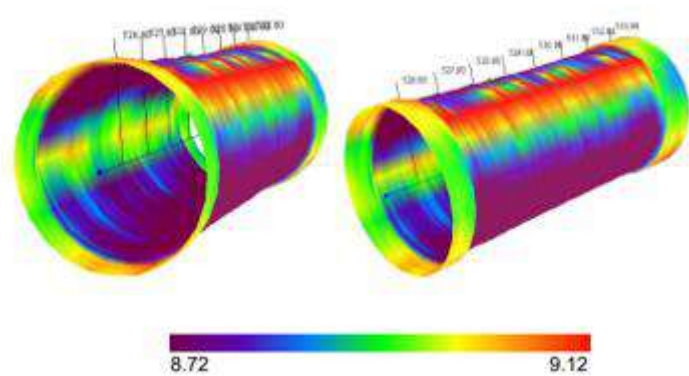
Poço 25DD

O poço 25DD foi perfurado em janeiro de 2023 com o objetivo de auxiliar no enchimento da cavidade. Na inspeção ocorrida em fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 9 5/8" (36 lb/ft) da superfície até a profundidade de 541 m, cujo diâmetro nominal interno é de 8,921". O registro de caliper detectou deformações nas seguintes profundidades:

526 m até 532 m

No total foram inspecionadas 40 juntas de 9-5/8". A tubulação de 9-5/8" tem uma corrosão muito leve ao longo do registro, com diâmetro interno mínimo de 8,383" a 527.0 m de profundidade. Além disso, é observado um intervalo de 7,8 m a 19,82 m com detritos presos às paredes internas da tubulação.

Figura 42 - Deformações do poço 25DD



Poço 27AD

O poço 27AD foi perfurado em março de 2021. Na inspeção ocorrida em fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (23 lb/ft) da superfície até a profundidade de 974 m, totalizando 79 juntas inspecionadas. O diâmetro nominal interno é de 6,184". A tubulação de 7" tem corrosão de 51m a 424 m, o diâmetro interno mínimo encontrado foi de 5.942" a 22.77 m (Este diâmetro interno mínimo corresponde à área de detritos). Apesar de apresentar corrosão leve, o revestimento de 7" não apresenta pontos de ovalização importantes.

Poço 27BD

O poço 27BD foi perfurado em janeiro de 2023. Na inspeção ocorrida em fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 9 5/8" (36 lb/ft) da superfície até a profundidade de 874 m, cujo diâmetro nominal interno é de 8,921". Neste poço foram inspecionadas um total de 62 juntas. A perfilagem caliper indicou deformações em 6 regiões diferentes, conforme a seguir.


85 m até 99 m

393 m até 395 m

634 m até 635 m

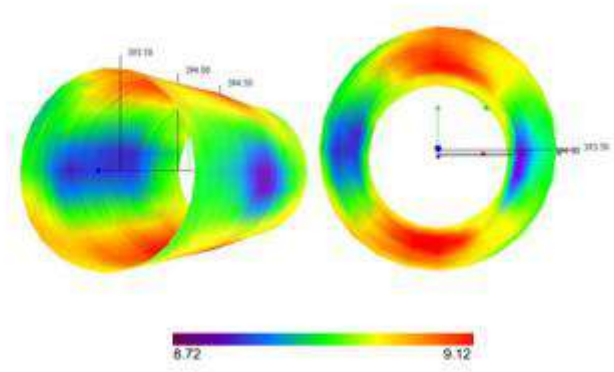
664 m até 665 m

A região de maior perda de massa metálica encontrada neste intervalo é de 38.9% a 393.8 m, detectada perto de uma área ovalizada. Além disso, o revestimento de 9-5/8" possui uma corrosão muito leve ao longo do registro e apresentou um diâmetro interno mínimo de 8.791" a 72.11 m (Este

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 211	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

diâmetro interno mínimo corresponde a detritos presos à parede da tubulação). Da mesma forma, o revestimento de 9-5/8" está em boa condição de integridade.

Figura 43 - Deformações do poço 27BD

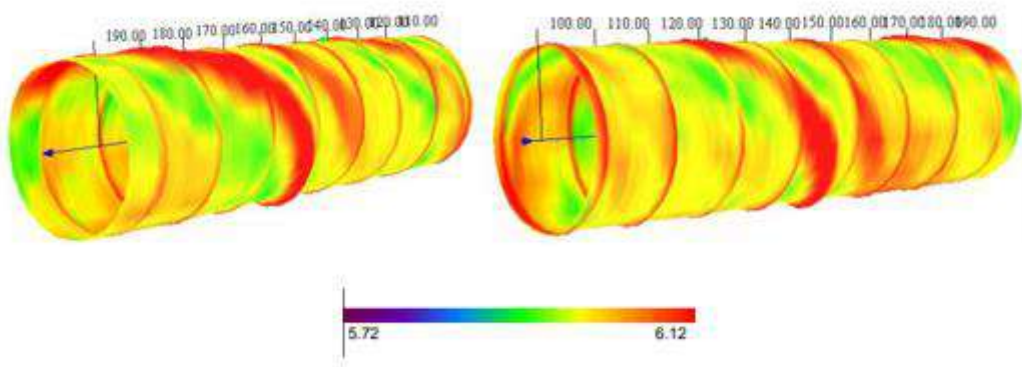



Poço 27CD

O poço 27CD foi perfurado em março de 2023. O poço foi perfurado para auxiliar o enchimento da cavidade M27. Na inspeção ocorrida em Fevereiro de 2024 foi realizada uma perfilagem de investigação no revestimento de 7" (38 lb/ft) da superfície até a profundidade de 947 m, totalizando 74 juntas inspecionadas. O diâmetro nominal interno é de 5,92".

Os resultados da perfilagem indicam erosão no intervalo entre 72 m e 642 m. Apesar de apresentar erosão de grau leve, o revestimento não apresenta pontos de ovalização importantes. O menor diâmetro encontrado foi 5,92".

Figura 44 - Deformações do poço 27CD



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 212	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

7. INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES INTEGRADAS DE DPGS, INTERFEROMETRIA E TOPOGRAFIA NA ÁREA DA LAVRA - **ATUALIZADO**

O relatório de título MONTHLY REPORT ON THE MONITORING DATA OVER THE MACEIO' AREA, anexo 02 do relatório mensal de atividades, é emitido mensalmente pela empresa Geoapp.

Este relatório tem como objetivo o acompanhamento dos dados dos instrumentos de monitoramento instalados nas áreas da Mineração pretérita da Braskem e circunvizinhança na cidade de Maceió-AL.

O sistema de monitoramento é composto por 04 inclinômetros, 13 tiltímetros, 77 estações D-GPS, medição de nivelamento Geométrico (trimestral), dados InSAR e uma rede microssísmica com 26 estações. Todos os instrumentos foram instalados.

Segundo a Geoapp, "Desde 20 de novembro de 2023, houve um aumento significativo da atividade sísmica, caracterizada pelo aumento da frequência e magnitude. Nos dias seguintes, algumas estações DGPS começaram a apresentar uma tendência gradual e progressiva nas suas três componentes, dependendo das respectivas posições. A região afetada por esta atividade sísmica e deslocamento acentuado, conforme identificado por estações DGPS específicas, está localizada nas proximidades da estação DGPS Mina 20."

Ainda, "Neste relatório, foram analisados dados de inclinômetros, tiltímetros, D-GPS e microssísmicos adquiridos em **março de 2024**. Os dados do InSAR apresentam um atraso de um mês em relação aos demais instrumentos pelo tempo necessário para processá-los pela TRE-Altamira. Ao final de cada mês a TRE-Altamira entrega os dados adquiridos no mês anterior. Assim, este relatório, excepcionalmente, inclui a análise dos dados adquiridos entre junho de 2019 e janeiro de 2024.

Ou seja, assim como o relatório da TRE Altamira, mencionado em tópico anterior, o relatório da Geoapp depende também dos dados captados pelo satélite TerraSAR-X, os quais necessitam de um certo tempo para serem interpretados, logo, o relatório disponível no anexo 02, também apresenta dados majoritariamente referentes ao mês **fevereiro/2024**.

O relatório mensal emitido pela Geoapp, consiste na avaliação dos dados não decompostos e decompostos do sistema de monitoramento INSAR, assim como avaliação dos sistemas DGPS e monitoramento topográfico, comparando os dados de deslocamento apresentado pelos diferentes sistemas.

Mais detalhes sobre a atualização do mês de **março/2024**, estão disponíveis no documento apresentado por meio do SEI 10985942.

8. CRONOGRAMAS DAS PRÓXIMAS AÇÕES PREVISTAS NAS FRENTES DE LAVRA – ATUALIZADO

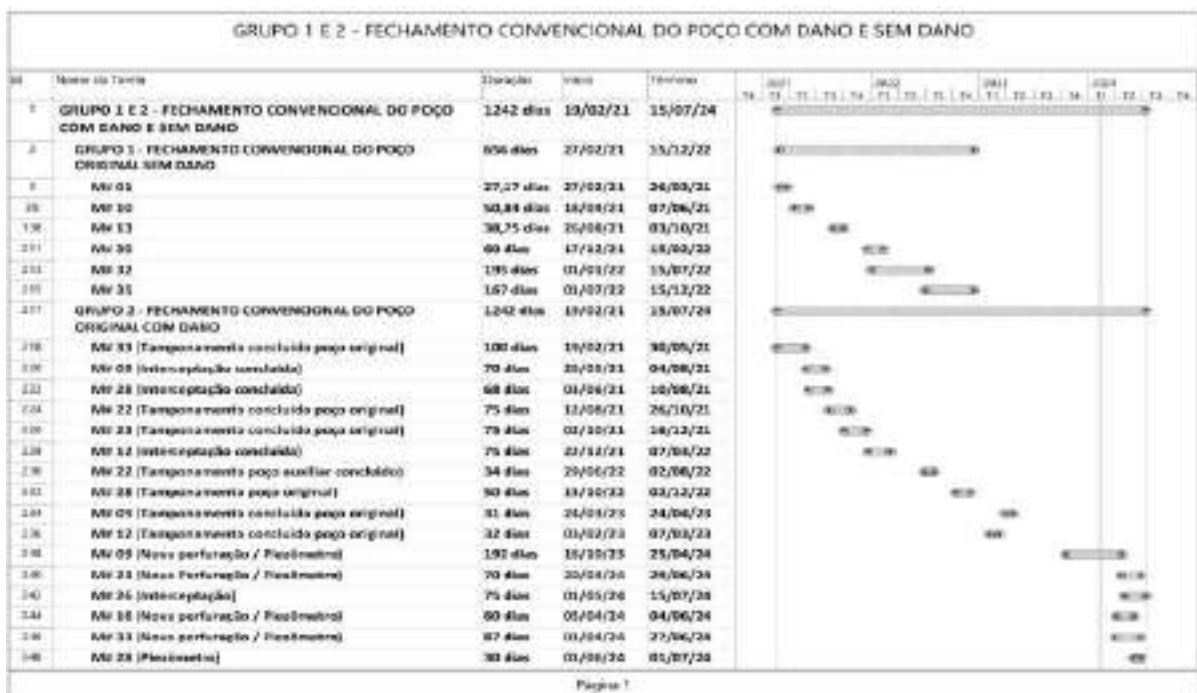
8.1 CRONOGRAMA DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA POR MEIO DE INTERCEPTAÇÃO COM INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETROS


Conforme já é de conhecimento desta Agência, o cronograma de execução sofreu impactos pelas razões já expostas, o que ensejou a sua revisão. Os efeitos destes impactos, que iniciaram em outubro/2023 e se estenderam até a data de corte deste relatório foram objeto de reavaliação.

Desse modo, em atendimento ao item 11 do Ofício nº 2.477/2024/GER-AL/ANM, que solicitou a atualização dos cronogramas de execução das atividades de fechamento da mina, apresentamos abaixo, o Cronograma atualizado de fechamento das frentes de lavra por meio de tamponamento com instalação de piezômetros, conforme Figura 22.

É importante destacar que apesar da aprovação do plano executivo de retomada das atividades de fechamento por esta Agência, conforme despacho nº 1705/2024 (SEI 112830057), a empresa aguardava a autorização pela Defesa Civil Municipal, tendo sido concedida em reunião realizada na data de protocolo deste relatório mensal (15.02.2024), por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823).

Figura 45 – Cronograma de fechamento das frentes de lavra por meio de tamponamento com instalação de piezômetros



RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 214	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

8.2 CRONOGRAMA DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA POR MEIO DE ENCHIMENTO (BACKFILLING)


8.2.1 BACKFILLING I (CAVIDADES M#04; M#07; M#19D; M#17)

A figura 23 mostra o cronograma atual (sem alteração do prazo final inicialmente previsto) para fechamento das frentes de lavra por meio de enchimento, apresentado à ANM (SEI nº 2303877), cujo escopo é o enchimento das cavidades com material sólido.

As atividades de enchimento do backfilling I foram iniciadas no dia 24 de novembro de 2020 e importante salientar, que a injeção da areia foi iniciada na frente de lavra M#07, em vez da frente de lavra M#19. Com o resultado obtido no último sonar realizado pelo novo acesso à frente de lavra M#19D, onde foi possível observar um volume remanescente de 7.705m³, a Braskem optou por tentar preencher o máximo volume tecnicamente possível. A estrutura para realizar essa tentativa de injeção estava em fase de estudos e já foi iniciada. Durante os meses de novembro e dezembro de 2022, foram injetados na cavidade M#19D um volume total de 7.664,25m³. O volume total de areia injetada na frente de lavra M#07, até o mês de abril de 2023, foi de 406.071,18 m³. O volume acumulado de areia injetada atingiu o 98% do volume das cavidades 7/19, superando o valor estimado pelas consultorias que varia entre 65% a 80% do volume da cavidade, conforme indicado na atualização do Plano Executivo de Fechamento das Frentes de Lavra pelo Método de Enchimento (SEI nº 3855200), sendo assim, pode-se considerar que atualmente a cavidade já se encontra numa condição de estabilidade aguardando confirmação pelas consultorias especializadas.

Na frente de lavra M#17, o processo de enchimento foi iniciado em janeiro de 2022, e em setembro de 2022 alcançou 242.473,85m³ de areia já injetados. As atividades foram interrompidas no dia 08 de setembro de 2022 para uma avaliação por parte da consultoria especializada SSO, devido à impossibilidade técnica de bombeamento de salmoura da cavidade. A SSO concluiu que as operações de enchimento chegaram a sua condição final, considerando, portanto, que a cavidade foi preenchida no seu limite operacional. A WEP avaliou os resultados e concluiu que o enchimento estava finalizado, não havendo risco de formação de *sinkhole* e sendo desprezível a contribuição do volume remanescente para a subsidência, o que foi consolidado em relatório emitido pela Brandt e protocolando na ANM por meio do SEI 5696107.

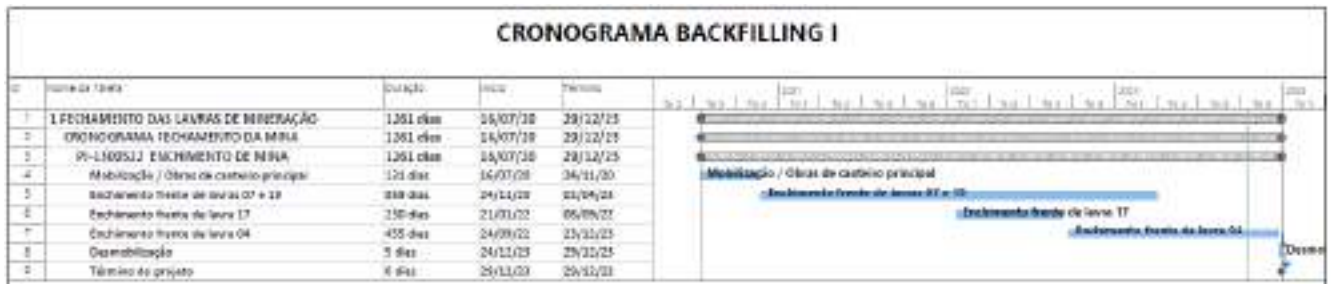
O processo de enchimento da frente de lavra M#04 foi iniciado, no dia 24 de setembro de 2022 por meio do comissionamento do sistema do poço original M#04A de cavidade, tendo em vista que o segundo poço auxiliar 04BD, à época, estava em construção, já tendo sido concluído. O volume acumulado de areia injetada alcançou 116.235,00 m³, o equivalente a 91,0% do volume da cavidade, superando o valor estimado pelas consultorias que varia entre 65% a 80% do volume da cavidade,

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 215	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

conforme indicado na atualização do Plano Executivo de Fechamento das Frentes de Lavra pelo Método de Enchimento (SEI nº 3855200), sendo assim, pode-se considerar que atualmente a cavidade já se encontra numa condição de estabilidade.

Considerando a conclusão do Backfilling I e, estando pendente apenas o processo de inspeção dos poços e tamponamento da frente de lavra 4, não houve atualização do cronograma.

Figura 46 – Cronograma do fechamento das frentes de lavra por enchimento - Backfilling I



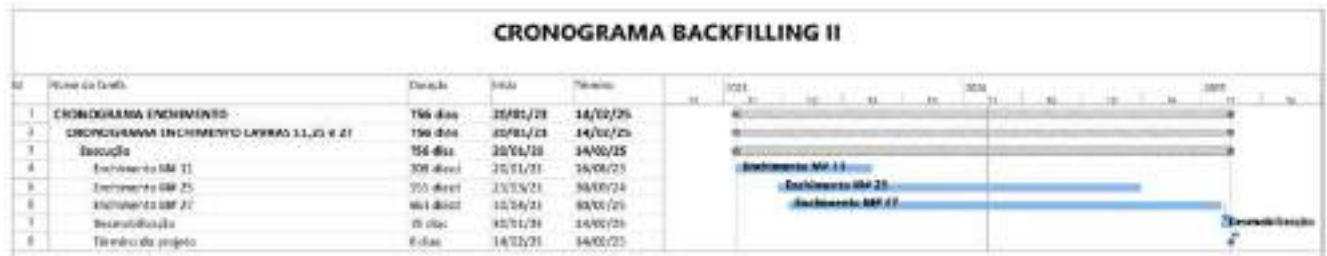
8.2.2 BACKFILLING II (CAVIDADES M#02; M#11; M#18D; M#25D; M#27D)

Conforme já é de conhecimento desta Agência, o cronograma de execução sofreu impactos pelas razões já expostas, o que ensejou a sua revisão. Os efeitos destes impactos, que iniciaram em outubro/2023 e se estenderam até a data de corte deste relatório foram objeto de reavaliação.

Desse modo, em atendimento ao item 11 do Ofício nº 2.477/2024/GER-AL/ANM, que solicitou a atualização dos cronogramas de execução das atividades de fechamento da mina, apresentamos abaixo, o Cronograma atualizado de fechamento das frentes de lavra por meio de enchimento, conforme Figura 47.

É importante destacar que apesar da aprovação do plano executivo de retomada das atividades de fechamento por esta Agência, conforme despacho nº 1705/2024 (SEI 112830057), a empresa aguardava a autorização pela Defesa Civil Municipal, tendo sido concedida em reunião realizada na data de protocolo deste relatório mensal (15.02.2024), por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823).

Figura 47 – Cronograma do fechamento das frentes de lavra por enchimento – Backfilling II



8.3 ANDAMENTO DAS ATIVIDADES DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA POR PREENCHIMENTO NATURAL (GRUPO 5)

Conforme informado por meio do SEI nº 3103729, em 13/10/2021, foi apresentado o Plano de Fechamento para as frentes de lavra do Grupo 5, as quais tiveram a sua aprovação por esta Agência por meio do Ofício 1262/2022.

No que se refere ao cronograma do plano de fechamento das frentes de lavra do grupo 05 (M#05, M#06, M#08, M#14 e M#24D), a Braskem informa que concluiu em maio de 2023 o tamponamento de todos os poços relacionados a este grupo, conforme tabela 37.

Dessa forma, considerando que todos os acessos das frentes de lavra do Grupo 5 (M#05, M#06, M#08, M#14 e M#24D) já foram tamponados, esse Grupo já se encontra passível para o descomissionamento, conforme indicado no Parecer Técnico nº 03/2023/GT-SAL/SFI-ANM/DIRC.

Se encontra em elaboração pela Brandt, o Relatório Final de Execução do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra Do Grupo 5 (M#05, M#06, M#08, M#14 e M#24D) que compõe o Plano de Fechamento de Mina, o qual será apresentado a esta Agência tão logo concluído.

8.4 PLANO DE SONAR - ATUALIZADO

O plano de sonar das cavidades para 2024 foi elaborado utilizando os critérios abaixo para cada Grupo de Fechamento.

Grupo 1: Realização de sonar uma vez ao ano, em conjunto com as atividades de inspeção do piezômetro e do poço, ou em caso de identificação de anormalidades nos dados de monitoramento.

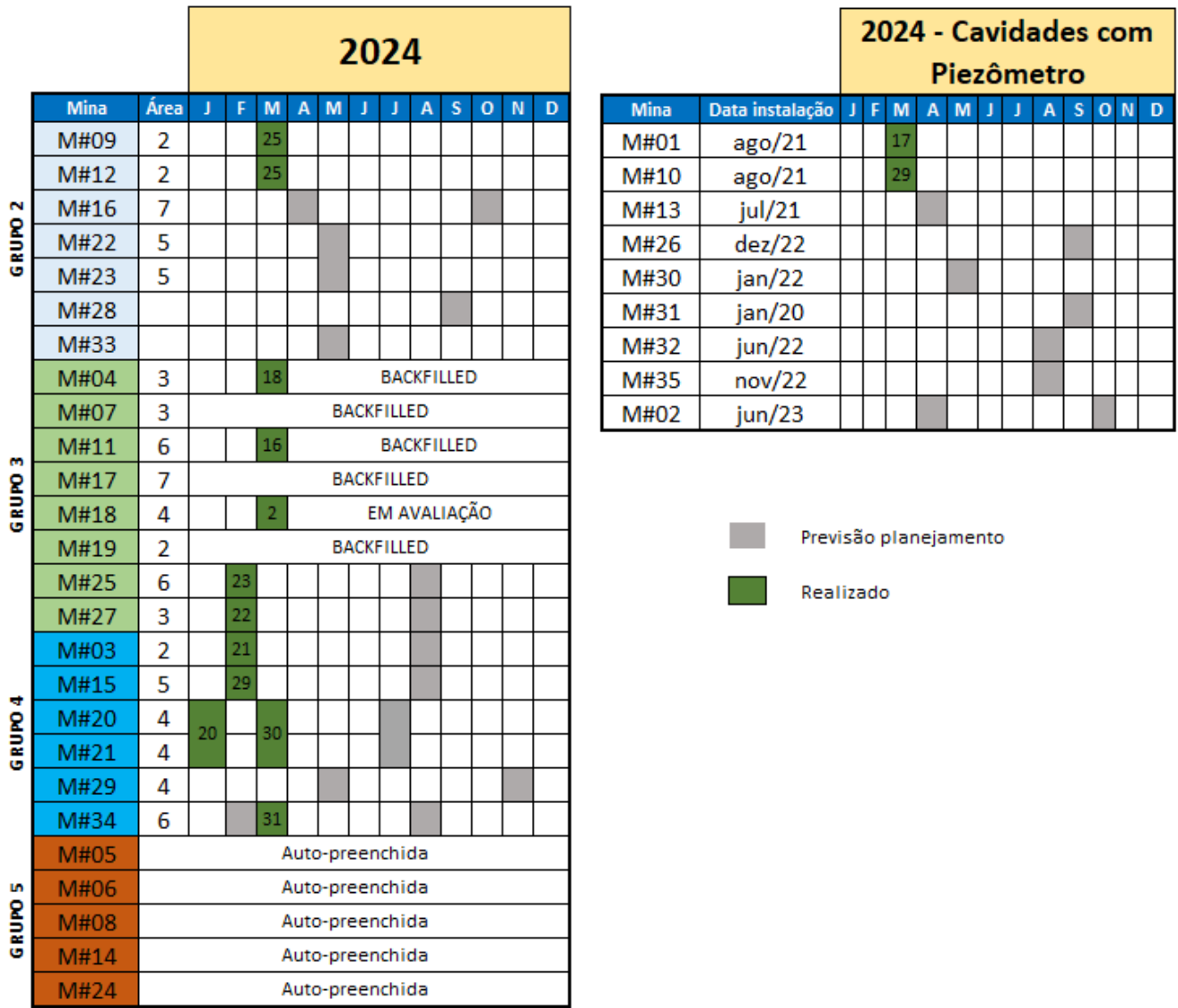
Grupo 2: Realização de sonar uma vez ao ano, em conjunto com as atividades de inspeção do piezômetro e do poço, ou em caso de identificação de anormalidades nos dados de monitoramento.

Grupo 3: Realização de sonar a cada 50 mil m³ de areia injetados ou a cada 6 meses, uma vez tendo acesso à cavidade.

Grupo 4: Realização de sonar a cada 6 meses. As cavidades que integravam esse grupo (M#03, M#15, M#20/21, M#29 e M#34) foram reclassificadas para o Grupo 03.

Grupo 5: Não aplicável. Autopreenchimento das cavidades confirmado por meio de métodos geofísicos indiretos.

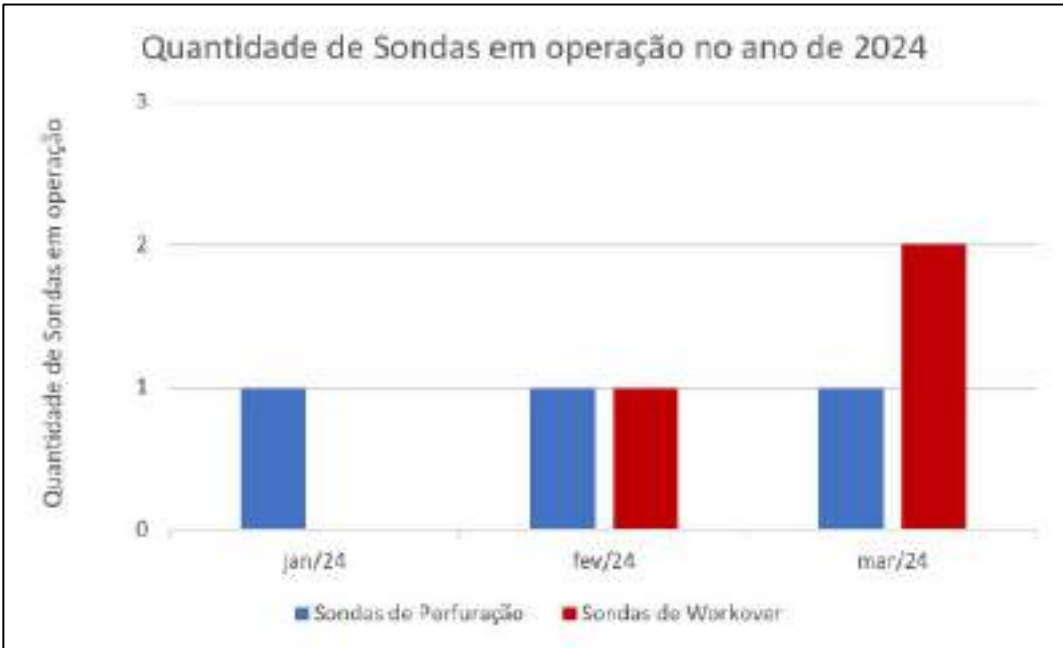
No cronograma abaixo os quadros em verde representam sonares realizados, com os números no interior indicando as respectivas datas de realização.




8.5 SONDAS EM OPERAÇÃO - ATUALIZADO

Em março/2024 as operações foram realizadas com a utilização de 02 sondas de workover e 01 sonda de perfuração. O número reduzido de equipamentos está relacionado as atividades de manutenção e inspeção que estão sendo realizados nas outras sondas após o período de paralisação das atividades. A Figura 38 demonstra um histórico de operação das sondas atualizado até março/2024.

Figura 48 – Histórico de sondas em operação no ano de 2024.




RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 219	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

9. ANÁLISE DE POSSÍVEIS RISCOS NO PROCESSO DE FECHAMENTO

A análise de riscos do processo de fechamento das frentes de lavra foi realizada por meio da técnica "What If". Essa é uma técnica de análise qualitativa que foi empregada para a identificação dos riscos e suas consequências, abordando os mecanismos de salvaguardas e recomendações. A análise de riscos foi realizada nos processos de fechamento por tamponamento e por enchimento das cavidades de forma separada, cujos detalhes foram protocolados na ANM (SEI 1579589 de 30.07.2020). Considerando as últimas alterações ocorridas no plano de fechamento de algumas frentes de lavra, foi apresentado em 16/03/2022 (SEI 3745545) Fluxograma de decisões atualizado.

Wilfred Brandt
Engº de Minas
CREA 1403429774

Maceió, 15 de abril de 2024.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 220	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

10. BIBLIOGRAFIA


Brasil – ANM – Agência Nacional de Mineração – 1968 - **Processo DNPM 006.648/1965 – Concessão de lavra de Sal-gema. Volume I, II e III.**

Farina, P. - 2020 – **Monthly Report On The Ground Deformation Over The Maceio' Area - GEOAPP**
– Firenze, Itália. Relatório interno.

Kinscher, J. L. – 2015 - The analysis and interpretation of microseismicity induced by a collapsing solution mining cavity: A contribution for progress in hazard assessment of underground cavities. Earth Sciences. Université de Lorraine, 2015.

PB-KBB – 1986. **Solution Mining – First Decade – Salgema Salt Reserves Maceió-Alagoas-Brazil.**
Relatório interno.

Pereira, J. C – 2019. **Relatório Analítico dos Sonares – Sabine Storage & Operation Inc** – Houston, Texas, EUA. Relatório interno.

RELATÓRIO CONSOLIDADO MENSAL DE FECHAMENTO DAS FRENTES DE LAVRA REFERENTE AO MÊS DE MARÇO/2024				
ÁREA: Mineração	Pág.: 221	Nº Rev.: 1	Data: 15/04/2024	Por: Wilfred Brandt

11. ANEXOS - ATUALIZADO

ANEXO 1 – Síntese das Ações Integradas ao Descomissionamento de Mina;

ANEXO 2 – Geoapp Monthly Report on The Monitoring Data Over the Maceio' Area – March 2024 update;

ANEXO 3 – Relatório de interferometria referente ao mês de fevereiro/2024;

ANEXO 4 – Relatório de Monitoramento de vibração superficial Brain Engenharia - março/2024;

ANEXO 5 - Verificação dos Métodos de Monitoramento de Superfície: Rede Geodésica GNSS - UFAL

SÍNTESE DAS AÇÕES INTEGRADAS AO DESCOMISSIONAMENTO DE MINA DE MACEIÓ

A Braskem apresenta a seguir síntese das ações integradas ao descomissionamento de mina, de forma a manter a ANM informada destas ações e possibilitar uma visão sistêmica das ações desenvolvidas no período.

1 - Atualização do Programa de Apoio a Realocação e Compensação Financeira – ATUALIZADO

O Programa de Compensação Financeira e Apoio à Realocação (PCF), criado em dezembro de 2019, apresenta números que comprovam sua efetividade. Em quatro anos, a desocupação de todos os imóveis localizados na área de risco, definida pela Defesa Civil Municipal, em 2020, como área de “Críticidade 00”, foi concluída, em colaboração com as autoridades. Na área 01, definida como área “de monitoramento” 98% dos imóveis já foram desocupados. Até março de 2024, dos 14.546 imóveis identificados no Mapa da Defesa Civil Municipal, em 2020, 14.487 já foram desocupados, o que corresponde a 99,6% do total de imóveis residenciais, comerciais e mistos. Foram apresentadas 19.129 propostas de compensação financeira, com índice de 99,4% de aceitação, e já foram concluídos 18.256 pagamentos destas compensações.

Figura A1 – Mapa da área de desocupação com indicação da proporção de imóveis desocupados por zona, conforme definição dada pela Defesa Civil – Versão 04.



Figura A2 – Sumário de Indicadores do PCF – Atualizado até 29/03/2024.

Sumário de Indicadores						Status em 29/03/2024
Destques						
Zona	Total Imóveis ^{1, 2}	Imóveis Selados	Imóveis Realocados ³	Imóveis selados pendentes de desocupação	Acordos de compensação realizados	Realocação <ul style="list-style-type: none"> Área 01: 50 pendentes, sendo 20 residenciais e 30 comerciais 3.429 pedidos de antecipação de 6k, 3.302 com pagamento concluído e 3.351 (99%) já realocados 264 pedidos de antecipação de comerciais, 179 com pagamento concluído e 210 (87%) já realocados Compensação <ul style="list-style-type: none"> 19.129 propostas de compensação apresentadas: <ul style="list-style-type: none"> 18.762 propostas aceitas e 118 negadas 42 propostas lidas, aguardando resposta 297 propostas em análise ou em ajustes/esclarecimentos 02 propostas apresentadas em Fevereiro/2024 09 propostas apresentadas em Março/2024
Resguardo	513	513	513	0	647	
Zona A	1.633	1.633	1.633	0	1.954	
Zona B	77	77	77	0	88	
Zona C	154	154	154	0	180	
Zona D	2.814	2.814	2.814	0	3.372	
Zona E	2.628	2.628	2.628	0	3.463	
Zona F	61	61	61	0	89	
Zona G	2.380	2.380	2.380	0	3.150	
Zona H	1.398	1.398	1.398	0	1.939	
TOTAL ÁREA 00	11.658	11.658	11.658	00	14.882	
Área 01	2.888	2.888	2.829	59	3.880	
TOTAL GERAL	14.546	14.546	14.487	59	18.762	

1. Não considera grades equipamentos, imóveis da Braskem e demais casos que não estão listados no Contrato do Inquilino; 2. Imóveis que estejam no PCF em Área Técnica e que se enquadram a área definida no novo Acordo, sendo contabilizados pelo critério geográfico; 3. Inclui mutações realizadas, indenizações acordadas e imóveis desocupados registrados em campo

Nota 1: Vale ressaltar que, de acordo com as documentações apresentadas ou com as verificações *in loco*, a quantidade total de imóveis pode variar dentro do Programa de Apoio a Realocação e Compensação Financeira.

2 – Demolição, Limpeza e Proteção das Áreas de Realocação – ATUALIZADO

Sempre que são identificados imóveis em risco de estabilidade, a defesa civil determina sua demolição, o que é realizado pela Braskem, por meio de empresa contratada para tal. Os resíduos são segregados e destinados para centrais devidamente autorizadas para este fim, proporcionando uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos.

Neste contexto, destaca-se a Encosta do Mutange (Figura A3), a qual se configurava como de risco em função de alta declividade, com construções de baixa resistência em ocupação irregular, as quais já foram demolidas.

O projeto de estabilização e drenagem da encosta (correspondente a uma área de ~200 mil m²), previsto no termo de acordo firmado no âmbito da Ação Civil Pública Socioambiental, foi dividido em 4 etapas: demolição; terraplanagem; drenagem e cobertura vegetal.

O projeto de Demolição, Estabilização, Drenagem e Revitalização da Encosta do Mutange, contemplando a determinação de ângulo do talude e dos sistemas de drenagem, foi apresentado à

ANM nos autos do processo nº 48081.944063/2022-67, SEI nº 5379199, bem como por meio do anexo 1.1 do relatório Síntese das atividades relativo ao mês de março/23 (SEI nº 7006684), para conhecimento por este GT tendo sido apresentado ainda a cópia da Autorização Ambiental emitida pelo IMA em 30/08/2022 e respectiva declaração de renovação (SEI nº 7006685).

Considerando o andamento da execução da obra de estabilização da encosta, a Braskem apresenta por meio do Anexo 1.1 deste documento, o Relatório de Monitoramento da Encosta do Mutange, relativo ao mês de março de 2024, elaborado por consultoria especializada, o qual apresenta o acompanhamento e análise da condição geotécnica da encosta e identificação de eventuais situações de risco. O referido estudo é desenvolvido com base em instrumentação geotécnica, consistindo em inclinômetros, piezômetros, estação meteorológica, tendo como objetivo nortear a programação da execução das obras na encosta, em especial durante a quadra chuvosa. O relatório apresentado nesta oportunidade compreende as leituras dos piezômetros realizadas entre os dias 28/02/2024 e 01/04/2024. De acordo com a conclusão do resultado, não houve movimentos significativos que possam ser medidos com inclinômetros e piezômetros nos taludes da encosta.

Com relação as demais áreas contidas no Mapa de Linha de Ações Prioritárias – Versão 04 no mês de novembro de 2023, foi recebido sete ofícios emitidos pela Defesa Civil de Maceió solicitando a demolição, em caráter emergencial, de uma área construída de 91.130m². Concedidas pelo Instituto de Meio Ambiente (IMA), as respectivas autorizações ambientais. As atividades de demolição estão em andamento, com expectativa de conclusão até o final de maio 2024.

Em relação à demolição da totalidade da área desocupada, o Conselho Estadual de Proteção Ambiental (CEPRAM) definiu como ente competente para o licenciamento da atividade de demolição o IMA que solicitou a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo relatório (RIMA). O EIA foi apresentado em 02/01/2023, em relação ao RIMA, o documento foi protocolado em 17/02/2023. Realizada audiência pública sobre o estudo no dia 03/05/2023. Em 14/11/23, aprovado pelo órgão superior do sistema estadual do meio ambiente, CEPRAM. Em 06.12.23, o IMA emitiu a licença ambiental para as atividades de demolição das áreas desocupadas do mapa e suspendeu no dia 08.12.2023. Em 05.03.2024 o IMA concedeu licença para as atividades de demolição, porém, o IPHAN indicou necessidade de análise do patrimônio imaterial. Estudos adicionais estão sendo realizados para atendimento a solicitação do órgão.

Foi protocolado junto à essa Agência no dia 02/02/2024 (SEI 11274604), o Plano Executivo de Retorno às Atividades do Plano de Fechamento das Frentes de Lavra. O referido Plano foi aprovado por esta Agência em 05/02/2024 por meio do Despacho nº 17015/GER-AL/ANM/2024 e pela Defesa Civil Municipal em 15/02/2024 por meio do OF. 091 - COMPDEC/2024 (SEI 11433823).

Figura A3: Demolição, limpeza, drenagem e cobertura vegetal da Encosta do Mutange



3 – Plano Ambiental e Plano de Ações Sociourbanísticas - ATUALIZADO

Atendendo ao estabelecido no acordo socioambiental firmado com os Ministérios Públicos Federal e Estadual, a Braskem contratou empresas especializadas para desenvolver estudos ambientais e sociais para subsidiar projetos para ações compensatórias.

3.1. Plano Ambiental

O Diagnóstico ambiental e o Plano de Ação Ambiental desenvolvidos pela Tetra Tech, foram entregues ao Ministério Público federal em junho de 2022. A emissão da *Second Opinion* sobre o Plano Ambiental, realizada pelo Consórcio Nemus Temis, foi entregue ao Ministério Público Federal - MPF, em dezembro de 2022. Em fevereiro de 2023, foi recebido o ofício do MPF manifestando a anuência ao Diagnóstico ambiental e o Plano de Ação Ambiental desenvolvidos pela Tetra Tech, bem como questionando sobre a incorporação das sugestões realizadas pela *Second Opinion*.

Em resposta, a Braskem apresentou a nota técnica elaborada pela Tetra Tech, com considerações e esclarecimentos a respeito do relatório de avaliação e acompanhamento do Plano Ambiental elaborado pelo Consórcio Nemus Temis, ressaltando que recepcionará as sugestões da *Second Opinion* quando do detalhamento executivo dos planos ambientais propostos.

As ações previstas no Plano Ambiental, sofreram interferências decorrente da movimentação atípica de solo na região da cavidade 18 resultando em um deslocamento em relação ao previsto no Cronograma apresentando ao MPF. Em referência ao meio físico, que teve as atividades paralisadas devido ao evento da cavidade 18, destaca-se a retomada e o avanço nas instalações de novos poços e a continuidade do monitoramento de água subterrânea dos poços existentes após a retomada das atividades anteriormente paralisadas decorrente do evento da cavidade 18. Em relação ao meio biótico, destaca-se a conclusão da segunda campanha de monitoramento da fauna na área do Flexal nas margens do riacho do Silva e na Área de Resguardo, bem como as ações de campo para o plantio de aproximadamente 2Ha de mangue nas margens do riacho citado. O impacto nas atividades do cronograma é resultante das dificuldades encontradas, compartilhadas com MPF, sobre as questões fundiárias das áreas previamente identificadas para o plantio de mangue.

Em cumprimento ao quanto disposto na Cláusula 41ª do Termo de Acordo para Extinguir a Ação Civil Pública Socioambiental, em razão do colapso da cavidade 18 ocorrido no dia 10/12/2023, foi concluída a contratação da empresa especializada para elaboração do Diagnóstico Ambiental e Plano Ambiental. As atividades já foram iniciadas.

3.2. Plano de Ações Sociourbanísticas

O conjunto de medidas de ação social foi objeto de estudos, realizado por empresa especializada, a partir da construção do Diagnóstico Técnico-Participativo. A elaboração das propostas de ações apresentadas no Plano de Ações Sociourbanísticas (PAS), após rodadas de tratativas junto aos órgãos municipais, realizações de escutas da população potencialmente atingida, entidades da sociedade civil organizada e instituições de ensino, como parte do processo de trabalho organizado para atendimento das definições do Termo de Acordo Socioambiental.

O Pacote 1 do PAS contempla o total de 23 ações, validadas pelas partes signatárias do Acordo, sendo que 2 ações relacionadas ao Programa de Apoio Cultural e Inventário do Patrimônio Cultural estão em execução.

Outras iniciativas relacionadas à construção, reforma e repasse de recursos financeiros ao Município, para melhorias na saúde, educação, atenção social no entorno das áreas desocupadas, seguem em planejamento. [Foram feitas reuniões entre as partes do acordo para definição do segundo pacote de ações.](#)

4 – Destinação de Material: Material de Corte do Solo Encosta do Mutange – ATUALIZADO

Em fevereiro de 2023, foi celebrado com Empreendimentos Imobiliários locais, para atividades de terraplanagem, “Contrato Gratuito de Disposição de material”, por meio do qual a Braskem irá dispor, a título gratuito, material de corte do solo (material inerte) proveniente das atividades de Demolição, Estabilização, Drenagem e Revitalização da Encosta do Mutange, sem comercialização ou qualquer contrapartida financeira, nos termos do Despacho nº 189555/CAREAS-AL/ANM/2022 (SEI nº 5456252) e Ofício nº 53682/2022/GER-AL/ANM (SEI nº 5458814) relativo ao Processo de Dispensa de Título Minerário - DTM nº 48081.944063/2022-67. Foram destinadas gratuitamente aos empreendimentos imobiliários, até o mês de dezembro/23, 35.679t de material de solo de corte.

O material de solo de corte das obras na Encosta também vem sendo utilizado internamente pela Braskem nas obras de estabilização superficial, a saber:

- Para a realização da obra de nivelamento e regularização para recomposição de terreno da pretérita Base de Mineração foram utilizados um volume de 6.150m³ do material.
- Para a realização da estabilização da Encosta do Mutange, foram executados até março um acumulado de 96.178m³ de aterro e realizado corte de 300.462m³ de solo.

Anexo 1.1 – Relatórios de Monitoramento da Encosta do Mutange – Maceió/AL;

Recife, 05 de Abril de 2024
CT-001/23-14-R0

À: **Braskem**
Maceió – AL

Ref.: Monitoramento da Encosta do Mutange – Maceió/AL

Prezados senhores,

Apresentamos o resumo dos resultados da instrumentação geotécnica das ilhas de investigação, das leituras dos marcos superficiais e as leituras da estação meteorológica, que foram contemplados pelos seguintes informes semanais:

- CT-00723-48-R0 - Braskem - Monitoramento da encosta - 11-03-2024
- CT-00723-49-R0 - Braskem - Monitoramento da encosta - 19-03-2024
- CT-00723-50-R0 - Braskem - Monitoramento da encosta - 25-03-2024
- CT-00723-51-R0 - Braskem - Monitoramento da encosta - 02-04-2024
- CT-00723-52-R0 - Braskem - Monitoramento da encosta - 05-04-2024

Objetivo

A função da instrumentação é acompanhar o desempenho da encosta e identificar eventuais situações de iminência de risco de deslizamentos.

A instrumentação geotécnica foi implantada no mês de outubro de 2022 e é composta atualmente por inclinômetros, piezômetros e estação meteorológica. As leituras dos piezômetros neste informe foram realizadas entre os dias 28/02/2024 e 01/04/2024.

Situação da encosta instrumentada

A encosta possui um desnível de 40 a 45 m de altura, e as obras de terraplanagem e drenagem tiveram início em novembro/2022, após a finalização da etapa de demolição das casas.

CT-001/23-14-R0 (continuação)

A previsão de conclusão das obras foi revisada para o fim do segundo semestre de 2024 em função dos efeitos da “quadra chuvosa” a qual se mostrou mais restritiva do que o previsto originalmente em função da recorrência das chuvas.

A instrumentação foi inicialmente programada para ser feita na fase de terraplanagem, que tem como objetivo conformar o platô projetado para o Bairro de Mutange, localizado no pé da encosta, e o Bairro Pinheiros, localizado no platô na crista da encosta.

No entanto, no sentido de se evitar acidentes, foi decidido por parte da equipe técnica da Braskem, iniciar a instrumentação ainda na fase de demolição das casas, e seguir durante as atividades de terraplanagem.

Crítérios de análise de estabilidade da encosta

O principal parâmetro usado para o acompanhamento da estabilidade da encosta é a velocidade de deslocamento horizontal e a profundidade da massa deslocada obtida através dos inclinômetros. Utilizou-se o critério de controle proposto por Varnes (1978), que subdivide os movimentos nos intervalos mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Outro indicador de instabilidade para a encosta é o monitoramento da precipitação pluviométrica associada com o nível piezométrico, que constitui uma estratégia extremamente importante na prevenção de acidentes em áreas de risco (Gusmão Filho, 1995).

Tabela 1 – Classificação quanto à velocidade do movimento de massa

Nomenclatura	Velocidade
Muito rápido	0,3 m/min a 3 m/s
Rápido	1,5 m/dia a 0,3 m/min
Moderado	1,5 m/mês a 1,5 m/dia
Lento	1,5 m/ano a 1,5 m/mês
Muito lento	0,3 m/ 5 anos a 1,5 m/ano

Fonte: GeoRio (2002)

Av. Agamenon Magalhães, 3341, sala 304 – Torreão – CEP 52.030-210 – Recife-PE
Fone: (81) 3241-5964 – Fax: (81) 3241-7576 – CNPJ: 40.892.606/0001-01 – projetos@gusmao.eng.br

CT-001/23-14-R0 (continuação)

Tabela 2 – Classificação quanto à profundidade da massa deslocada

Nomenclatura	Profundidade
Superficial	< 1,5 m
Raso	1,5 a 5 m
Profundo	5 a 20 m
Muito Profundo	> 20 m

Fonte: GeoRio (1999)

Inicialmente, em virtude da carência de dados para criação de valores de alerta que pudessem relacionar a precipitação pluviométrica e variação do nível piezométrico com eventuais movimentos de massa na encosta, adotou-se o valor de alerta de precipitação pluviométrica de 50 mm/dia para suspensão temporária dos trabalhos na encosta. Em seguida, no dia posterior, deverá ser feita a leitura dos instrumentos de medição para interpretação e verificação de possíveis movimentos de massa que possam oferecer algum risco para o ingresso na área.

De qualquer forma, após a leitura dos instrumentos e cessação das chuvas, no dia posterior, os engenheiros da empresa executante das obras e os engenheiros da Braskem poderão, conjuntamente, avaliar *in loco* as condições gerais do maciço e, caso a superfície esteja praticável e não se tenha identificado situações específicas que representem algum risco (fissuras e possíveis deslizamentos prévios), o retorno das atividades poderá ser liberado parcial ou integralmente.

Para demarcar valores de alerta da variação de poropressão fornecidos pelos piezômetros, é necessário o monitoramento da encosta durante pelo menos um ciclo de inverno. Com isso, espera-se obter uma faixa de valores que correlacionem o movimento de massa com a variação de poropressão.

Análise dos resultados

As medições dos marcos superficiais foram interrompidas em dezembro de 2022, no final das atividades de demolição das casas, devido à influência da movimentação dos maquinários dos serviços de terraplanagem.



CT-001/23-14-R0 (continuação)

No mês de março de 2024 não houveram interrupções dos serviços devido as chuvas, já que nesse mês foram medidos apenas 151 mm de chuva.

Os resultados dos piezômetros das ilhas de investigação: A1, A3, B1, B3, C1, C3, D1, D3, E1 e E3, não apresentaram variação de poropressão significativa durante o período de medição.

Na Figura 1 está apresentado um resumo das leituras realizadas pelos piezômetros instalados e a precipitações diárias medidas pela estação meteorológica. Observa-se que não houve uma variação significativa da linha piezométrica medida pelos piezômetros.

A Tabela 3 apresenta as primeiras leituras dos inclinômetros com o deslocamento horizontal medido e a velocidade de deslocamento. Também é apresentada a sua classificação de acordo com a proposta de Varnes (1978). Os resultados mostram que o movimento na encosta está classificado como muito lento, com velocidade parcial variou entre -0,602 e 1,866 mm/dia, sem a necessidade de intervenções emergenciais e/ou interrupção das atividades.

CT-001/23-14-R0 (continuação)

Tabela 3 – Classificação quanto à velocidade do movimento de massa

Ilha	Deslocamento horizontal máximo resultante e profun. (mm)		Velocidade máxima e classificação de Varnes (1978) (mm/dia)	
	Acumulado	Parcial	Acumulada	Parcial
A1 130 ^a a 141 ^a	9,75 a 10,19	-0,16 a 0,82	0,025 a 0,028 (muito lento)	-0,033 a 0,275 (muito lento)
A2 79 ^a a 90 ^a	10,74 a 12,04	-0,71 a 0,59	0,034 a 0,04 (muito lento)	-0,235 a 0,14 (muito lento)
A3 135 ^a a 146 ^a	14,29 a 16,16	-0,81 a 0,73	0,037 a 0,039 (muito lento)	-0,27 a 0,184 (muito lento)
B1 124 ^a a 135 ^a	15,87 a 17,84	-0,57 a 0,55	0,041 a 0,049 (muito lento)	-0,115 a 0,185 (muito lento)
B3 135 ^a a 146 ^a	13,87 a 15,01	-0,75 a 0,36	0,034 a 0,037 (muito lento)	-0,25 a 0,119 (muito lento)
C1 119 ^a a 130 ^a	10,86 a 13,4	-1,81 a 0,97	0,031 a 0,04 (muito lento)	-0,602 a 0,288 (muito lento)
C3 137 ^a a 148 ^a	9,98 a 10,95	-0,48 a 0,6	0,025 a 0,026 (muito lento)	-0,162 a 0,199 (muito lento)
D1 112 ^a a 123 ^a	2,29 a 2,57	-0,86 a 0,62	0,007 a 0,007 (muito lento)	-0,171 a 0,206 (muito lento)
D3 136 ^a a 147 ^a	6,92 a 8,54	-0,35 a 1,17	0,018 a 0,02 (muito lento)	-0,116 a 0,234 (muito lento)
E1 130 ^a a 141 ^a	10,47 a 12,71	-1,6 a 1,32	0,026 a 0,034 (muito lento)	-0,319 a 0,439 (muito lento)
E3 117 ^a a 128 ^a	8,15 a 13,63	-0,52 a 5,6	0,02 a 0,034 (muito lento)	-0,174 a 1,866 (muito lento)

CT-001/23-14-R0 (continuação)

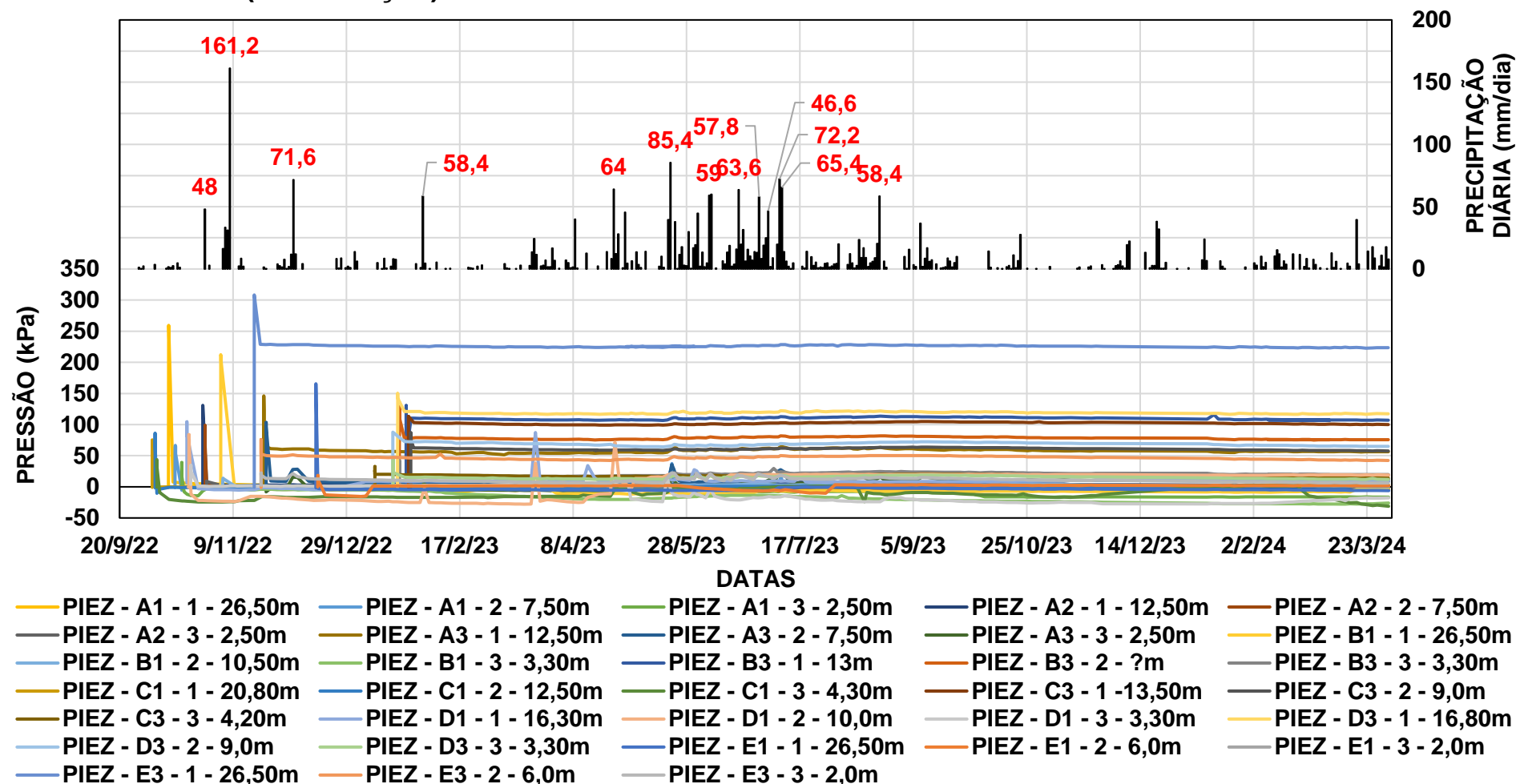


Figura 1 – Resumo da precipitação diária com a medição dos piezômetros durante o período de monitoramento

CT-001/23-14-R0 (continuação)

Considerações finais

Conclui-se, com base nos resultados da instrumentação, que não houve movimentos significativos que possam ser medidos com inclinômetros e piezômetros nos taludes da encosta.

Recife, 05 de Abril de 2024



Alexandre Duarte Gusmão, D.Sc.
Eng. Civil – CREA 17.403D/PE



Gilmar de Brito Maia
Eng. Civil – Crea 22.844D/PE



Allan Kleber Leite de Almeida
Eng. Civil – CREA 181836145-0/PE



Victor Hugo Mendes Rufino
Técnico de Edificações – Senior

MONTHLY REPORT ON THE MONITORING DATA OVER THE MACEIO' AREA

Period covered: March 2024 update

Version 1.0

To the attention of:

BRASKEM S.A.

Principal Investigator: Dr. Paolo Farina

With the collaboration of

Dr. Andrea Ciampalini

Geoapp® s.r.l.

Firenze, 11 April 2024

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUCTION.....	3
2	InSAR DATA.....	4
2.1	Buffer analysis	7
3	D-GPS	13
3.1	Analysis of the annual average velocity	15
3.2	D-GPS alerts	19
4	COMPARISON BETWEEN InSAR AND D-GPS DATA	20
5	INCLINOMETERS.....	24
6	TILTMETERS	30
7	MICROSEISMIC NETWORK	46
7.1	Alerts	53
8	CONSOLIDATION OF DATA.....	56
8.1	Microseismic Network	56
9	CONCLUSIONS.....	59
	ANNEXES	61
A.	Charts Inclinometers	61
B.	Data Events Class A	110

1 INTRODUCTION

This report is intended to address the monitoring of the instruments installed by Braskem in the city of Maceió, State of Alagoas, over the month of March 2024.

The monitoring system consists of 4 inclinometers, 13 tiltmeters, 77 D-GPS stations, leveling measurement (quarterly), InSAR data and a microseismic network with 26 stations. All instruments have been installed.

In this report inclinometers, tiltmeters, D-GPS and microseismic data acquired in March 2024 have been analyzed. InSAR data shows a delay of one month with respect to the other instruments for the time needed to process them by TRE-Altamira. In fact, at the end of each month TRE-Altamira deliver the data acquired in the previous month. Thus, this report includes the analysis of the data acquired between June 2019 and February 2024.

2 InSAR DATA

This report describes the outcomes of the analysis of the satellite InSAR data obtained from TerraSAR-X images along ascending and descending orbits and their decomposition along E-W and vertical directions updated to February 2024. The InSAR data collected along ascending and descending orbits are showing the component of the displacement vector along the satellite line of sight, which is not vertical, but oblique. The latest datasets cover the following periods: 21/06/2019-20/02/2024 for the ascending dataset and 18/06/2019-28/02/2024 for the descending one.

Spatial distribution of deformations: InSAR data show, similarly to the previous update, an extensive deformation field of semi-elliptic shape elongated in the direction parallel to the lagoon coastline, with maximum values centered in the area between well M12 to the N and M20 to the S. For the latest descending dataset the maximum cumulated displacement, from June 2019 to February 2024 is 968.4 mm along the line of sight and maximum velocity is 189.4 mm/y along the line of sight 80 m SE to the well M10, similar to that measured in January 2024 (188.7 mm/y). For the latest ascending dataset the maximum cumulated displacement, from June 2019 to February 2024 is 887.8 mm along the line of sight (Figure 1) and maximum velocity is 180.1 mm/y along the line of sight 25 m East to the well M27D (Figure 2), similar to that measured in January 2024 (180.3 mm/y).

Geometry of detected deformations: the decomposed InSAR data show that vertical movements (Figure 3) follow a spatial distribution similar to the one identified in the ascending InSAR data, with the highest deformations located in the area delimited to the N by well M12, to the E by well M17 and to the S by M20, where velocities reach values up to 195.6 mm/y in the period covered by the February 2024 update, 100 m Southeast to the well M12, slightly lower with respect to the maximum value measured in January (196.5 mm/y). Deformations then gradually decrease moving radially from this area towards N, S and E, following the same semi-elliptic pattern detected by the ascending InSAR dataset. With respect to the previous updates, in the February 2024 dataset the gradual decrease of the velocities observed in the external part of the semi-ellipse is not present (Figure 3).

Similarly to the previous dataset, the E-W component of the InSAR data collected in February shows an area elongated in N-S direction, centered in the Pinheiro neighborhood, around 800 m wide (in E-W direction) and 1.500 m long (in N-S direction), with strong horizontal movements toward West (Figure 4) and with maximum value of around 86.4 mm/y towards W 200 m East of M01 (maximum of 85.4 mm/y in January). E-W movements are absent to the E of the Pinheiro neighborhood and in the area oriented in the N-S direction limited by M03 to the N and M05 to the S. In the N sector of the wells area, movements toward East have been measured in between well M12 to the S and M32 to the N, with max velocity of 26.9 mm/y in the period covered by the February 2024 update (27 mm/y in January) located 430 m Northeast of M32-33D. Deformations toward E have been detected in the area close to wells M09, M12, M32 and M33D (Figure 4).

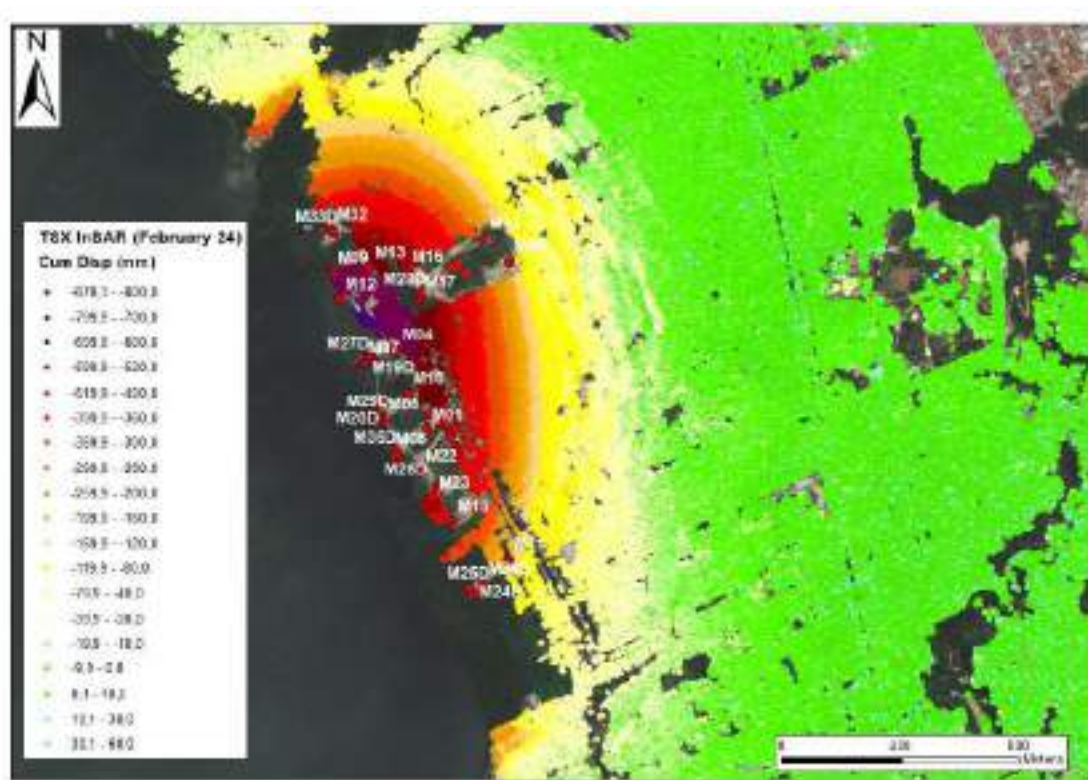


Figure 1: Cumulative displacement map from ascending InSAR data over the area of interest in the period June 2019-February 2024.

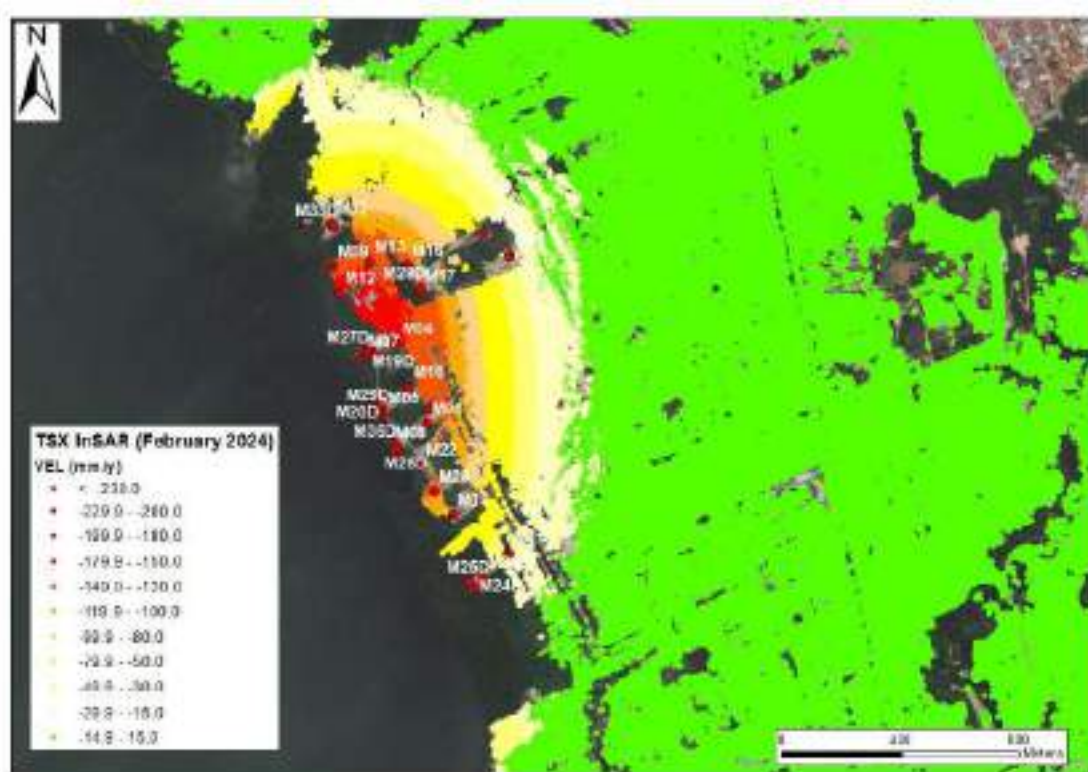


Figure 2: velocity map from ascending InSAR data over the area of interest in the period June 2019-February 2024.

With respect to the past updates (until April 2022), starting from May 2022 in the E-W dataset the decrease of the velocities in the central part of the area with maximum deformation (red pixels in Figure 4), is less evident.

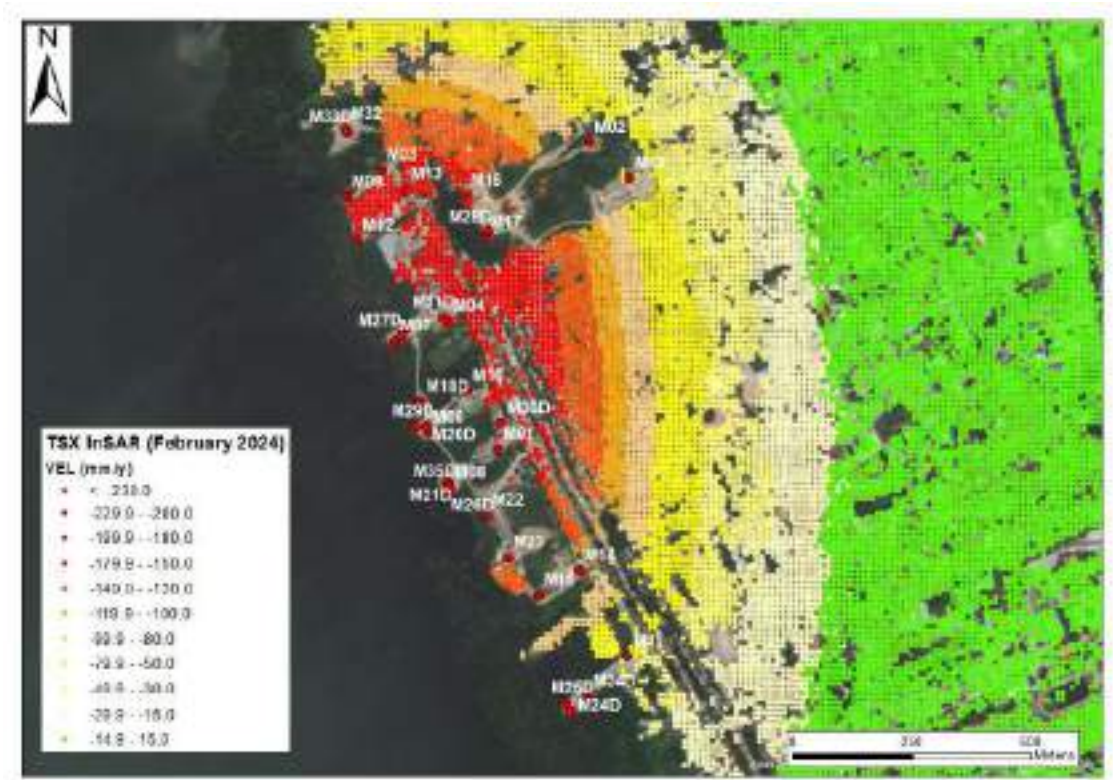


Figure 3: vertical velocity map from InSAR data over the area of interest in the period June 2019-February 2024.

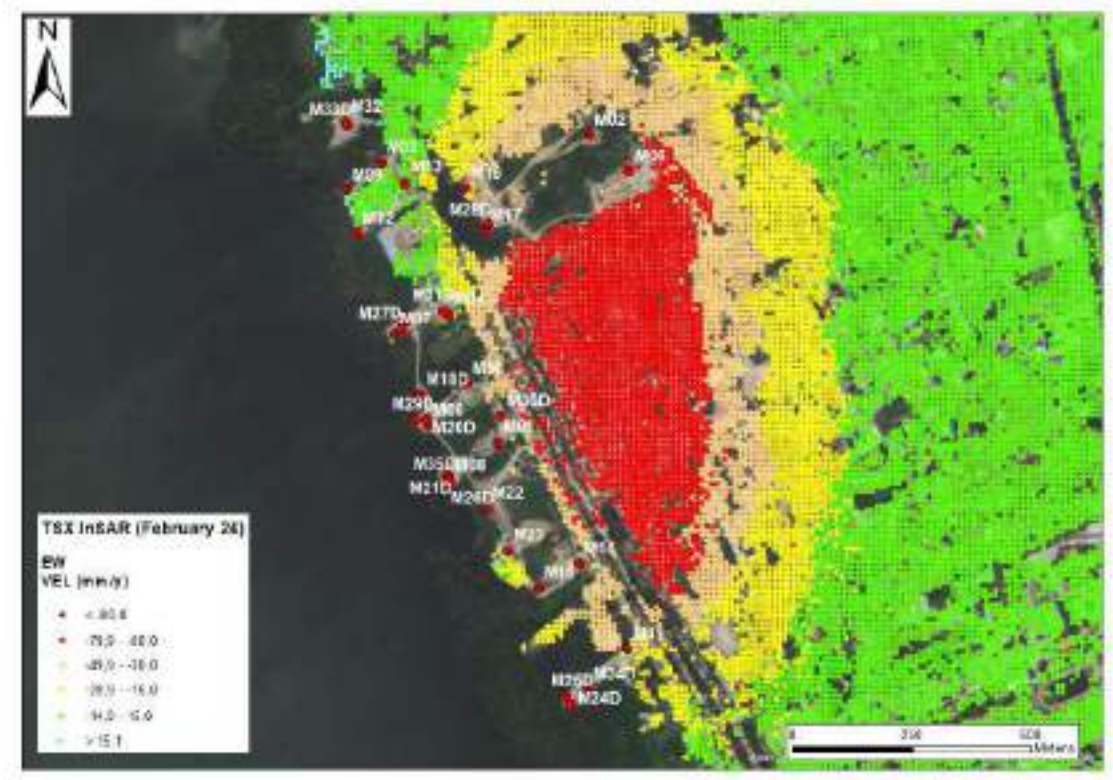


Figure 4: E-W velocity map from InSAR data over the area of interest in the period June 2019-February 2024.

2.1 Buffer analysis

Temporal evolution of deformations: in order to identify changes in the deformation rates measured in the area of interest the annual velocity calculated for the E-W and vertical components in the period ranging between February 2023 and February 2024 have been analyzed. In addition to the map with the yearly average velocity in the analyzed period, the average velocity measured in n.27 areas located in different sectors of the area of interest, including the wells area and the residential neighborhoods, are described (Figure 5). A buffer of 50 m of radius has been created and InSAR points falling within the buffer have been averaged in order to provide velocity data representative of each area. From June 2023 report, the evaluation of the annual average velocity is calculated using a different approach (linear regression of all the measurements of the last year). This change is necessary to reduce the effects induced by the presence of possible atmospheric artifact during the processing of the radar images or to the lack of an image. Both these facts can produce noise which affect the calculation of the annual average velocity using the simple difference between the displacement measured at the beginning and at the end of a year.

The December 2023 values have been recalculated using the data from January 2024, as the data from the previous update only included the first 13 days of December 2023. The lack of data for the second half of December was due to the early delivery of December data following the event that occurred between November and December 2023.

In Figure 6 and Figure 7 the location of the buffers is superimposed on the map of the average velocity measured along the yearly vertical and the EW component respectively.

Vertical decomposed InSAR data show that the highest yearly velocities are located in the area delimited to the N by well M32, to the E by well M17 and to the S by M25, where velocities reach values up to 236.7 mm/y in the period between February 2023 and February 2024 (218.8 mm/y in the period between January 2023 and January 2024), inside buffer n.4. Velocities then gradually decrease moving radially from this area towards N, S and E, following a semi-elliptic pattern.



Figure 5: Location of the InSAR buffers on the Civil Protection map.

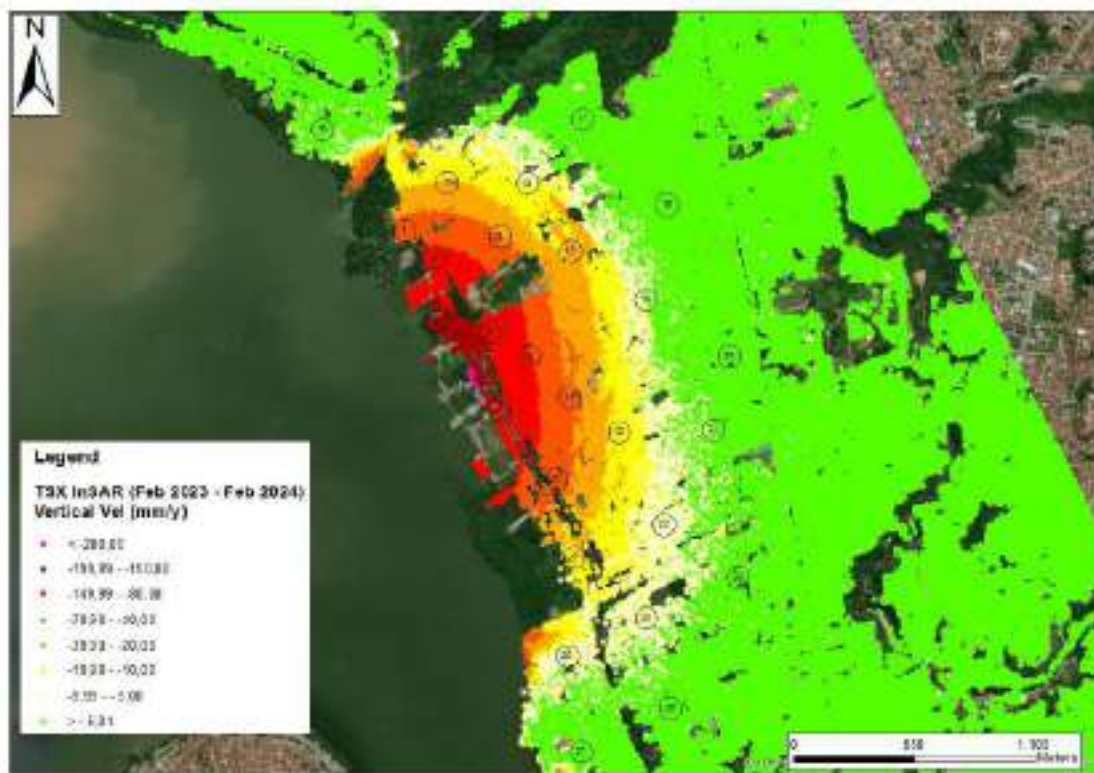


Figure 6: Yearly vertical velocity map from InSAR data in the period February 2023-February 2024 and location of the buffers.

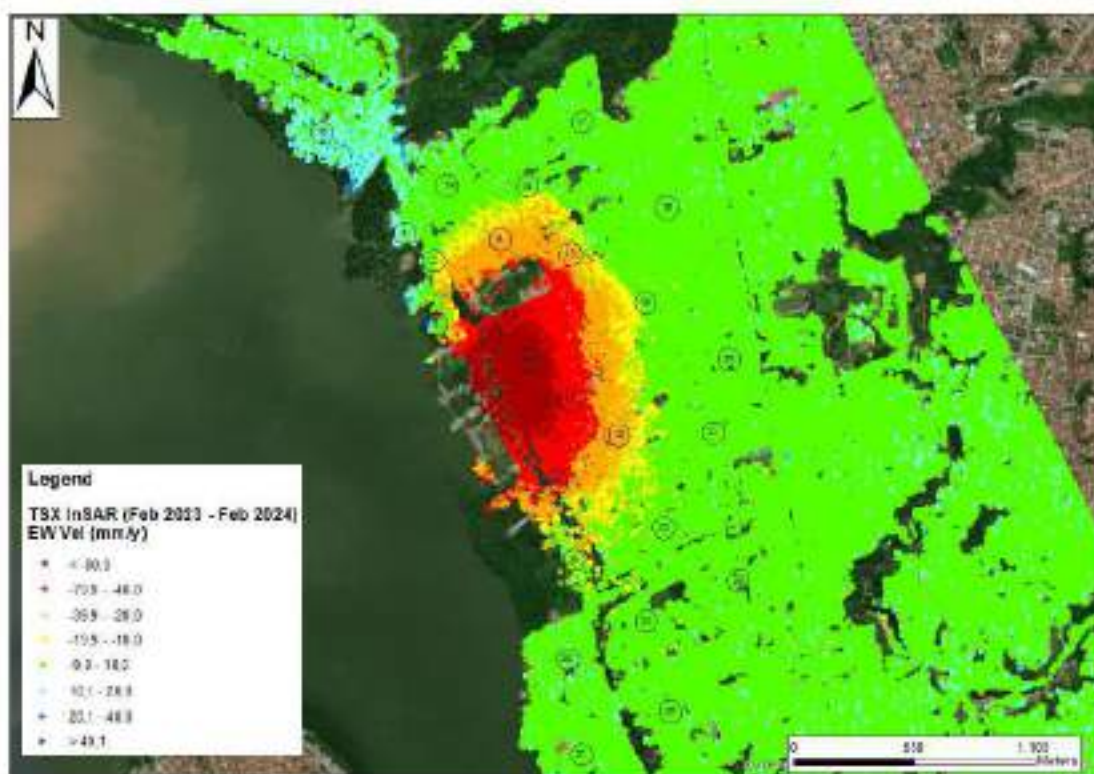


Figure 7: Yearly EW velocity map from InSAR data over in the period February 2023-February 2024 and location of the buffers.

The E-W component of the InSAR dataset collected until February 2024 shows an area elongated in N-S direction, centered in the Pinheiro neighborhood, around 800 m wide (in E-W direction) and

1.500 m long (in N-S direction), with strong horizontal movements toward West and with maximum values of 197.3 mm/y towards West (175.4 mm/y between January 2023 and January 2024) 20 m East of buffer n.4. In the N sector of the wells area movements toward East have been measured from the coast of the lagoon towards the neighborhood with a maximum value of 47 mm/y 150 m Northwest of buffer n.3 (39.1 mm/y between January 2023 and January 2024).

Table 1 and Table 2 show the yearly velocity inside the buffers calculated over a monthly basis using the linear regression approach, starting from February 2023 to February 2024 for the vertical and E-W components of the InSAR data, respectively. From the July 2022 report, the values of the velocity for the buffers have been reviewed for the past months based on the data from the new InSAR baseline.

The annual average velocity values for the period from May to September 2023 underwent recalibration due to a minor misalignment in the georeferencing of the InSAR measurement points between April 2023 and subsequent deliveries. Recalibrated data were used to recalculate average velocities from May to September 2023 resulting in a minimal impact on the buffer analysis.

Buffer ID	Vertical velocity (mm/y)												
	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23	Jan-24	Feb-24
1	-65	-62	-62	-62	-63	-62	-60	-60	-59	-56	-56	-55	-56
2	-107	-104	-103	-102	-104	-102	-99	-98	-97	-94	-96	-97	-97
3	-164	-161	-160	-160	-163	-159	-157	-156	-153	-149	-161	-166	-170
4	-164	-162	-161	-160	-161	-154	-153	-150	-148	-137	-179	-199	-212
5	-53	-51	-51	-50	-52	-49	-48	-47	-48	-45	-48	-49	-51
6	-20	-18	-20	-20	-21	-20	-20	-20	-19	-16	-16	-17	-18
7	-32	-29	-30	-30	-32	-30	-30	-28	-27	-24	-23	-22	-22
8	-58	-55	-55	-54	-56	-54	-53	-51	-49	-46	-45	-44	-43
9	-147	-144	-143	-143	-145	-141	-139	-136	-134	-129	-138	-141	-143
10	-98	-94	-92	-92	-93	-90	-88	-86	-84	-80	-85	-87	-88
11	-52	-51	-50	-50	-52	-50	-48	-46	-44	-40	-43	-44	-47
12	-20	-19	-18	-18	-19	-18	-19	-18	-17	-16	-15	-16	-17
13	-31	-29	-29	-29	-30	-29	-29	-28	-26	-24	-24	-25	-25
14	-10	-8	-8	-9	-10	-10	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-6
15	-5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	-1
16	-7	-6	-6	-7	-7	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-1	-2
17	-4	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-5	-3	-2	-1	-1
18	-20	-18	-19	-19	-20	-19	-18	-17	-16	-13	-11	-11	-11
19	-5	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-4	-4	-2	-1	-1	-1
20	-5	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-3	-1	-1	-1
21	-7	-4	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-5	-4	-3	-3	-4
22	-11	-9	-9	-10	-10	-10	-10	-11	-10	-9	-9	-8	-8
23	-6	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-3	-3
24	-10	-8	-9	-9	-9	-9	-10	-10	-10	-9	-8	-8	-8
25	-12	-10	-11	-11	-12	-12	-12	-11	-10	-8	-6	-6	-7
26	-6	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-4	-2	-1	-2
27	-5	-3	-3	-3	-5	-5	-6	-6	-6	-4	-3	-3	-3

Table 1: Summary of vertical average yearly velocities for each buffer calculated from February 2023 to February 2024. Negative values: downward movement, positive values: upward movement.

Buffer ID	EW Velocity (mm/y)												
	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23	Jan-24	Feb-24
1	10	5	5	6	5	7	9	9	8	10	10	10	10
2	-7	-11	-12	-10	-13	-9	-7	-6	-7	-3	-5	-6	-7
3	-4	-5	-6	-3	-8	-4	-7	-8	-8	-3	-4	-3	0
4	-28	-31	-30	-26	-27	-18	-24	-22	-23	-5	-102	-141	-160
5	-48	-49	-48	-46	-47	-43	-40	-40	-36	-32	-42	-47	-46
6	-13	-16	-16	-15	-15	-13	-12	-12	-10	-8	-9	-10	-9
7	0	-3	-4	-3	-5	-1	-1	-1	0	4	4	4	4
8	-28	-30	-30	-29	-31	-27	-26	-25	-24	-20	-23	-25	-27
9	-54	-56	-57	-55	-57	-52	-50	-49	-47	-41	-72	-84	-89
10	-62	-64	-63	-61	-64	-60	-58	-56	-55	-50	-81	-93	-99
11	-50	-52	-51	-51	-53	-49	-46	-44	-43	-38	-56	-65	-68
12	-20	-22	-22	-21	-21	-19	-18	-17	-17	-14	-20	-23	-24
13	-28	-31	-31	-30	-32	-28	-26	-25	-23	-19	-22	-24	-25
14	-8	-11	-10	-9	-10	-9	-8	-7	-7	-5	-7	-8	-9
15	4	2	3	3	2	3	2	2	3	5	5	5	6
16	6	3	4	3	2	2	3	4	5	8	8	8	9
17	-1	-5	-5	-5	-6	-5	-4	-2	-2	1	1	1	2
18	-13	-17	-16	-15	-16	-13	-12	-11	-10	-6	-6	-3	-6
19	0	-4	-5	-6	-6	-5	-4	-3	-1	1	3	3	4
20	-3	-6	-5	-4	-5	-5	-4	-3	-2	0	2	0	0
21	-5	-8	-7	-8	-8	-8	-6	-5	-4	-1	-3	-5	-4
22	-10	-13	-13	-13	-13	-12	-11	-11	-9	-6	-7	-7	-7
23	-5	-8	-7	-8	-7	-7	-6	-5	-4	-1	1	1	1
24	-6	-8	-8	-9	-10	-11	-10	-8	-7	-4	-2	-2	-2
25	-5	-7	-7	-6	-7	-7	-6	-5	-4	0	3	2	3
26	-3	-5	-4	-5	-6	-6	-5	-3	-3	-2	0	0	1
27	-2	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-1	2	2	3

Table 2: Summary of E-W average yearly velocity for each buffer calculated from February 2023 to February 2024. Negative values: movement toward West; Positive values: movement toward East.

From the tables it is possible to follow the temporal evolution of the velocities in the last 12 months.

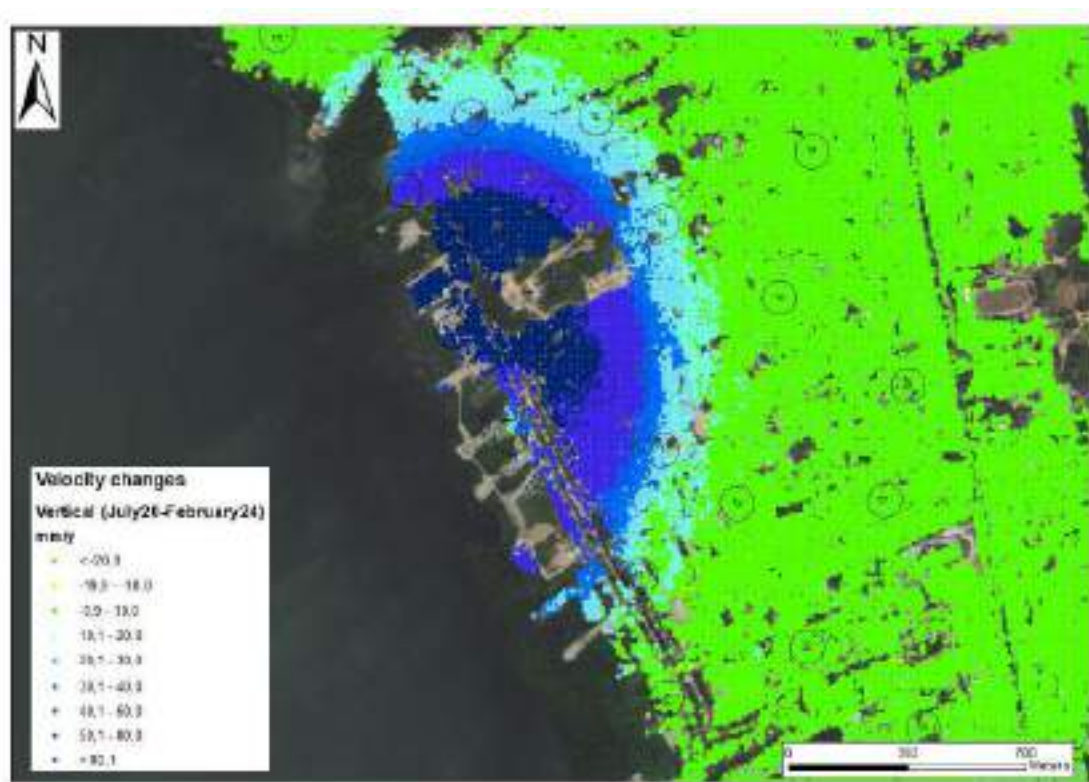
By using the linear regression to calculate the average velocity, both for the vertical and EW component, it is possible to observe the absence of the general deceleration observed in the March 2023 data and of the general acceleration measured with the April 2023 data. As suggested in the March and April reports, these changes in the motion trends were probably related to an increase of the noise which has been reduced by using the linear interpolation method.

Comparing the last two updates in the vertical direction, most of the buffers shows a similar velocity with respect to those measured in the previous update. No accelerations or decelerations higher than 5 mm/y have been measured, except for buffer n. 4 which shows an increase of 13 mm/y.

Along the EW component, comparing the last two updates, all the buffers shows similar velocity with respect to those measured in the previous update. No accelerations or decelerations higher than 5 mm/y have been measured, except for buffers n. 4 (+19 mm/y) and n.9 and 10 (+6 mm/y).

In Figure 8 and Figure 9 velocity changes obtained as the difference of the yearly velocity calculated in July 2019-2020 and in February 2023-2024 for vertical and E-W components are shown.

It is worth noting that along the vertical component the most important deceleration can be observed between buffer n.2 and buffer n.3. The center of the ellipses is characterized by a decrease of the deceleration. The maximum value of deceleration in the period July 2020 - February 2024 is 119 mm/y, 150 meters Southeast of buffer n. 2 (vs. 121.4 mm/y in the previous update). The highest deceleration in the vertical direction has been measured within buffer n. 2 (97.5 mm/y).



Along the EW component the most important deceleration is observed in semicircular area between buffer 18 to the North and buffer n. 5 to the South. From January 2024, the area affected by deceleration along the EW component is strongly reduced with respect to the past updates. Another semicircular areas, centered in buffer n. 4, shows an acceleration. The maximum value of the deceleration in the period July 2020 - February 2024 is of 52.4 mm/y, measured 180 m Southwest of buffer n.13 (vs. 49.7 mm/y in the previous update). The highest deceleration in the E-W direction has been measured by buffer n.13 (17.8 mm/y). The maximum acceleration has been measured 30 m North of buffer n. 4 (156.4 mm/y).



3 D-GPS

77 GNSS antennas are installed in the area of Maceió around the wells D-GPS data belonging to the 12h project have been analyzed through the Trimble 4D on-line platform in order to identify possible accelerations or decelerations of the movements and to compare them with the InSAR data collected in the same period (Table 3, Figure 10). In order to increase the density of the DGPS data, an analysis was conducted, by Braskem and Geoapp, with the aim of having a DGPS station for each IfG buffer as well as for each “3R” (3 times the cavity radius). 13 DGPS stations are going to be installed in the near future. It is important to mention that this number can be updated if needed.



Figure 10 - location of the D-GPS monitoring stations.

For what concerns the vertical components of the displacement vector, a spatial pattern of ground deformations similar to what measured by InSAR is visible (Figure 11) with maximum values of deformations located along the central part of the lagoon coastline. The analysis of the combined horizontal components confirms the presence of a focal located among wells (M09, M16, M17, M04 and M07) as visible in Figure 11.

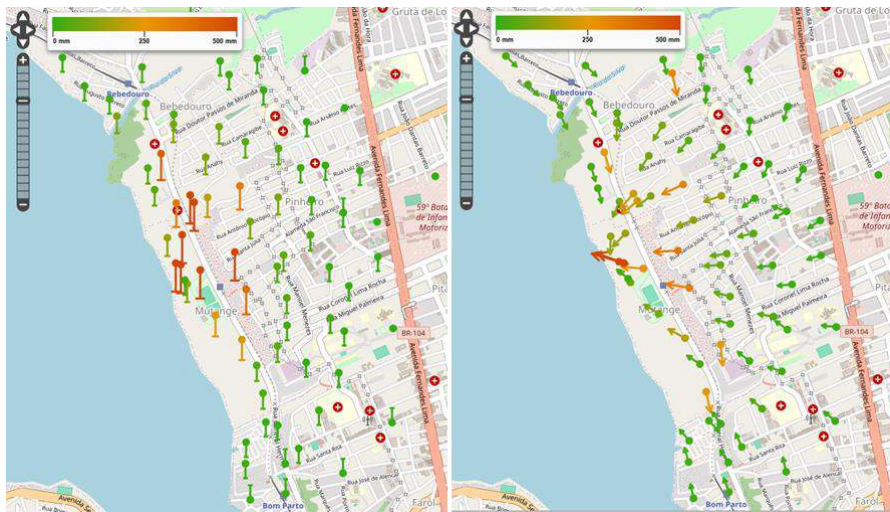


Figure 11 - map showing the vertical (on the left) and horizontal (N and E) components of the D-GPS stations measured from the 12 hours project.

Installation date	D-GPS Stations
05/07/2019	M06, M07, M09, M16, M20, M32, M35, DG-01, DG-05
06/07/2019	M04, M11
03/10/2019	M17
29/07/2019	DG-03, DG-04, DG-08
28/09/2019	DG-02
03/10/2019	DG-07
05/11/2020	DG-09, DG-10, DG-11, DG-12, DG-13, DG-14, DG-15, DG-16
09/03/2021	DG-17
17/06/2021	DG-21, DG-22
17/06/2021	DG-18
19/11/2021	DG-19, DG-20, DG-23, DG-28
30/11/2021	DG-25, DG-26
02/12/2021	DG-27, DG-29, DG-32, DG-34, DG-35, DG-38
06/12/2021	DG-36
28/01/2022	DG-06
21/05/2022	DG-24, DG-30, DG-31, DG-33, DG-37, DG-39, DG-40, DG-41, DG-42, DG-43
31/05/2022	DG-44, DG-45, DG-46, DG-48
08/06/2022	DG-47, DG-49
02/07/2022	DG-51, DG-52, DG-53, DG-54
11/07/2022	DG-50
09/08/2022	DG-55, DG-56, DG-57
13/01/2023	DG-58, DG-59, DG-60, DG-61, DG-62
19/12/2023	RB01
22/12/2023	RB02

Table 3 - List of the D-GPS stations installed in Maceio and related installation dates.

On the 10th of December the Mina 20 station submerged in the lagoon, ceasing data acquisition. Subsequently, on December 12th, the station was replaced with a new one named RB01 and a second station (RB02) was installed on the 22nd of December.

D-GPS time series along the three components have been analyzed and then compared to those of InSAR data for the month of February 2024 (see Section 4). In this section, the D-GPS trend analysis has been performed also including data up to the end of March 2024.

In general, all the D-GPS stations show flat, regressive or linear behavior along the vertical component. More in details, stations DG-09, DG-26 and DG-33 passed from linear to regressive pointing to a deceleration. Station DG-25 passed from flat to linear after a slight acceleration.

Along the EW component, stations DG-01, DG-35, DG-36 and DG-44 changed their status from regressive or flat to linear, highlighting a slight acceleration after a short regressive phase. A deceleration has been observed for stations DG-05, DG-11, DG-26, DG-29, DG-40, M01, M04, M17 and M35 which passed from linear to regressive.

3.1 Analysis of the annual average velocity

The analysis of the annual average velocity measured along the three components have been performed until March 2024.

In Table 4, Table 5 and Table 6 the yearly velocity of the D-GPS calculated over a monthly basis in the last year for the vertical, E-W and N-S components are shown, respectively.

From Table 4 it is possible to notice how velocities along the vertical component in March 2024 for all the D-GPS stations show similar values with respect to the previous month, except for station M32 which shows a decrease of 7 mm/y.

Considering the EW component (Table 5), by comparing the last two updates, all the D-GPS stations show values in agreement with those of the previous month.

For what concerns the N-S direction (Table 6), the comparison of the velocity measured in March 2024 does not show evident changes with respect to the previous update, except for station DG-55 which passes from 1 mm/y toward North to 5 mm/y toward South.

	Vertical velocity (mm/y)												
D-GPS	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23	Jan-24	Feb-24	Mar-24
DG01	-25	-32	-28	-26	-22	-20	-28	-32	-28	-15	-9	-9	-11
DG02	-105	-102	-106	-106	-97	-90	-88	-86	-85	-95	-97	-96	-94
DG03	-20	-18	-20	-22	-19	-17	-17	-20	-14	-17	-18	-19	-19
DG04	-73	-69	-73	-76	-71	-68	-66	-64	-63	-69	-70	-70	-69
DG05	-9	-7	-9	-12	-10	-10	-11	-11	-8	-11	-12	-13	-12
DG06	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
DG07	-84	-80	-80	-81	-80	-76	-77	-78	-76	-77	-75	-75	-75
DG08	-7	-4	-7	-11	-8	-9	-7	-6	-6	-7	-7	-9	-7
DG09	-19	-19	-22	-26	-21	-21	-21	-19	-19	-22	-21	-23	-22
DG10	-14	-12	-16	-21	-16	-15	-10	-14	-15	-16	-15	-17	-14
DG11	-7	-3	-7	-10	-8	-11	-8	-5	-6	-7	-8	-9	-8
DG12	-1	1	-1	-1	-1	1	0	-3	-3	-2	0	-2	-3
DG13	-22	-19	-16	-15	-17	-16	-22	-22	-21	-21	-20	-20	-20
DG14	-33	-31	-30	-32	-32	-28	-31	-32	-30	-31	-30	-30	-31
DG15	-10	-9	-5	-4	-5	-3	-4	-5	-5	-5	-3	-4	-5
DG16	-5	-5	-2	-1	-1	1	-2	-4	-3	-3	-1	-1	-3
DG17	-2	-2	0	0	-2	1	-2	-4	-4	-6	-1	-1	-2
DG18	-3	-3	0	2	1	3	0	-2	-2	-2	0	0	-2
DG19	-117	-114	-117	-118	-112	-108	-107	-104	-104	-108	-105	-105	-101
DG20	-20	-19	-23	-27	-24	-23	-22	-21	-22	-22	-22	-25	-22
DG21	3	1	2	2	2	2	2	0	1	4	5	5	3
DG22	-4	-1	-4	-10	-7	-10	-8	-4	-6	-6	-4	-5	-2
DG23	-151	-148	-148	-149	-146	-145	-144	-145	-147	-154	-154	-154	-153
DG24	-	-	-	-24	-24	-22	-22	-23	-23	-22	-21	-22	-23
DG25	-4	-3	-1	-1	-1	1	0	0	1	2	5	5	4
DG26	-10	-9	-10	-12	-10	-9	-8	-7	-7	-9	-10	-10	-10
DG27	-29	-26	-28	-32	-29	-27	-26	-24	-23	-28	-30	-31	-29
DG28	-6	-3	-5	-9	-7	-7	-6	-4	-4	-6	-6	-8	-6
DG29	-20	-16	-19	-23	-20	-20	-19	-17	-16	-19	-21	-22	-20
DG30	-	-	-	-58	-54	-52	-50	-50	-48	-51	-53	-52	-51
DG31	-	-	-	-22	-19	-19	-18	-16	-16	-19	-19	-21	-18
DG32	-9	-6	-10	-15	-12	-15	-12	-9	-12	-12	-11	-12	-10
DG33	-	-	-	-28	-28	-26	-25	-25	-24	-26	-27	-28	-28
DG34	-8	-7	-7	-9	-8	-7	-6	-6	-5	-5	-5	-6	-6
DG35	-5	-4	-6	-10	-7	-7	-5	-4	-5	-6	-5	-7	-6
DG36	-6	-4	-7	-11	-8	-11	-8	-6	-7	-8	-8	-9	-6
DG37	-	-	-	-9	-7	-10	-7	-4	-5	-6	-4	-5	-2
DG38	-18	-17	-15	-16	-15	-13	-15	-16	-15	-15	-13	-13	-15
DG39	-	-	-	-6	-6	-4	-6	-8	-8	-7	-5	-6	-7
DG40	-	-	-	-58	-56	-52	-52	-53	-53	-51	-48	-48	-48
DG41	-	-	-	-13	-9	-11	-8	-6	-9	-10	-10	-12	-9
DG42	-	-	-	-14	-11	-13	-10	-8	-10	-10	-9	-11	-8
DG43	-	-	-	-15	-12	-13	-11	-9	-9	-11	-11	-13	-11
DG44	-	-	-	-9	-7	-8	-6	-5	-4	-6	-5	-7	-5
DG45	-	-	-	-10	-7	-9	-7	-5	-6	-7	-7	-9	-7
DG46	-	-	-	-65	-63	-60	-60	-60	-59	-59	-58	-59	-59
DG47	-	-	-	-	-113	-111	-110	-109	-109	-114	-114	-116	-115
DG48	-	-	-	-36	-34	-32	-31	-30	-29	-35	-36	-37	-37
DG49	-	-	-	-	-12	-14	-13	-11	-13	-13	-12	-13	-11
DG50	-	-	-	-	-	3	1	1	0	0	2	0	-1
DG51	-	-	-	-	-	-4	-2	-1	-2	-2	-2	-4	-2
DG52	-	-	-	-	-	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-3
DG53	-	-	-	-	-	4	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DG54	-	-	-	-	-	-3	-1	-1	-3	-2	-1	-3	-1
DG55	-	-	-	-	-	-	0	-2	-1	-1	-2	-1	-2
DG56	-	-	-	-	-	-	-6	-3	-5	-5	-4	-6	-3
DG57	-	-	-	-	-	-	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2
DG58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3	-4
DG59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3	-1
DG60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3	-4
DG61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5	-3
DG62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1	-1
M01	-155	-151	-156	-155	-146	-142	-144	-141	-151	-204	-206	-204	-202
M04	-163	-157	-161	-161	-155	-151	-151	-150	-155	-191	-193	-194	-196
M06	-47	-47	-47	-51	-45	-44	-46	-47	-44	-46	-46	-49	-49
M07	-170	-167	-169	-171	-181	-182	-184	-184	-191	-242	-248	-250	-248
M09	-133	-130	-132	-135	-131	-131	-132	-134	-135	-139	-140	-139	-138
M11	-48	-45	-50	-53	-47	-46	-46	-45	-45	-47	-47	-48	-46
M16	-136	-132	-134	-133	-132	-129	-130	-130	-130	-138	-138	-137	-137
M17	-142	-139	-138	-138	-135	-136	-135	-133	-136	-144	-145	-147	-144
M20	-175	-172	-177	-178	-173	-181	-185	-185	-260	-	-	-	-
M32	-99	-90	-91	-99	-101	-105	-106	-105	-106	-109	-113	-115	-108
M35	-170	-163	-167	-179	-197	-206	-208	-208	-217	-260	-264	-264	-259

Table 4: Summary of Vertical average yearly velocity for each D-GPS calculated from March 2023 to March 2024.

	EW velocity (mm/y)												
D-GPS	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23	Jan-24	Feb-24	Mar-24
DG01	1	2	-8	-6	-7	-7	-5	-6	-7	-3	-3	-5	-4
DG02	-61	-60	-60	-58	-58	-58	-58	-58	-64	-101	-106	-109	-109
DG03	-23	-22	-22	-22	-21	-20	-20	-20	-21	-27	-28	-29	-29
DG04	-60	-60	-60	-60	-58	-57	-57	-56	-59	-82	-86	-88	-88
DG05	-10	-9	-10	-11	-10	-9	-9	-8	-9	-15	-16	-16	-16
DG06	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
DG07	14	13	13	13	7	12	12	11	9	11	12	11	13
DG08	-6	-6	-7	-9	-8	-7	-7	-7	-7	-11	-12	-13	-14
DG09	-19	-20	-21	-21	-20	-18	-18	-18	-18	-21	-22	-22	-22
DG10	-12	-12	-13	-13	-12	-11	-11	-11	-11	-12	-12	-13	-13
DG11	-4	-5	-6	-7	-7	-6	-7	-7	-7	-7	-8	-8	-8
DG12	-9	-9	-8	-7	-7	-7	-6	-6	-7	-6	-6	-6	-5
DG13	-14	-14	-14	-13	-14	-13	-13	-13	-14	-15	-15	-16	-15
DG14	1	1	1	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-1	-2	-2
DG15	9	8	8	9	8	8	7	6	6	7	8	7	8
DG16	6	5	6	9	7	7	7	6	4	5	6	5	7
DG17	1	1	3	4	3	4	3	2	1	2	3	2	3
DG18	6	5	6	9	7	7	7	6	4	6	6	5	7
DG19	-35	-34	-32	-33	-32	-33	-32	-30	-35	-48	-50	-53	-52
DG20	-13	-16	-16	-17	-15	-15	-15	-14	-14	-18	-18	-20	-20
DG21	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2
DG22	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2
DG23	-13	-14	-12	-12	-13	-15	-15	-15	-17	-23	-22	-25	-25
DG24	-	-	-	4	4	3	2	0	1	0	2	1	1
DG25	-2	-3	-1	-1	-2	-3	-2	-2	-4	-1	0	-1	-1
DG26	-10	-10	-10	-10	-9	-10	-9	-8	-10	-13	-12	-13	-14
DG27	-26	-27	-25	-25	-22	-21	-21	-19	-24	-32	-33	-35	-35
DG28	-7	-8	-8	-9	-8	-7	-7	-6	-7	-12	-13	-13	-14
DG29	-22	-22	-23	-24	-22	-22	-22	-23	-27	-37	-39	-40	-40
DG30	-	-	-	-55	-53	-55	-52	-50	-53	-72	-73	-76	-78
DG31	-	-	-	-25	-21	-21	-19	-18	-19	-25	-26	-29	-29
DG32	-1	-4	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-2	-4	-3
DG33	-	-	-	-23	-22	-23	-21	-21	-21	-24	-23	-25	-25
DG34	-6	-7	-7	-7	-6	-6	-5	-4	-4	-6	-6	-7	-7
DG35	-4	-4	-6	-7	-7	-6	-6	-4	-4	-6	-7	-8	-9
DG36	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-3	-6	-3	-3	-4	-9
DG37	-	-	-	-7	-6	-6	-5	-3	-4	-4	-4	-5	-5
DG38	7	4	6	8	7	6	5	5	4	6	7	5	6
DG39	-	-	-	11	8	7	7	7	5	7	8	6	7
DG40	-	-	-	15	15	15	14	12	11	13	13	11	12
DG41	-	-	-	5	7	6	5	6	5	3	4	2	0
DG42	-	-	-	-8	-8	-7	-7	-8	-8	-9	-9	-9	-8
DG43	-	-	-	-9	-8	-7	-8	-8	-8	-12	-12	-14	-16
DG44	-	-	-	-12	-9	-10	-11	-9	-7	-11	-10	-12	-13
DG45	-	-	-	-10	-9	-8	-10	-8	-8	-10	-9	-10	-11
DG46	-	-	-	-25	-26	-26	-26	-27	-29	-29	-30	-31	-31
DG47	-	-	-	-	-44	-46	-44	-44	-48	-59	-60	-63	-62
DG48	-	-	-	-36	-32	-32	-32	-31	-32	-50	-48	-51	-50
DG49	-	-	-	-	-8	-9	-10	-10	-8	-9	-8	-10	-9
DG50	-	-	-	-	-	-3	-3	-3	-6	-4	-2	-2	-2
DG51	-	-	-	-	-	-5	-6	-5	-6	-7	-5	-7	-7
DG52	-	-	-	-	-	-1	-1	-3	-6	-4	-2	-3	-3
DG53	-	-	-	-	-	7	5	3	4	4	4	4	4
DG54	-	-	-	-	-	-6	-7	-7	-8	-9	-9	-9	-10
DG55	-	-	-	-	-	-	7	5	1	3	5	3	6
DG56	-	-	-	-	-	-	-3	-4	-3	-3	-2	-3	-4
DG57	-	-	-	-	-	-	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5
DG58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-7	-6
DG59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5	-6
DG60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2	0
DG61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
DG62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6	-7
M01	-33	-33	-31	-33	-33	-32	-32	-32	-44	-137	-148	-153	-154
M04	-10	-11	-11	-11	-13	-14	-14	-15	-19	-57	-63	-68	-69
M06	-48	-49	-48	-47	-46	-45	-45	-45	-47	-57	-59	-61	-60
M07	2	2	3	2	-1	-3	-5	-6	-8	-8	-6	-7	-6
M09	11	9	8	9	6	1	1	0	0	1	2	1	1
M11	-31	-31	-30	-30	-29	-28	-28	-28	-29	-35	-37	-38	-38
M16	-27	-28	-28	-27	-30	-31	-31	-32	-36	-44	-45	-46	-46
M17	-34	-32	-32	-32	-33	-35	-35	-35	-41	-52	-53	-56	-54
M20	1	0	2	3	6	15	15	15	-36	-	-	-	-
M32	14	13	13	9	5	1	1	0	0	1	3	1	2
M35	4	-3	-2	22	19	17	14	12	4	-38	-45	-48	-49

Table 5: Summary of E-W average yearly velocity for each D-GPS calculated from March 2023 to March 2024. Negative values: movement toward West; Positive values: movement toward East.

NS velocity (mm/y)													
D-GPS	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23	Jan-24	Feb-24	Mar-24
DG01	-8	-10	-17	-18	-16	-13	-17	-18	-13	-4	-3	0	-1
DG02	-11	-11	-12	-14	-14	-12	-11	-10	-10	-15	-16	-15	-16
DG03	-9	-8	-10	-12	-10	-9	-9	-8	-8	-11	-12	-11	-13
DG04	3	2	3	2	2	1	0	0	1	8	9	10	10
DG05	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-4	-4	-5	-5	-7
DG06	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-2
DG07	-57	-55	-56	-55	-49	-48	-47	-45	-44	-47	-50	-48	-51
DG08	0	0	1	1	0	0	0	-1	-1	2	2	2	1
DG09	17	18	19	19	18	17	15	13	12	15	14	13	12
DG10	19	18	20	21	19	18	17	15	13	16	16	14	14
DG11	7	7	8	8	5	5	5	3	3	6	6	6	7
DG12	4	6	5	2	5	4	4	5	5	4	1	3	-2
DG13	-27	-25	-28	-30	-28	-26	-23	-21	-20	-21	-23	-21	-24
DG14	-32	-30	-32	-34	-32	-31	-30	-28	-28	-28	-30	-28	-31
DG15	-6	-4	-8	-10	-9	-10	-9	-7	-6	-4	-6	-4	-8
DG16	-7	-5	-7	-9	-8	-8	-8	-6	-5	-4	-5	-3	-8
DG17	-6	-3	-5	-9	-6	-6	-6	-4	-4	-4	-5	-2	-5
DG18	-6	-3	-5	-8	-6	-7	-6	-4	-4	-3	-4	-2	-6
DG19	20	17	16	17	14	15	15	16	18	31	29	29	27
DG20	7	6	8	8	7	7	7	6	7	11	11	12	12
DG21	-5	-2	-4	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-2	-4	-2	-5
DG22	5	4	6	6	5	5	6	4	3	5	6	4	6
DG23	-30	-28	-31	-31	-29	-26	-25	-23	-23	-36	-40	-38	-40
DG24	-	-	-	-29	-28	-26	-24	-21	-20	-20	-23	-22	-25
DG25	-4	-2	-5	-7	-6	-5	-6	-6	-2	-2	-2	0	-3
DG26	-3	-4	-6	-7	-7	-5	-6	-4	-4	-5	-7	-6	-8
DG27	-4	-5	-6	-6	-7	-6	-6	-4	-4	-4	-5	-4	-6
DG28	1	0	-1	0	-1	0	-2	-3	-4	-1	-3	-2	-2
DG29	3	1	2	2	1	3	1	4	7	12	13	13	12
DG30	-	-	-	-19	-19	-19	-18	-16	-17	-24	-28	-26	-27
DG31	-	-	-	5	2	3	1	2	3	7	6	7	6
DG32	6	7	7	8	5	7	5	5	6	10	10	9	8
DG33	-	-	-	-23	-23	-20	-22	-20	-18	-20	-23	-21	-23
DG34	-3	-3	-6	-7	-6	-5	-7	-6	-5	-6	-8	-7	-8
DG35	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-3	0	0	1	1
DG36	6	6	7	8	5	5	4	3	1	5	5	4	1
DG37	-	-	-	5	4	5	5	4	4	5	6	5	6
DG38	-16	-14	-17	-19	-17	-17	-16	-14	-13	-13	-14	-12	-15
DG39	-	-	-	-17	-14	-14	-13	-10	-10	-9	-10	-8	-11
DG40	-	-	-	-29	-27	-27	-26	-24	-23	-22	-23	-21	-24
DG41	-	-	-	-7	-12	-9	-9	-8	-8	-1	-3	-3	-2
DG42	-	-	-	9	7	8	7	8	5	9	8	2	-3
DG43	-	-	-	6	4	4	2	3	3	6	7	6	6
DG44	-	-	-	8	4	7	5	4	2	5	3	5	4
DG45	-	-	-	0	-2	-3	-4	-6	-6	-1	1	0	1
DG46	-	-	-	-40	-38	-36	-38	-35	-35	-38	-39	-38	-40
DG47	-	-	-	-	-31	-29	-31	-27	-28	-39	-42	-39	-42
DG48	-	-	-	-3	-4	-2	-3	-3	-3	-2	-3	0	-1
DG49	-	-	-	-	7	9	9	8	7	13	12	10	9
DG50	-	-	-	-	-	0	0	1	2	0	-2	-2	-4
DG51	-	-	-	-	-	3	2	1	1	1	0	1	0
DG52	-	-	-	-	-	-3	-3	-1	0	0	-2	-1	-4
DG53	-	-	-	-	-	-5	-5	-2	-2	-2	-3	-2	-2
DG54	-	-	-	-	-	-2	-2	-1	-1	-2	-1	-3	-5
DG55	-	-	-	-	-	-	-4	-1	-1	1	-1	1	-5
DG56	-	-	-	-	-	-	8	5	3	4	4	8	5
DG57	-	-	-	-	-	-	1	1	0	1	-2	0	-2
DG58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4	-4
DG59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
DG60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4	-6
DG61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6
DG62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-1
M01	-12	-10	-9	-11	-10	-8	-9	-8	-4	13	14	16	15
M04	-17	-15	-17	-17	-14	-12	-10	-9	-16	-74	-82	-81	-84
M06	-29	-28	-30	-30	-29	-27	-27	-25	-25	-33	-35	-33	-35
M07	-13	-13	-14	-14	-10	-6	-6	-5	-17	-109	-127	-127	-129
M09	-38	-37	-38	-40	-39	-40	-41	-38	-39	-45	-47	-45	-46
M11	13	11	11	10	9	9	9	9	10	17	17	17	16
M16	-38	-37	-40	-40	-39	-39	-38	-36	-38	-48	-51	-49	-50
M17	-33	-33	-36	-36	-35	-35	-33	-31	-33	-46	-49	-47	-48
M20	-6	-5	-5	-6	-3	4	7	12	29	-	-	-	-
M32	-43	-41	-41	-39	-36	-34	-34	-29	-30	-35	-39	-37	-39
M35	-11	-5	-1	-15	-12	-9	-7	-7	0	60	66	68	68

Table 6: Summary of N-S average yearly velocity for each D-GPS calculated from March 2023 to March 2024. Negative values: movement toward South; Positive values: movement toward North.

3.2 D-GPS alerts

Starting from April 2023, when the thresholds have been changed, a significant reduction of both warnings and alerts has been experienced (Figure 12). In June 2023 only 2 warnings were issued along the dN LT component. In July 2023 a slight increase of the number of both warnings and alerts has been observed. This increase was probably related to the stations interested by the landfilling operations or by the inclusion of the information of the South American tectonic plate or to a correction of the longitude coordinate. Only 1 warning and no alerts have been detected in August 2023 along the three components. In September 2023 16 warnings have been detected, mainly in the dE LT component. In October 2023 17 warnings and 4 alarms have been detected in the dE and dN LT. November 2023 saw a rise in both warnings (39) and alarms (19), which is linked to the acceleration experienced in the central area towards the end of the month. In December 2023 a new decrease of both alerts (5) and warnings (16) has been observed. The number of alert is similar in January 2024 (6) while the number of warning has decreased (5). In February 2024, 5 warning and 5 alerts have been issued.

In March 2024 no warnings or alerts have been detected.

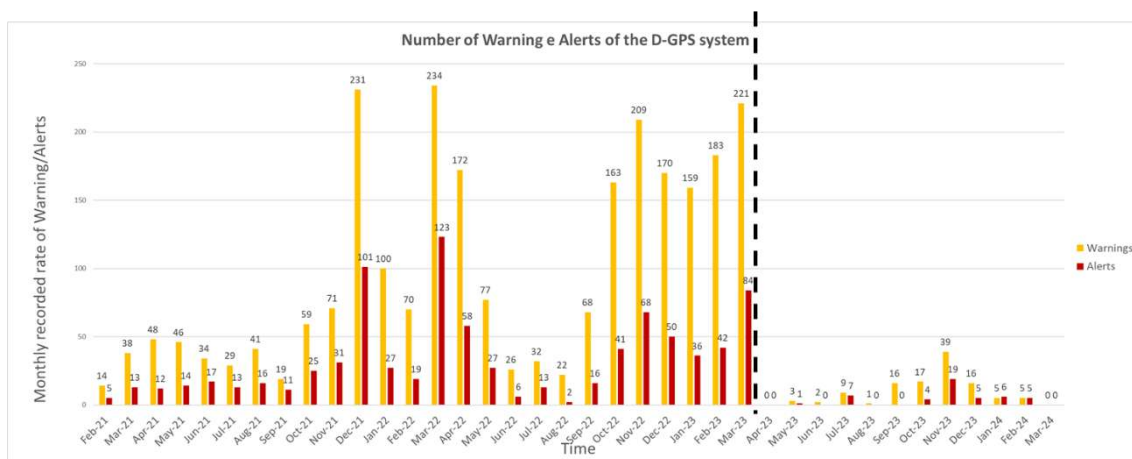


Figure 12 - Number of Warning and Alerts generated by the D-GPS system. The black dashed line indicates when the thresholds were revised.

From February 2021 to March 2023, accelerations which triggered an alert were followed by a movement in the opposite direction in both the 1h and RTK D-GPS data, coming back to the previous displacement values. These accelerations triggered an Alert in the 1 h and RTK project. The displacement, followed by movements in the opposite direction (implying an elastic, fully recoverable deformation) are most likely the effect of some artefacts (e.g. atmospheric residual not properly compensated or problems on the reference stations) and thus not considered reliable. Investigations have been carried out by Braskem and its consultancies to understand the instability of the data measured by the D-GPS stations in the last few months. To avoid this high number of false warnings and alert, starting from April 2023, the thresholds have been revised.

This increase of the number of alerts from October 2021 to May 2022 was related to a general increase of the noise in the D-GPS data along the three components and in correspondence with all the D-GPS stations. Starting from June 2022 the decrease of the noise in D-GPS measurements led to an evident reduction of the alerts number, which are similar to those detected before the increase of the noise. Considering the D-GPS time series the increase of the alarms since September 2022 seems to be related to a new increase of the noise.

4 COMPARISON BETWEEN InSAR AND D-GPS DATA

It is important to note that the comparison between InSAR and D-GPS data in this report is based on the data acquired until February 2024, as the processing of the InSAR data is delayed by one month with respect to the D-GPS data which are available until the end of March 2024.

The comparison involves assessing the displacement over the past month by comparing 12-hour D-GPS data with the average displacement of all InSAR points within a 50-meter radius buffer around each D-GPS station.

In Table 7 the comparison between InSAR and D-GPS data in the wells area is shown, while in Table 8 the comparison between InSAR and D-GPS data in the residential neighborhoods is shown. Fields of the table colored in green represent agreement between the different monitoring technologies, whereas fields colored in red indicate a lack of agreement (a difference of more than 5 mm).

By comparing the D-GPS with the InSAR data, where they are available, it is possible to notice that the agreement between the two datasets is good. In fact there is agreement for 6 cases out of 10 along the vertical component. Along the EW component the agreement is better as it occurs 8 times out of 10.

In the urban area D-GPS points show a good agreement with InSAR data along the vertical direction (Table 8). In fact the agreement occurs 31 times out of 59 cases. In case of discrepancy, D-GPS measures higher values with respect to InSAR. The agreement is perfect along the EW component (58 times out of 59).

26/01/2024 - 20/02/2024	InSAR (mm)		D-GPS (mm)	
	Vert	EW	Δ dE	Δ dH
Mina01	7	4W	3W	8
Mina02	8	0	-	-
Mina 03	14	1E	-	-
Mina04	7	5E	1W	7
Mina06	5	4W	1W	1
Mina07	3	8E	3E	8
Mina09	13	1E	1E	8
Mina10	3	5E	-	-
Mina11	7	2W	1W	1
Mina12	14	6E	-	-
Mina13	5	2W	-	-
Mina14	8	8W	-	-
Mina15	8	14W	-	-
Mina16	11	1W	1W	7
Mina17-28	11	0	2W	4
Mina30	3	3W	-	-
Mina 31D	7	7E	-	-
Mina32-33	-	-	1E	7
Mina08-35	-	-	1E	4
DG-19	-	-	1W	2
DG-23	14	4W	1W	8
DG-47	12	7W	2W	7

Table 7: table showing InSAR and D-GPS data above the mine wells in the wells area.

The comparison along the N direction is not possible since InSAR data cannot detect deformation in this direction (because the satellite line of sight is almost parallel to the NS direction).

	InSAR (mm)		D-GPS (mm)	
26/01/2024 - 20/02/2024	Vert	EW	Δ dE	Δ dH
DG-01	3	2W	9E	9
DG-02	6	5W	4W	2
DG-03	4	3W	1W	1
DG-04	6	3W	2W	0
DG-05	4	1W	0	-1
DG-06	3	2W	1E	0
DG-07	8	1W	2E	4
DG-08	4	2W	1W	-3
DG-09	4	4W	1W	-2
DG-10	6	3W	0	-6
DG-11	3	2W	1E	-10
DG-12	3	1E	1W	4
DG-13	3	1W	1E	1
DG-14	5	0	2E	4
DG-15	3	2W	3E	8
DG-16	3	1E	2E	7
DG-17	3	1E	2E	6
DG-18	3	0	4E	8
DG-20	6	3W	2W	-3
DG-21	3	0	3E	0
DG-22	2	1W	0	-11
DG-24	5	1E	0	5
DG-25	3	1E	2E	3
DG-26	3	1W	0	1
DG-27	4	3W	1W	0
DG-28	5	0	0	-2
DG-29	5	2W	1W	-4
DG-30	5	5W	4W	2
DG-31	4	1W	3W	-2
DG-32	4	0	2W	-9
DG-33	3	1W	1W	2
DG-34	4	2W	1W	1
DG-35	4	1E	2W	-2
DG-36	4	1W	2W	-9
DG-37	2	0	2W	-10
DG-38	6	0	1E	5
DG-39	4	0	2E	7
DG-40	7	0	3E	7
DG-41	4	1W	1W	-9
DG-42	4	1W	1W	-9
DG-43	5	1W	1W	-5
DG-44	3	1W	4W	-3
DG-45	3	2W	1W	-5
DG-46	6	3W	0	3
DG-48	6	1W	2W	-7
DG-49	5	1W	3W	-10
DG-50	3	2W	1E	3
DG-51	3	2W	2W	-3
DG-52	3	1E	2E	2
DG-54	3	0	2W	-1
DG-55	3	1W	3E	9
DG-56	3	0	3W	-7
DG-57	3	1W	2W	1
DG-58	4	1W	1W	2
DG-59	3	1W	5W	-8
DG-60	3	1W	1W	8
DG-61	4	1W	1E	-11
DG-62	3	0	0	0

Table 8: table showing the InSAR and D-GPS data above the measurement point in the neighbourhood area. The sign minus in the columns Vert for InSAR and dH for D-GPS indicates upward movements.

D-GPS and InSAR points located close to the D-GPS position have been also analyzed by classifying the temporal behavior of their time series. Measurement points have been classified as (i) Flat, when the displacement time series is stable for the entire period, (ii) Regressive, when after an initial period of movement the time series tends to the stability, (iii) Linear, when the velocity show a linear trend for the whole period and (iv) Progressive, when the time series shows an acceleration after a stability period or a significant increase of the velocity in the most recent period. Such a classification has been performed both for the vertical (Figure 13) and the EW component (Figure 14) of both D-GPS stations and InSAR points close to the stations.

The comparison between the trends of the InSAR and D-GPS time series classified as explained before shows good agreement between the two datasets, both for the wells area and the urban areas. InSAR and D-GPS vertical data suggest that the stations located along the coast are characterized by linear behaviour, with constant velocities. D-GPS vertical data highlight a substantial stability of Bebedouro, Bom Parto e the eastern sector of the Mutange quarter. DGPS data suggests that the outer area exhibits flat behavior. No progressive behaviour has been detected along the vertical component both with InSAR and D-GPS data. The agreement between InSAR and D-GPS trends is very good this month, confirming a general linear trend in correspondence of the central area, where InSAR measured the maximum displacement.

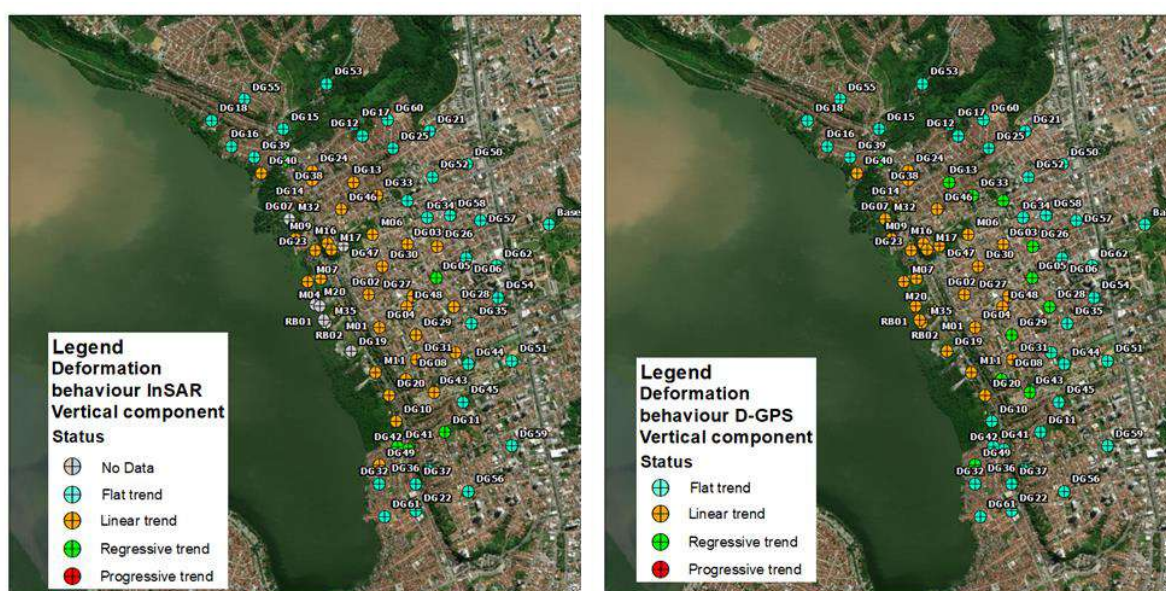


Figure 13: Classification of the behaviour of time series along the vertical component. On the left InSAR data, on the right D-GPS data.

The agreement between InSAR and D-GPS is also good considering the EW component. No progressive behaviour has been detected in March 2024 with both InSAR and DGPS data.

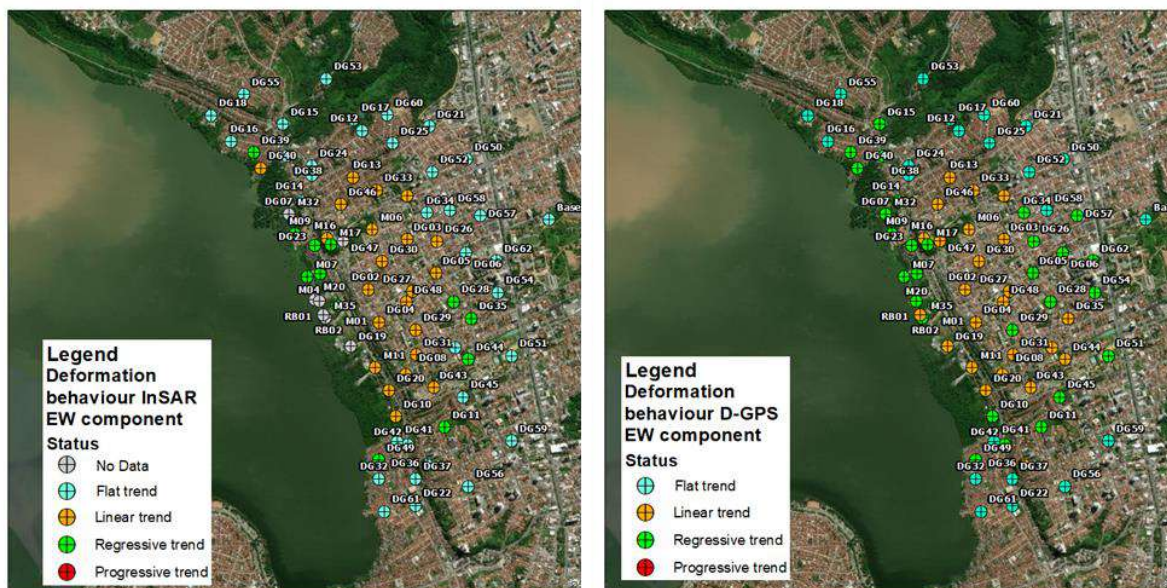


Figure 14: Classification of the time series behaviour along the EW component. On the left InSAR data, on the right D-GPS data.

5 INCLINOMETERS

To monitor horizontal displacements in depth, in-place inclinometers are being used, that is, instruments that are permanently installed in a tube on the ground, allowing automatic readings. Overall, four inclinometers were installed, 250-m deep each (Table 9, Figure 15).

The model used (DMS 2D Rock, coupled with DMS 3D Plus, both manufactured by CSG Geotechnical Monitoring) is furnished with biaxial sensors, allowing to measure the angular deviation in relation to the vertical in two directions, with a reading range of $\pm 30^\circ$ and resolution of 0.001° , accelerometer with a reading range of ± 2 g, temperature sensor with a reading range of $-50^\circ\text{C}/+130^\circ\text{C}$ and resolution of 0.1°C , linear displacement transducer with a reading range of 100 mm and resolution of 0.01 mm, and digital compass.

Code	Coordinate SIRGAS 2000 (25S)		Installation date
	N	E	
IN-01	8934146.8	198659.7	27/04/2021
IN-02	8934120.3	198299.8	28/04/2021
IN-03	8933841.4	198233.4	29/04/2021
IN-04	893385.7	198387.6	08/05/2021

Table 9: Inclinometers installation coordinates.



Figure 15: Location of the four inclinometers.

Data measured by inclinometers are automatically sent to the CSG server through the DMS® Ew software and can be accessed via the internet, with data recorded and monitoring transmitted every six hours. Based on the stabilization of readings in early July, the zero reading of the four instruments was defined on July 5, 2021, for IN-02, IN-03, and IN-04, and on July 7, 2021, for IN-01. Over the last

few months, data obtained by these sensors have been checked daily and no anomalies in the data monitoring and transmission system have been identified. Annex A includes some graphs with the readings and analyses performed to date, with the data shown at an interval of seven days.

The interpretation of data of the four inclinometers is carried out pursuant to a baseline, that is, values measured are relative to a displacement defined as initial null (July 5, 2021, for IN-02, IN-03, and IN-04, and July 7, 2021, for IN-01), as well as assume that the instrument basis is non displaceable.

It is observed that IN-001 presented a total accumulated surface displacement (since the start of monitoring) of 162.5 mm, 141.3 mm being in the North direction and 80.4 mm in the West direction, which accounts for an azimuth of 340°, and an increment of 12.1 mm in the North direction and 0.8 mm in the West direction over the last 30 days (from 01/03/2024). It is also worth noting the presence of water inside the tube, which remained stable between 8.40 and 8.89 m deep throughout the evaluation period (Figure 16). Between 175-247 m bgl (close to the contact between the Marituba and the Mosqueiro formations) local effects of deviation can be observed on opposite sides, in the last period still more active at 208-212 m bgl and 242-247 m bgl (inside the Mosqueiro formation); it can be due to tardive setting of the plastic pipe or the column settlement.

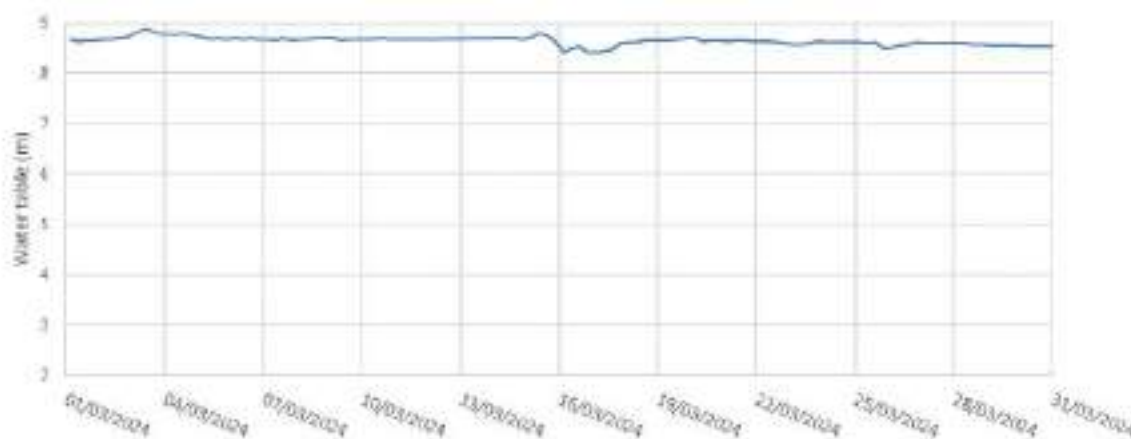


Figure 16 - Water table of IN-001 in March 2024.

The accelerometers in the period considered, registered local detection of accelerations, involving more modules, in the first decade, the main parts of them from or close the surface up to 17 m. Deeper detection of accelerations have been recorded in the sector 29-37 m bgl and 22-28 respectively on date 02/03 time 7:45 and 03/03 time 8:42, with max value 43 mg at 27 m bgl reached (date 03/03) (Figure 17).

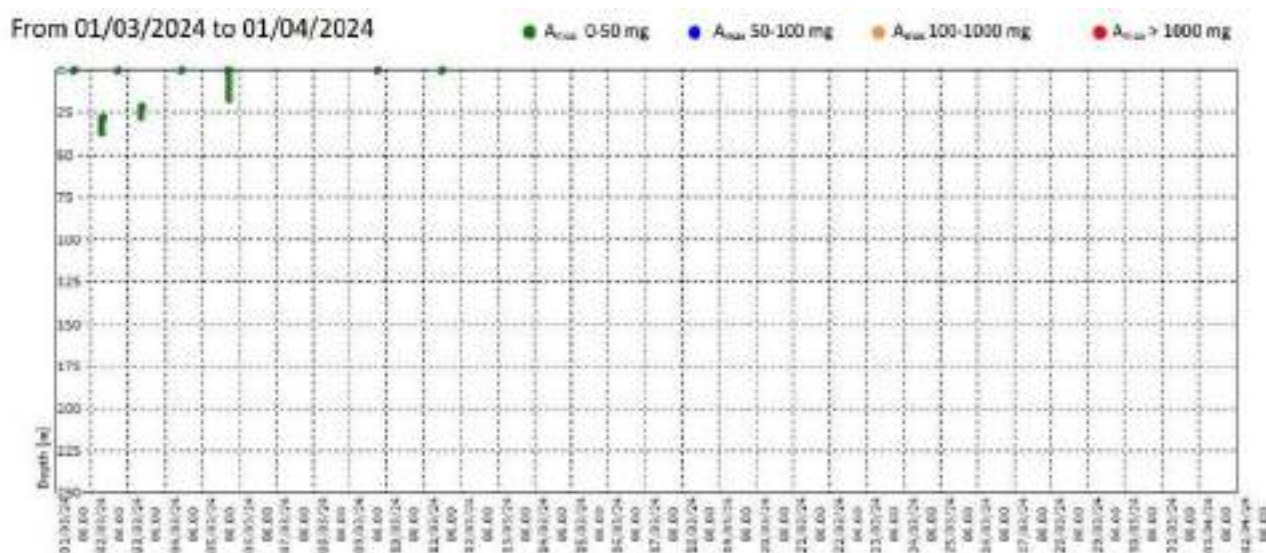


Figure 17 - Time history accelerometric events (IN-001). Period: 01/03/2024-01/04/2024.

Regarding IN-002, a total accumulated surface displacement (since the start of monitoring) of 196.7 mm was observed, being 192.4 mm in the South direction and 41 mm in the West direction, which accounts for an azimuth of 192° and an increment of 1.15 mm in the South direction, and 3.3 mm in the West direction over the last month. The cumulative diagrams show in particular a deviation originated at 153 m bgl upwards in average direction South, within the Marituba formation. Between 153-246 m bgl can be observed local effects of deviation on opposite sides; in the last period more active in the sectors 153-156 m (close to the boundary between the Marituba and the Mosquero formations) and 220-224 m, 241-245 m (within the Mosquero formation). It can be due to tardive setting of the plastic pipe or column settlement. It is also worth noting the presence of water inside the tube, which remained stable between 8.33 and 8.39 m in depth throughout the evaluation period (Figure 18).

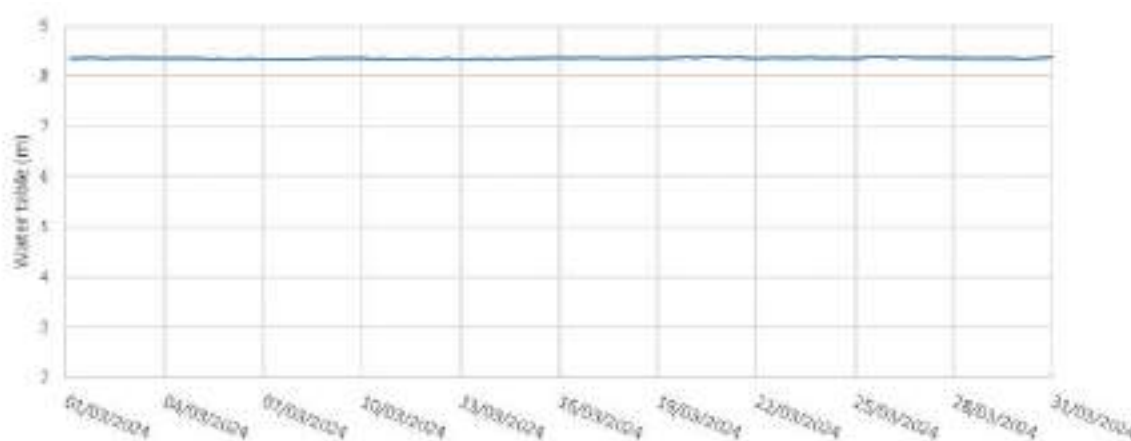


Figure 18 - Water table of IN-002 in March 2024.

In the reference period of this report the accelerometers have registered 11 detection of accelerations, the main on date 21/03 time 20:58 involving more modules in the interval depth 9-20 m bgl, and having possible origin at 17 m bgl with max value 129 mg. The deeper detection of accelerations have been observed on date 19-20-21/03 from surface up to 35 m bgl with values in the range 20-40 mg (Figure 19).

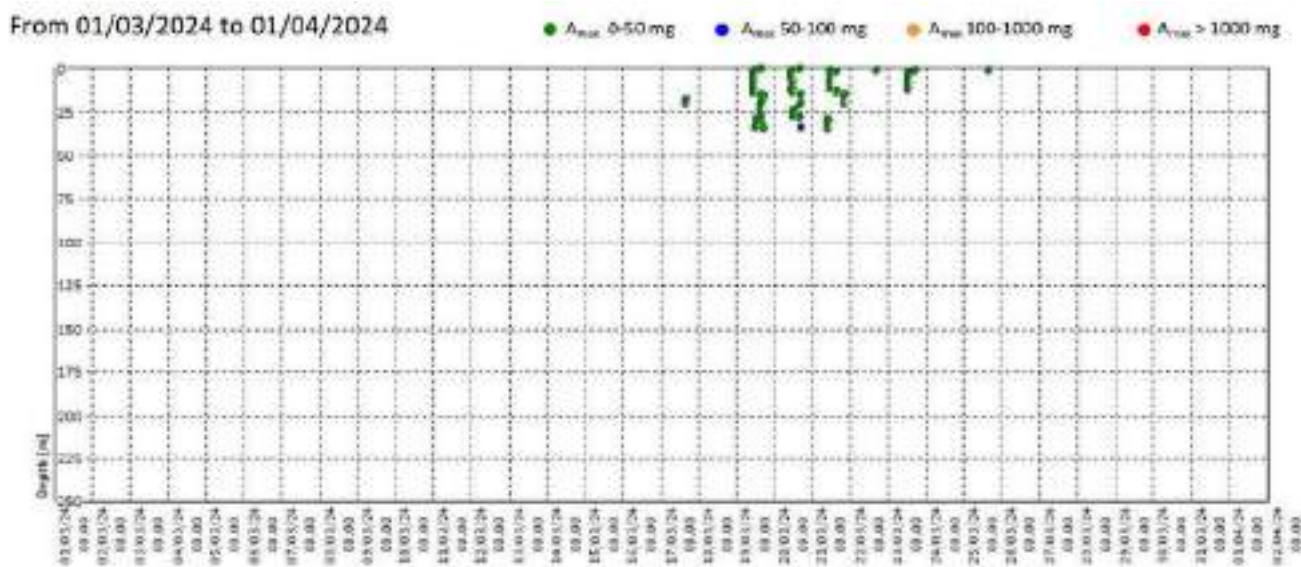


Figure 19 - Time history accelerometric events (IN-002). Period: 01/03/2024-01/04/2024.

For IN-003, a total accumulated surface displacement (since the start of monitoring) of 66.5 mm was observed, 62.2 mm in the North direction and 23.5 mm in the East direction, which accounts for an azimuth of 20°, and an increase of 2.5 mm in the North direction and null in the EW direction over the last month. The cumulative diagrams show in particular a deviation with origin at 177 m bgl upwards, within the Mosquero Formation. Local effects of deviation can be observed on opposite sides in the following interval depths in the Mosqueiro Formation: 178-205 m bgl and 231-248 bgl; in the recent period more active in the sector 177-187 m bgl and 211-214 m bgl; it can be due to tardive setting of the plastic pipe or the column settlement. The water level inside the borehole shows in the period observed (01/03/24 – 01/04/24) values are in the interval -4.48 / -3.55 m bgl; the max -3.55 m bgl has been reached on date 19/03 time 00.00 and a relative max on date 29/03 with 3.59 m bgl, close value.

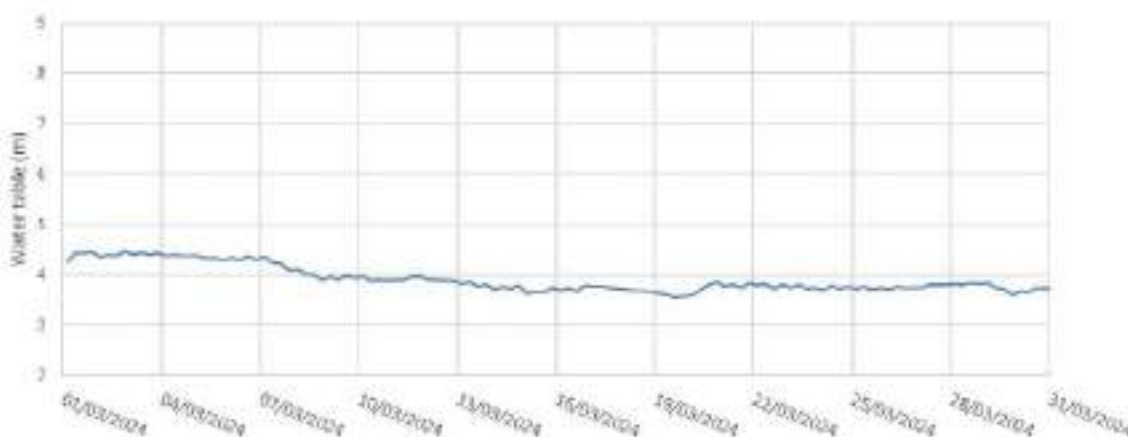


Figure 20 - Water table of IN-003 in March 2024.

The accelerometers in the period evaluated have registered several detection of accelerations in continuity with the last reports; large parts of them are originating from the surface or in the upper sector; in this case the main detection of acceleration set has been recorded on date 25/03 time 01:08, having max value 43 mg at 88 m bgl; the acceleration has been recorded in the interval depth 82-92 m bgl. During this period have been observed deeper accelerations in the interval depth 190-203 m bgl, in the following dates: 01-10/03, 21-22/03 with values close to the threshold setting; the

deepest accelerations in the interval 199-222 m previously observed are not in evidence in this report (Figure 21).

From 01/03/2024 to 01/04/2024

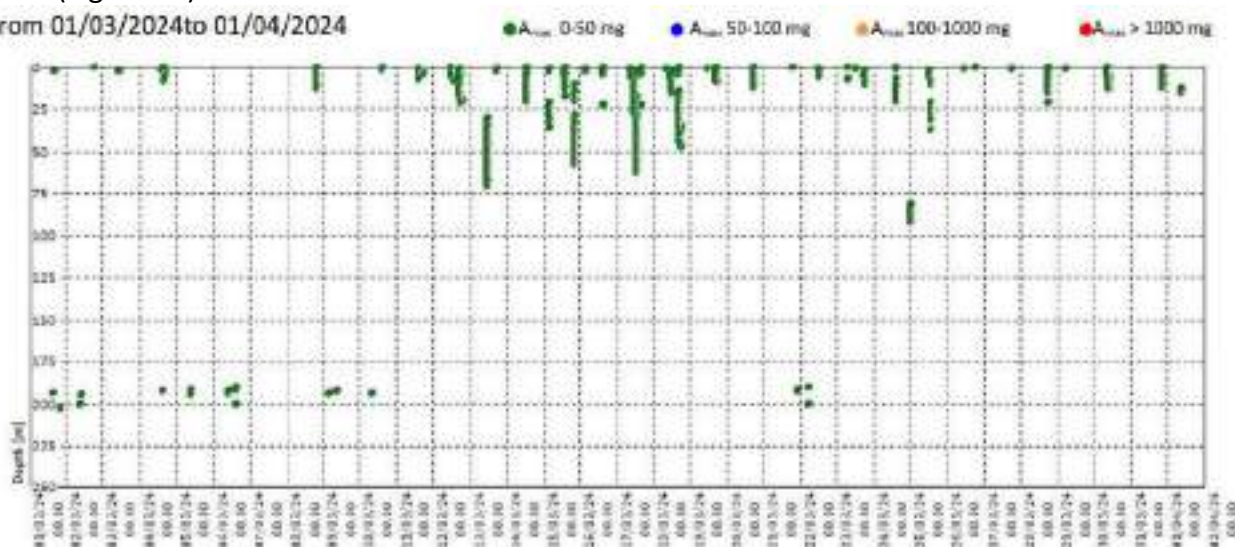


Figure 21 - Time history accelerometric events (IN-003). Period: 01/03/2024-01/04/2024.

Lastly, it was observed for IN-004 (since the start of monitoring) of 105.4 mm, 104.8 mm in the North direction and 11 mm in the West direction, which accounts for an azimuth of 354°, and an increase of 19.7 mm in the South direction and 33.3 mm in the East direction (Part of the difference can be attributed to the more recent no data output of the modules id 4, 6) over the last month. The cumulative diagrams show in particular a deviation originated at 183 m bgl (within the Mosqueiro Formation) upwards, in mean direction NW; after the significant increase event recorded on date 11/04/22, the deviation in the specific period shows again trend more oriented in the N direction component. Between 183-248 m bgl after the zero reading has been observed local effects of deviation on opposite sides; it can be due to tardive setting of the plastic pipe or column settlement. In the specific period of this summary, local deviation is observed in particular in the depth interval 187-190 (within the Mosqueiro Formation) mean direction NW-SE. It is also worth noting the presence of water inside the tube, ranging between 2.17 and 2.64 m deep (Figure 22).

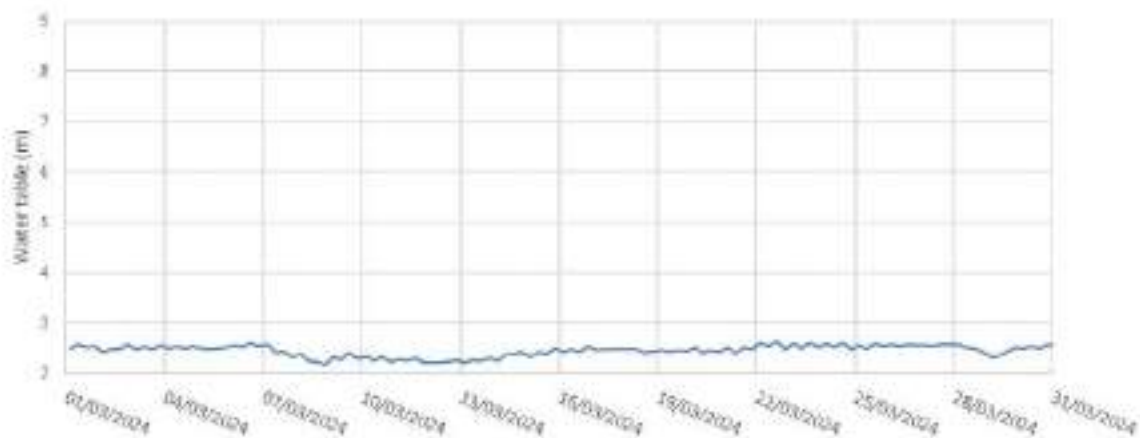


Figure 22 - Water table of IN-004 in March 2024.

The accelerometers in the last 30 days have registered 4 detection of accelerations. The main has been recorded on date 01/03 time 13:52 up from surface to 94 m bgl, with max amplitude 87 mg

reached at 15 m bgl. The second in order has been recorded on date 14/03 time 12:21 in the interval depth 0-76 m bgl with max amplitude 48 mg at 2 m bgl (Figure 23).

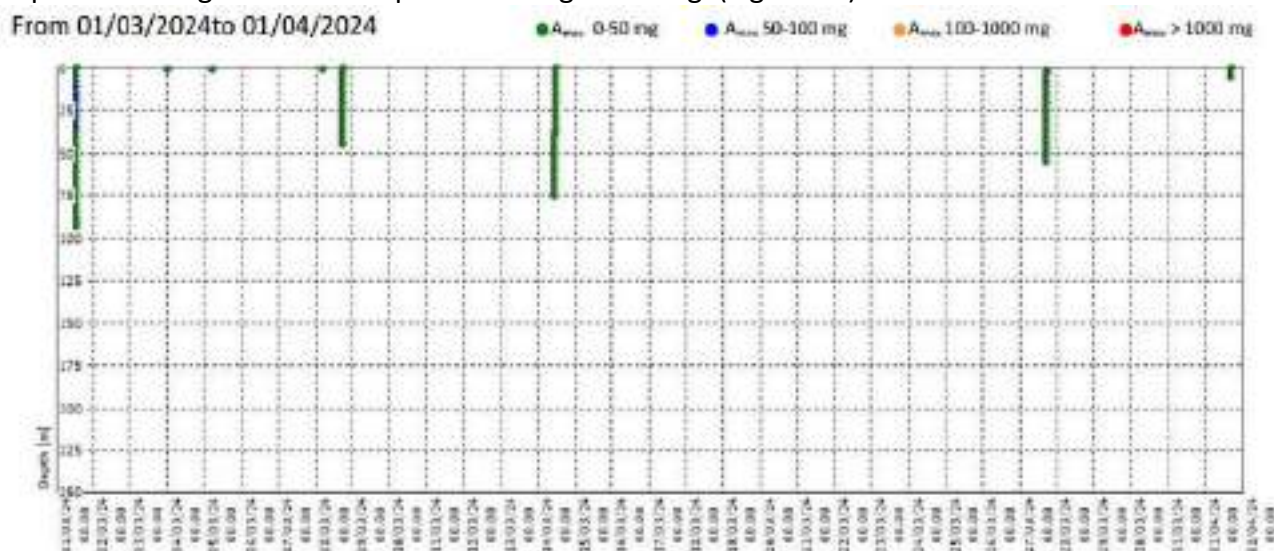


Figure 23 - Time history accelerometric events (IN-004). Period: 01/03/2024-01/04/2024.

Table 10 and Figure 24 allow comparatively viewing the incremental horizontal displacements at the top over the months of monitoring in the four inclinometers. It is observed that the displacements measured over the period addressed in this report comprise values lower than those recorded in the available historical average, which stated a value of 5.44 mm (July 2021 to March 2024), except for IN04.

	Jul-21	Aug-21	Sep-21	Oct-21	Nov-21	Dec-21	Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22
IN01	2,00	5,00	1,90	4,30	6,20	2,80	10,30	6,00	5,16	6,24	6,20	5,70	5,80	5,55	5,65	5,00	0,10
IN02	4,10	4,90	6,70	7,30	7,60	6,30	7,90	6,30	6,30	6,20	7,00	6,30	14,60	0,60	14,50	7,70	1,50
IN03	4,40	4,80	5,70	2,60	2,00	3,90	2,00	2,30	3,00	2,40	5,90	3,10	0,60	2,10	0,20	1,60	2,50
IN04	8,50	9,90	8,60	6,00	6,20	6,10	6,00	6,20	4,30	24,80	5,90	4,50	4,30	3,30	1,80	3,20	0,70
Average	4,75	6,15	5,73	5,05	5,50	4,78	6,55	5,20	4,69	9,91	6,25	4,90	6,33	2,89	5,54	4,38	1,20

	Dec-22	Jan-23	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Sep-23	Oct-23	Nov-23	Dec-23	Jan-24	Feb-24	Mar-24
IN01	4,75	3,95	5,70	0,11	0,16	3,40	3,20	4,40	5,20	6,70	0,40	8,29	1,02	38,80	0,17	0,54
IN02	6,00	14,40	5,40	0,44	0,01	12,60	2,50	3,20	4,40	5,00	4,90	13,11	6,58	4,40	4,47	0,96
IN03	2,60	1,70	1,30	0,28	0,11	2,80	1,80	2,30	4,00	1,33	1,38	14,45	2,68	1,92	0,65	0,23
IN04	3,90	0,00	1,80	1,19	0,43	11,30	8,10	3,20	6,10	1,40	1,39	8,90	15,24	21,59	22,66	37,24
Average	4,31	5,01	3,55	0,51	0,18	7,53	3,90	3,28	4,93	3,61	4,59	11,19	6,38	16,68	6,99	9,74

Table 10 Monthly displacement measured by the four inclinometers from July 2021.

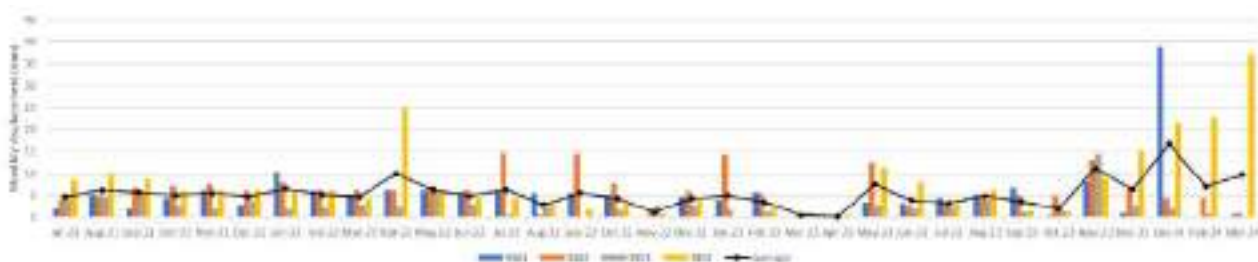


Figure 24: Graph of the monthly displacement measured by the four inclinometers from July 2021.

6 TILTMETERS

Tiltmeters are instruments that measure rotation on two axes. They are fastened to concrete poles with a total length of about 5 m, with 2 m of firm embedding on the ground. LS-G6-INC-15 tiltmeters, manufactured by Loadsensing, with a reading range of $\pm 15^\circ$ and an accuracy of 0.025° were used.

These instruments are connected to a wireless data transmission system, in order to allow remote access to the readings of each instrument, pursuant to the manufacturer's specification. Tiltmeter readings are performed every 60 minutes.

Tiltmeters were installed in July 2020 and commissioned throughout the same year. Table 11 and Figure 25 show the location of tiltmeters. On January 14, 2023, a failure occurred in TIL-500-12, which was replaced by the LS-G6-TIL90-X model, also manufactured by Loadsensing. This model fulfills the same functionalities as the previous device, in addition to being a cutting-edge model, undergoing commissioning until February 1, 2023. Its nomenclature and position remain unchanged.

Code	Coordinate SIRGAS 2000 (25S)		Installation date
	N	E	
TIL-500-01	8934156.51	198677.31	09/07/2020
TIL-500-02	8934071.46	198560.9	22/07/2020
TIL-500-03	8934088.09	198303.18	13/07/2020
TIL-500-04	8933080.17	198269.92	31/07/2020
TIL-500-05	8933849.71	198212.28	16/07/2020
TIL-500-06	8933825.09	198151.51	16/07/2020
TIL-500-07	8933332.80	198516.08	21/07/2020
TIL-500-08	8933310.51	198483.86	22/07/2020
TIL-500-09	8933287.02	198452.63	21/07/2020
TIL-500-10	8934279.22	198050.76	16/07/2020
TIL-500-11	8934239.81	198078.21	14/07/2020
TIL-500-12	8934149.21	198139.46	15/07/2020
TIL-500-13	8934205.82	198021.58	19/07/2020

Table 11: Tiltmeters installation coordinates.



Figure 25: Location of the tiltmeters.

Data measured by tiltmeters are automatically sent to the Loadsensing server and can be accessed via the internet. Displacements on the A and B axes are measured, in addition to temperature. The B axis of each tiltmeter is aligned in the north-south direction (geographic), with positive values indicating rotation in the south direction while the A axis is aligned in the east-west direction (geographic), with positive values indicating rotation in the east direction, as shown in Figure 26. According to Braskem information, the exception would be the TIL-500-12 device after its replacement and commissioning in January 2023. That is, from February 1, 2023, the polarity of the B (Y) axis is reversed in relation to the other tiltmeters (positive values on the B axis indicate rotation in the north direction). This statement is valid for the raw data collected from the Gateway of this device. This report, as well as future reports, brings the data processed so that the convention in Figure 26 remains valid for all tiltmeters.

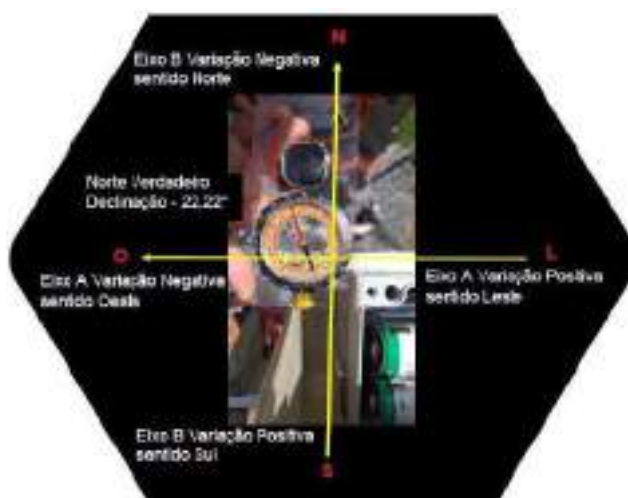


Figure 26: Orientation of tiltmeters.

The following are the variations observed in each instrument during the monitoring period.

One aspect that drew a lot of attention in monitoring was the influence of temperature on readings. In all instruments, it was observed that the readings varied at the same times when there was temperature variation throughout the day. In order to analyse the data with the least influence of temperature variations, readings taken at 06:00 of each day were also evaluated. This schedule was followed because it refers to temperatures stabilized for a longer period, since the beginning of the night. The following figures show the results obtained.

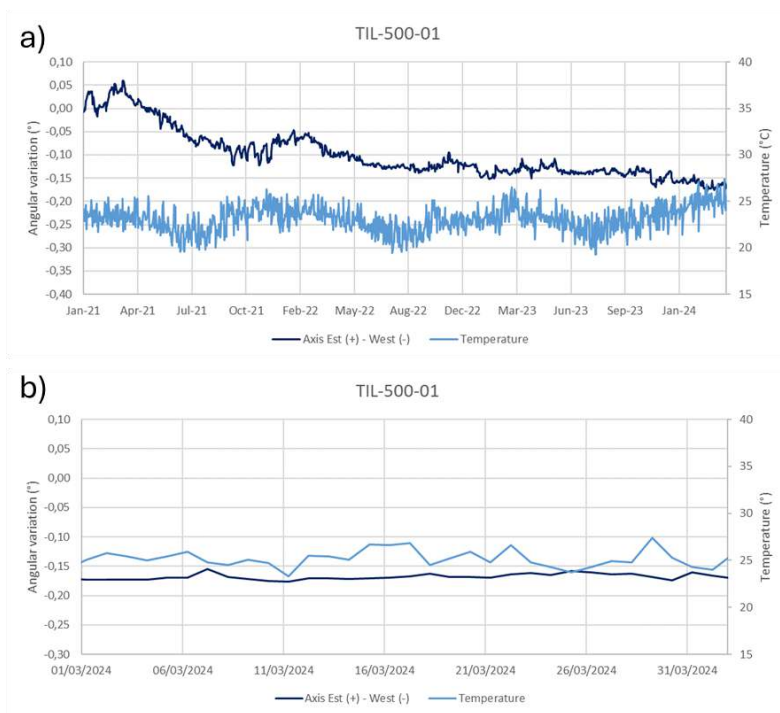


Figure 27: Angular Variation in the A Axis of TIL-01 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

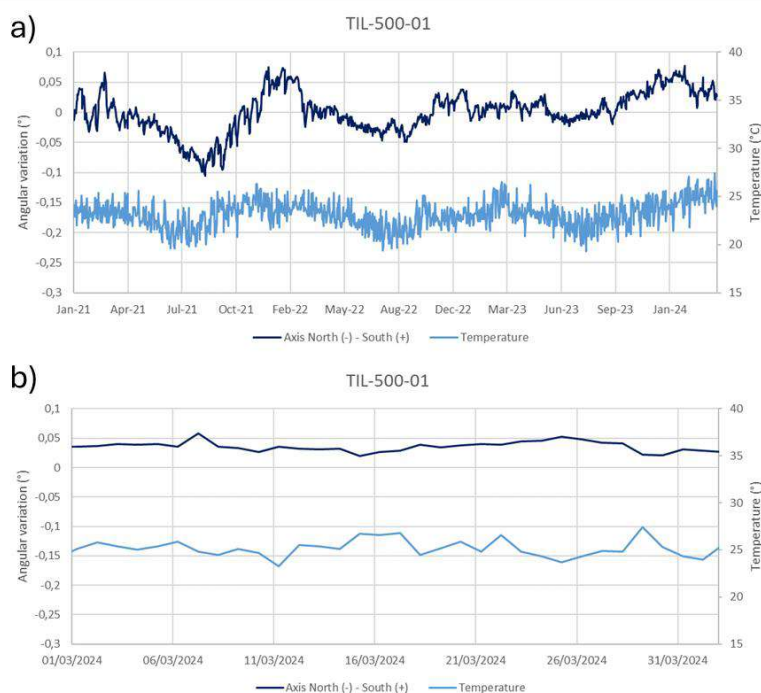


Figure 28: Angular Variation in the B Axis of TIL-01 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of negative variation for the A axis and a slightly positive variation for the B axis of TIL-01, representing a possible trend of rotation in the Southwest direction. In March 2024, the average rotation is 0.01° along the EW direction and -0.0005° along the NS direction.

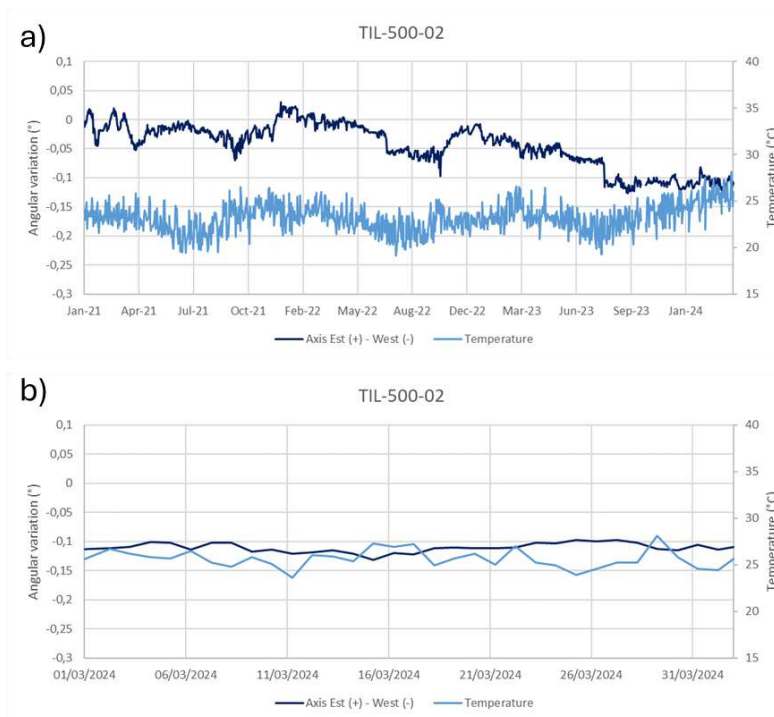


Figure 29: Angular Variation in the A Axis of TIL-02 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

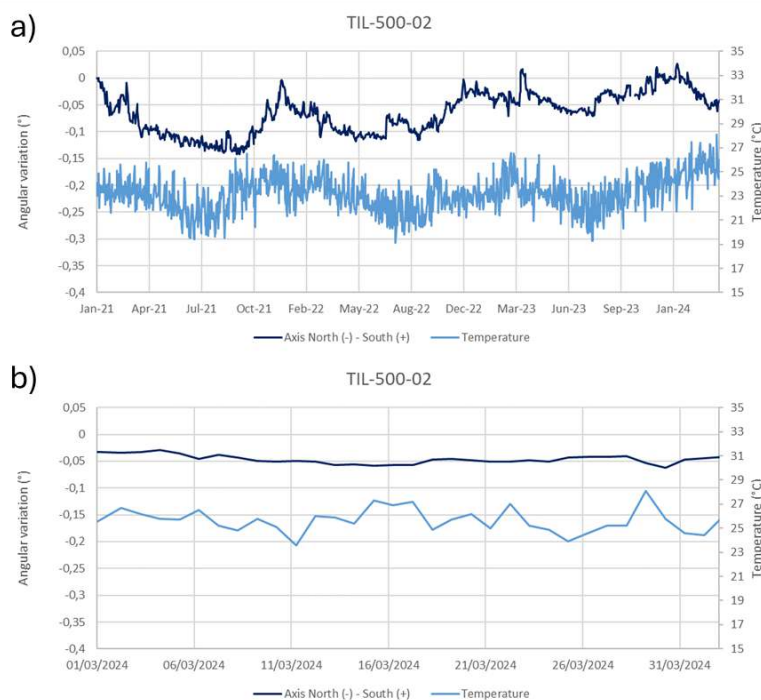


Figure 30: Angular Variation in the B Axis of TIL-02 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024), there is a trend of negative variation in both axes of TIL-02, representing rotation in the Northwest direction. From October 16th to October 24th, Tiltmeter TIL-02 did not acquired any data. In March 2024, the average rotation is 0.002° along the EW direction and -0.01° along the NS direction.

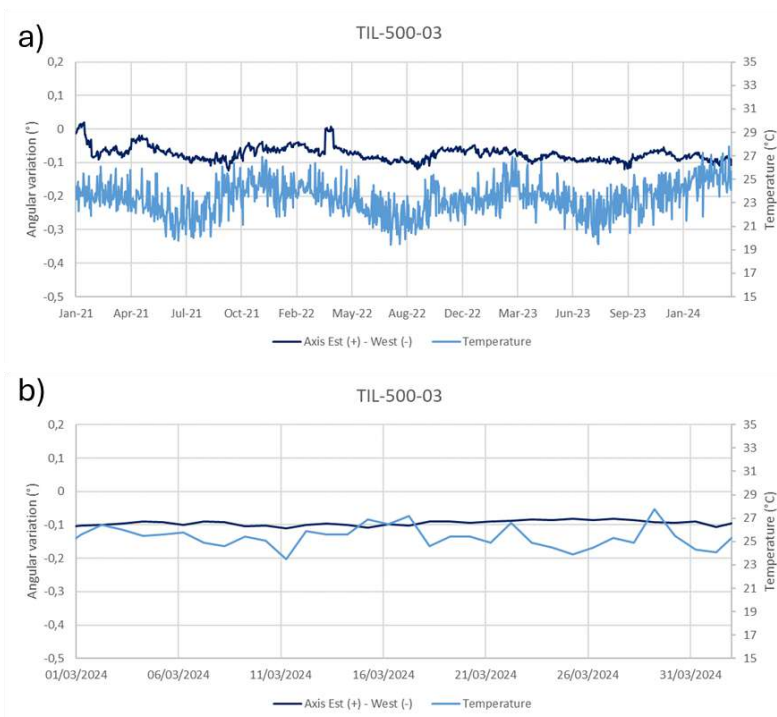


Figure 31: Angular Variation in the A Axis of TIL-03 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

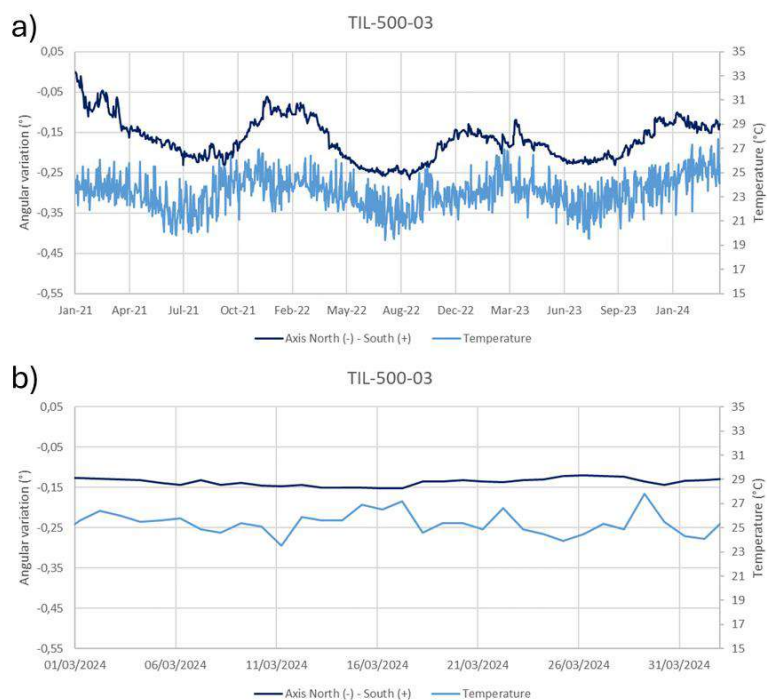


Figure 32: Angular Variation in the B Axis of TIL-03 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of negative variation in both axes of TIL-03, representing rotation in the Northwest direction. In March 2024, the average rotation is -0.01° along the EW direction and -0.005° along the NS direction.

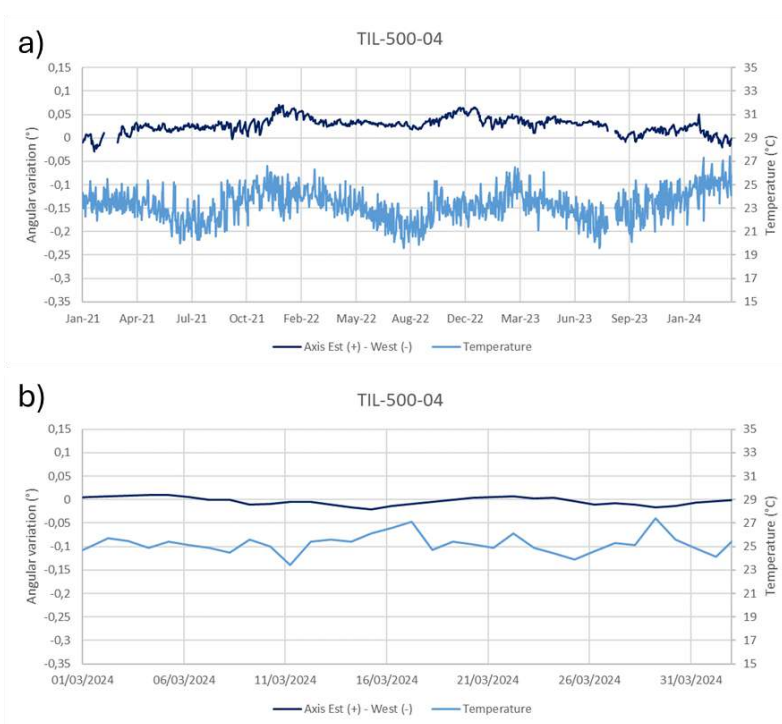


Figure 33: Angular Variation in the A Axis of TIL-04 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

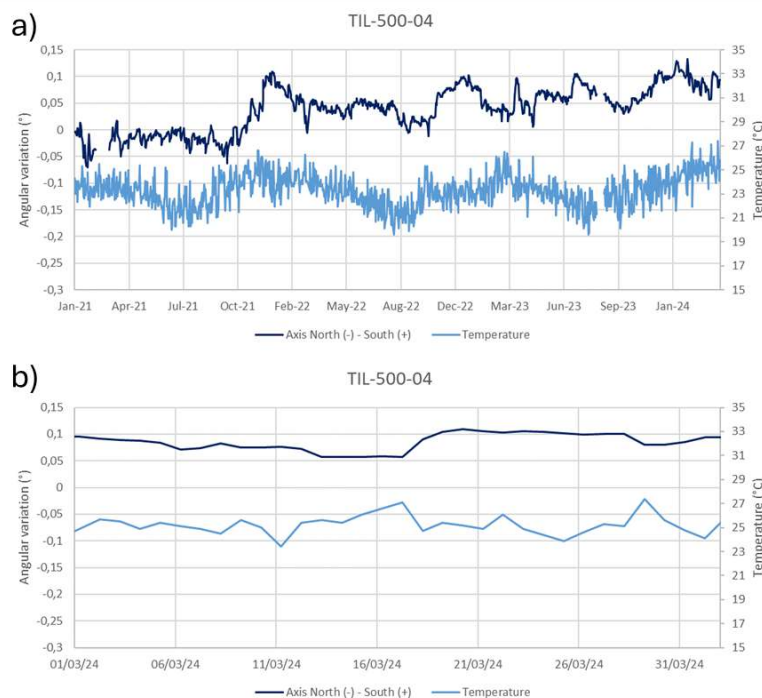


Figure 34: Angular Variation in the B Axis of TIL-04 Tiltmeter at 06:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a slight trend of positive variation in both axes of TIL-04, representing rotation in the Southeast direction. In the period 20/08/2023 –

01/09/2023 the TIL-500-04 did not acquire any data for an issue occurred to the instrumentation. In March 2024, the average rotation is -0.008° along the EW direction and -0.005° along the NS direction.

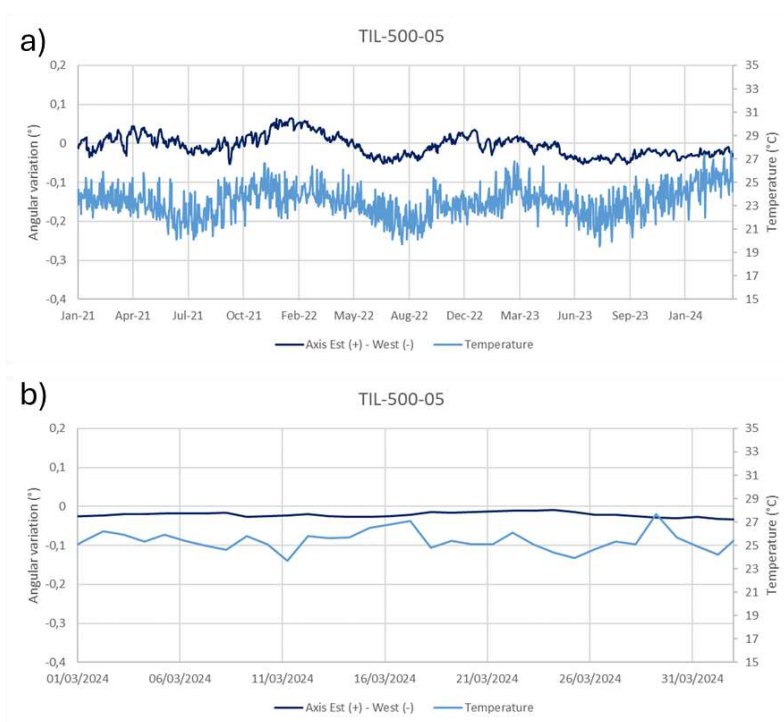


Figure 35: Angular Variation in the A Axis of TIL-05 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

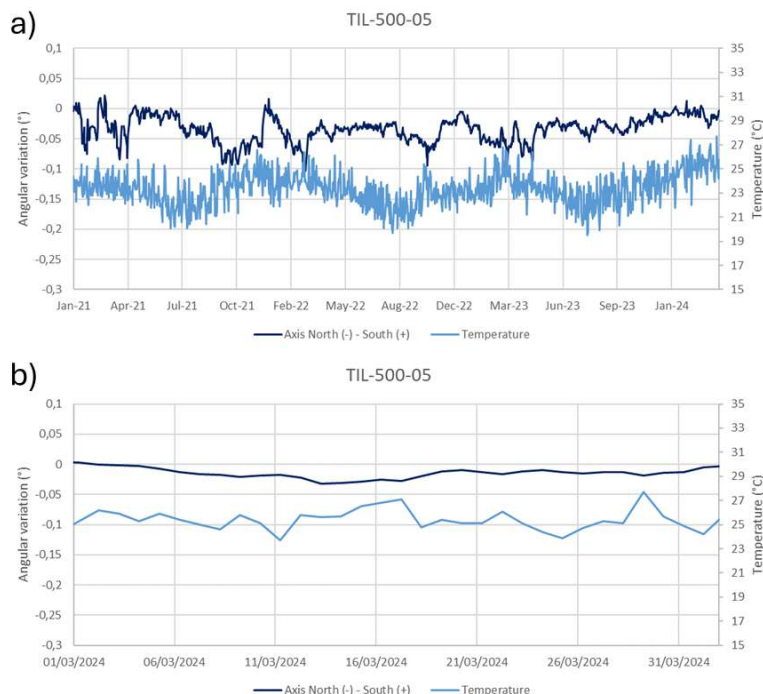


Figure 36: Angular Variation in the B Axis of TIL-05 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a slight negative variation in both the axes of TIL-05, representing a possible trend of rotation in the Northwest direction. In March 2024, the average rotation is 0.004° along the EW direction and -0.002° along the NS direction.

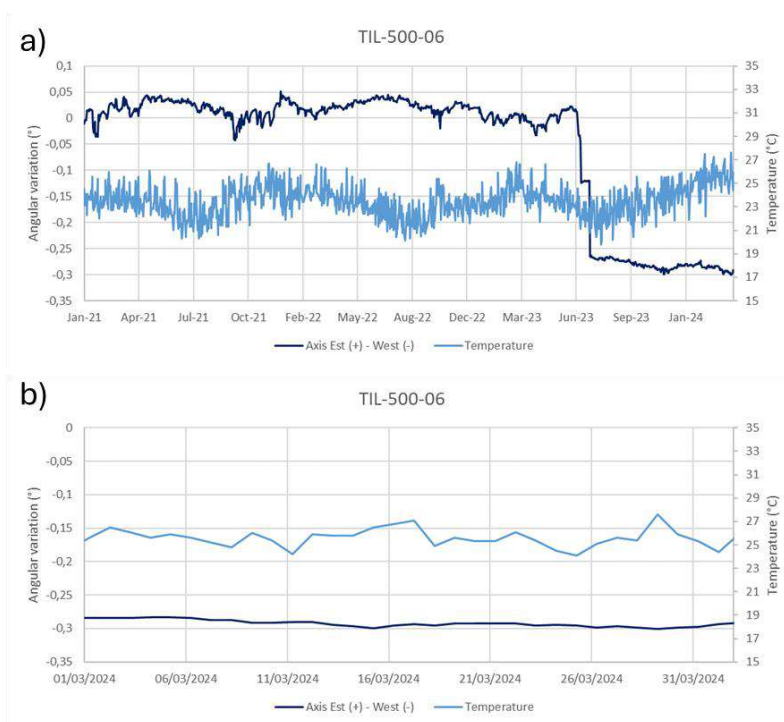


Figure 37: Angular Variation in the A Axis of TIL-06 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

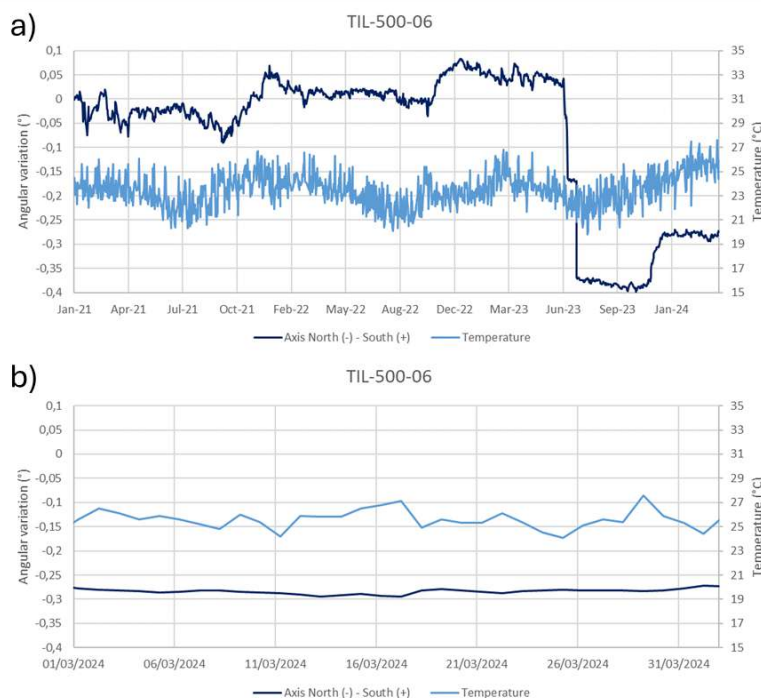


Figure 38: Angular Variation in the B Axis of TIL-06 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a general trend of negative variation in both axes of TIL-06, representing rotation in the Northwest direction. In March 2024, the average rotation is -0.009° along the EW direction and -0.008° along the NS direction.

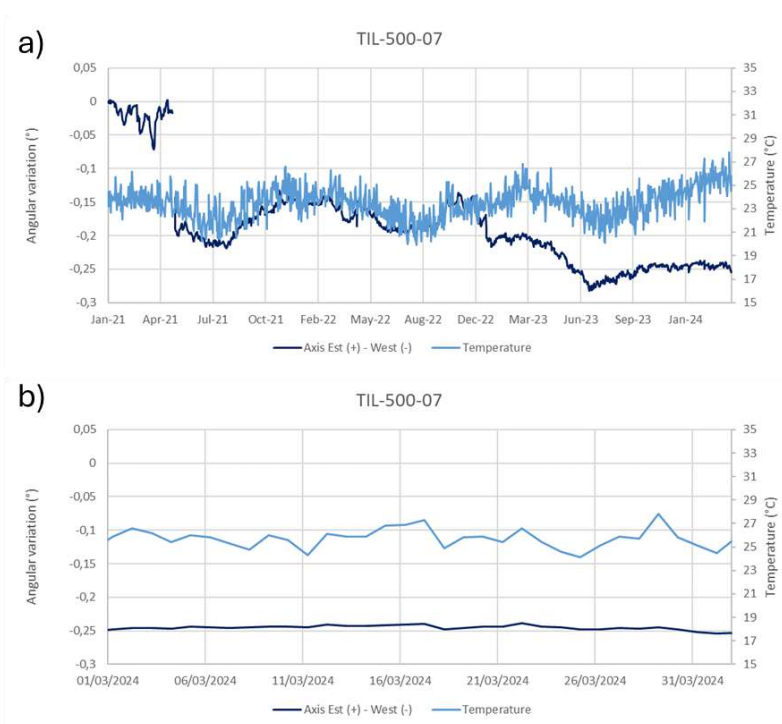


Figure 39: Angular Variation in the A Axis of TIL-07 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

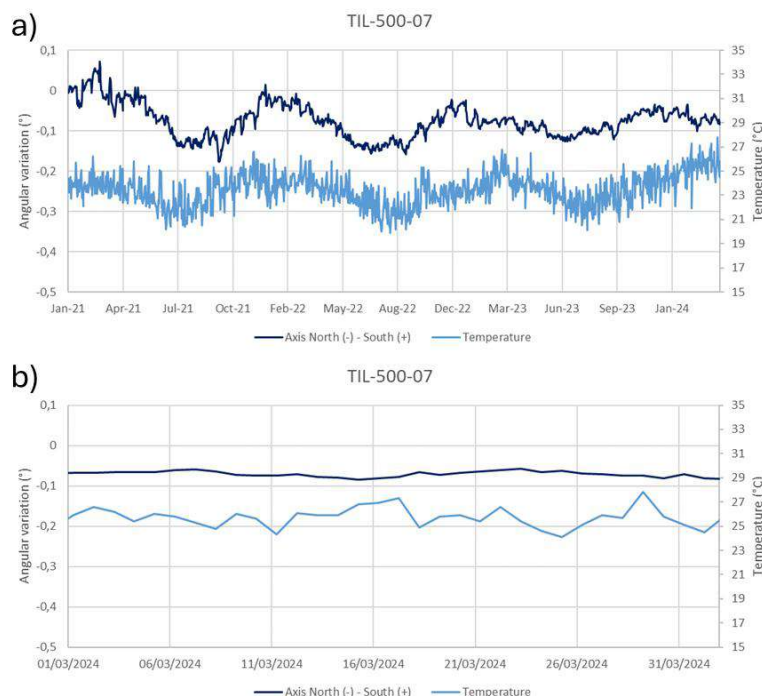


Figure 40: Angular Variation in the B Axis of TIL-07 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of negative variation in both axes of TIL-07, representing rotation in the Northwest direction. In March 2024, the average rotation is 0.003° along the EW direction and -0.002° along the NS direction.

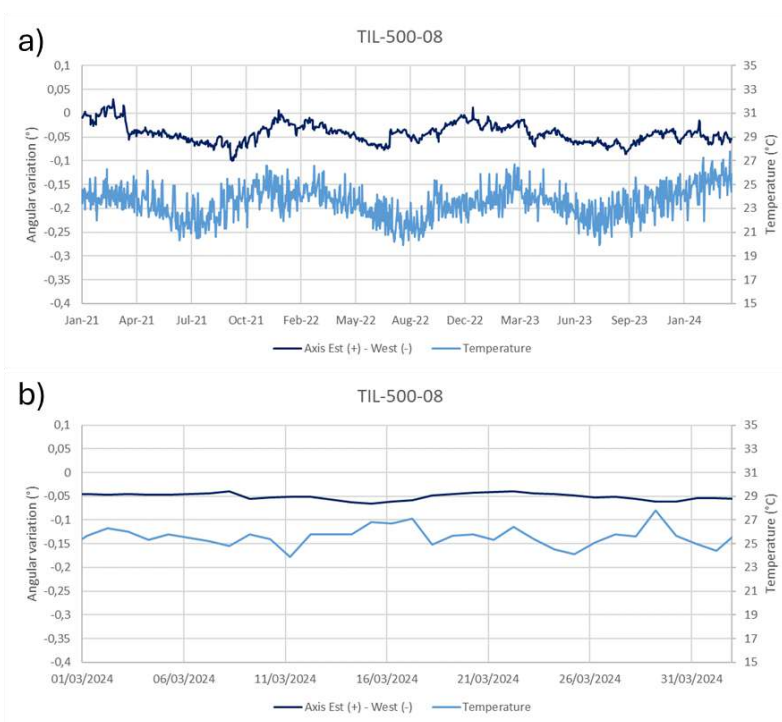


Figure 41: Angular Variation in the A Axis of TIL-08 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

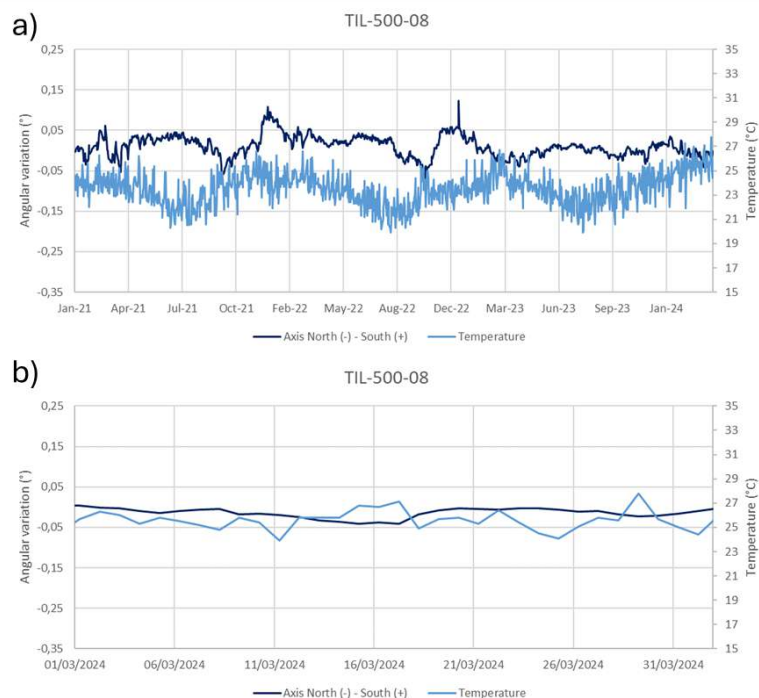


Figure 42: Angular Variation in the B Axis of TIL-08 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of negative variation in the A axis of TIL-08, representing a possible trend of rotation in the West direction. In March 2024, the average rotation is -0.005° along the EW direction and -0.02° along the NS direction.

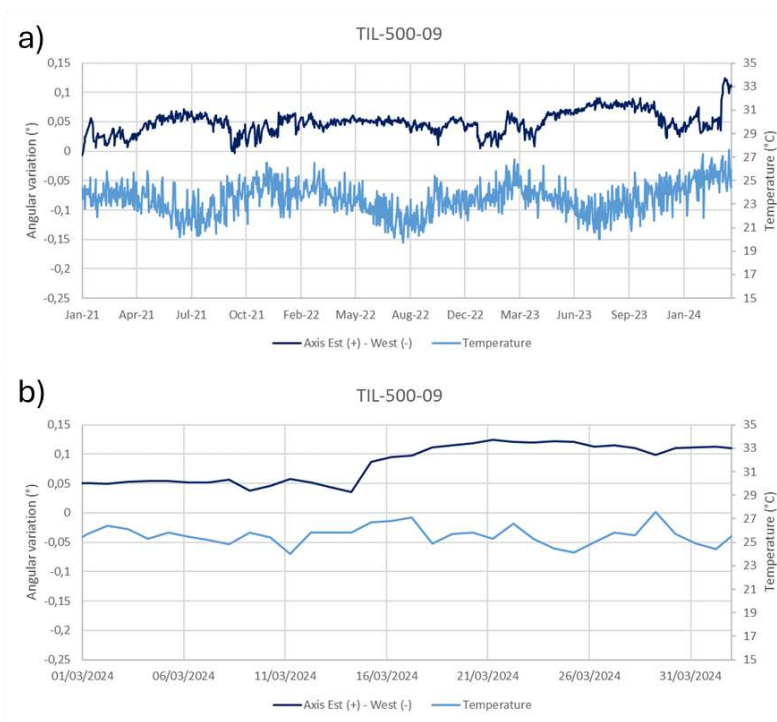


Figure 43: Angular Variation in the A Axis of TIL-09 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

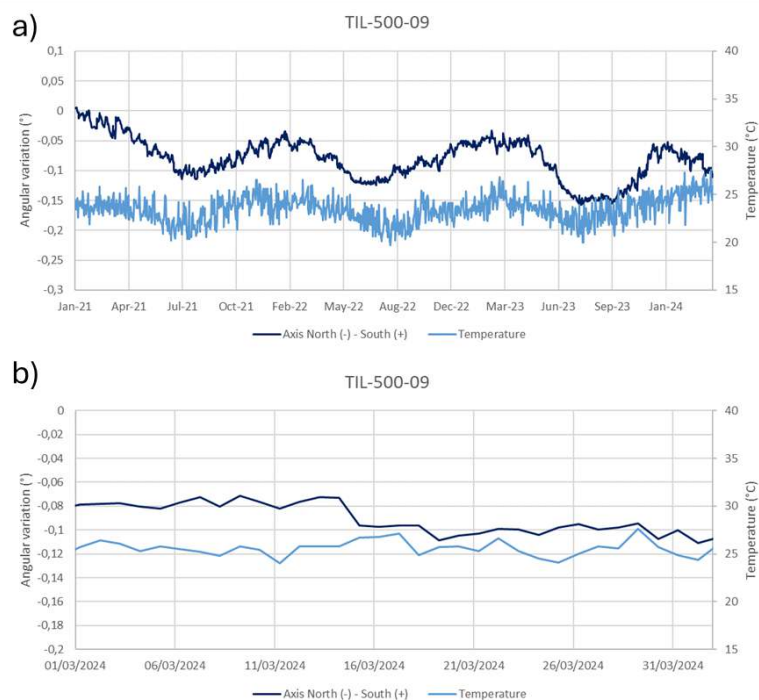


Figure 44: Angular Variation in the B Axis of TIL-09 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of positive variation in the A axis and negative variation in the B axis of TIL-09, representing rotation in the Northeast direction. In March 2024, the average rotation is 0.04° along the EW direction and -0.01° along the NS direction.

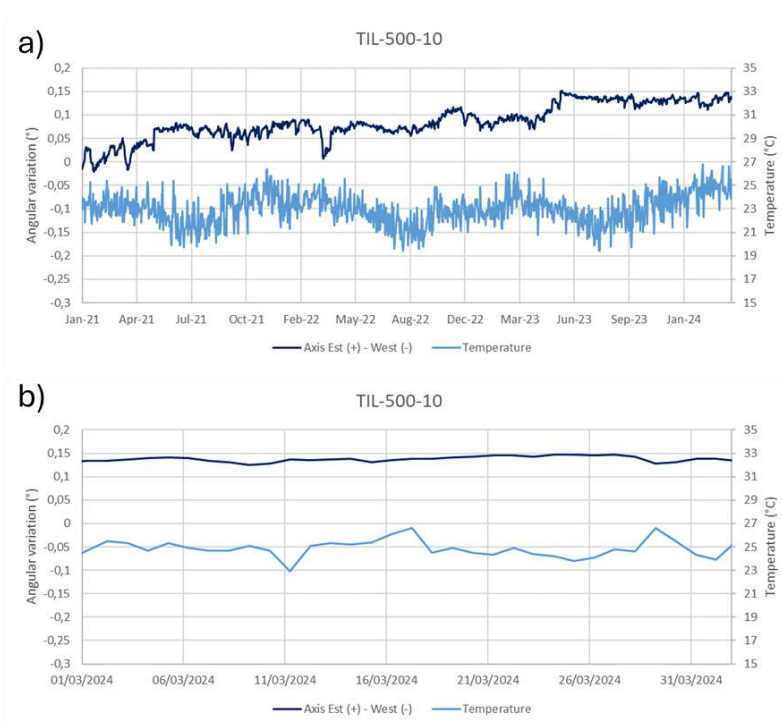


Figure 45: Angular Variation in the A Axis of TIL-10 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

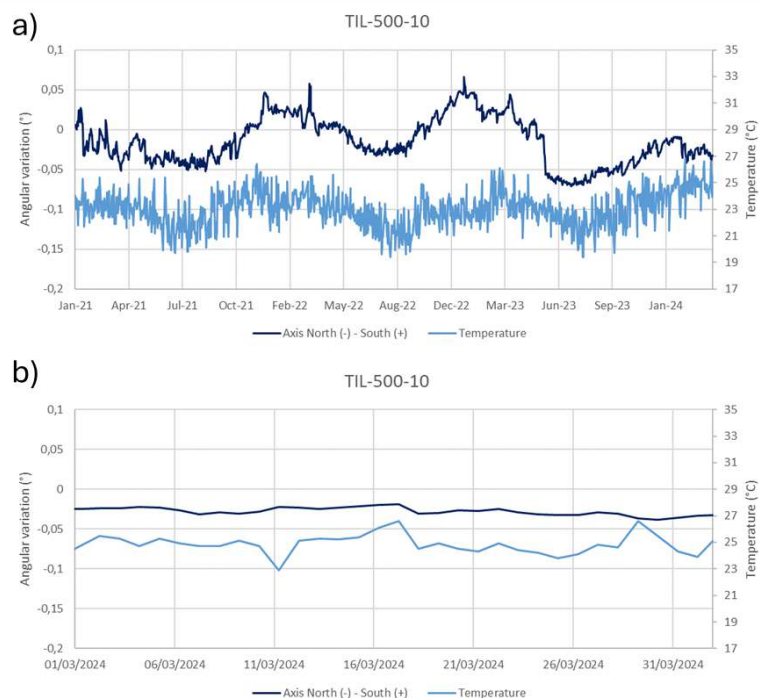


Figure 46: Angular Variation in the B Axis of TIL-10 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of positive variation in the A axis and negative variation in the B axis of TIL-10, representing rotation in the Northeast direction. In

March 2024, the average rotation is 0.004° along the EW direction and -0.003° along the NS direction.

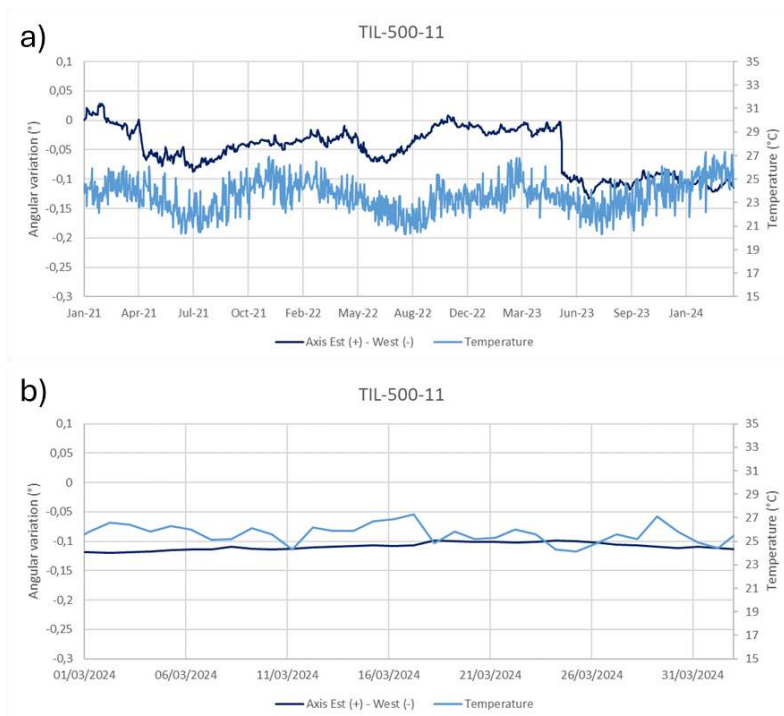


Figure 47: Angular Variation in the A Axis of TIL-11 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

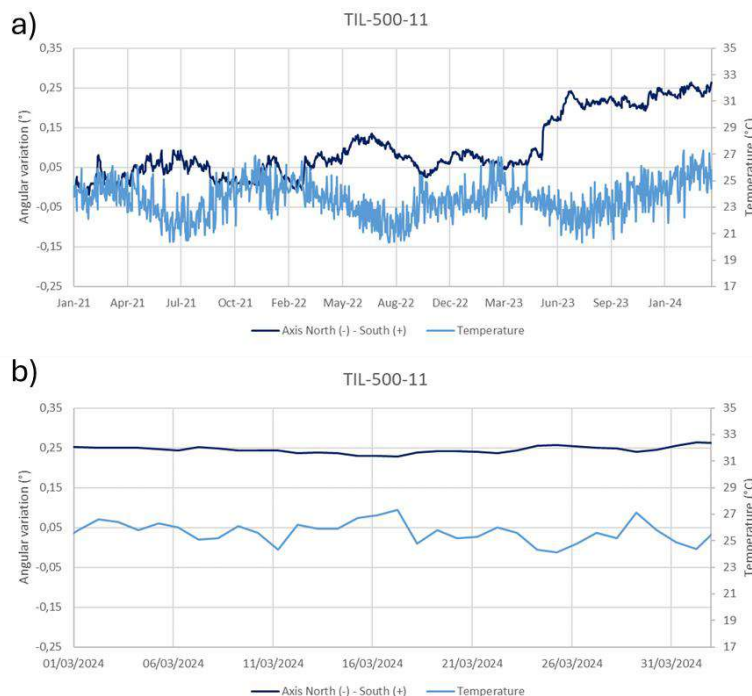


Figure 48: Angular Variation in the B Axis of TIL-11 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 - March 2024) there is a trend of negative variation in the A axis and positive variation in the B axis of TIL-11, representing rotation in the Southwest direction. In March 2024, the average rotation is 0.01° along the EW direction and -0.008° along the NS direction.

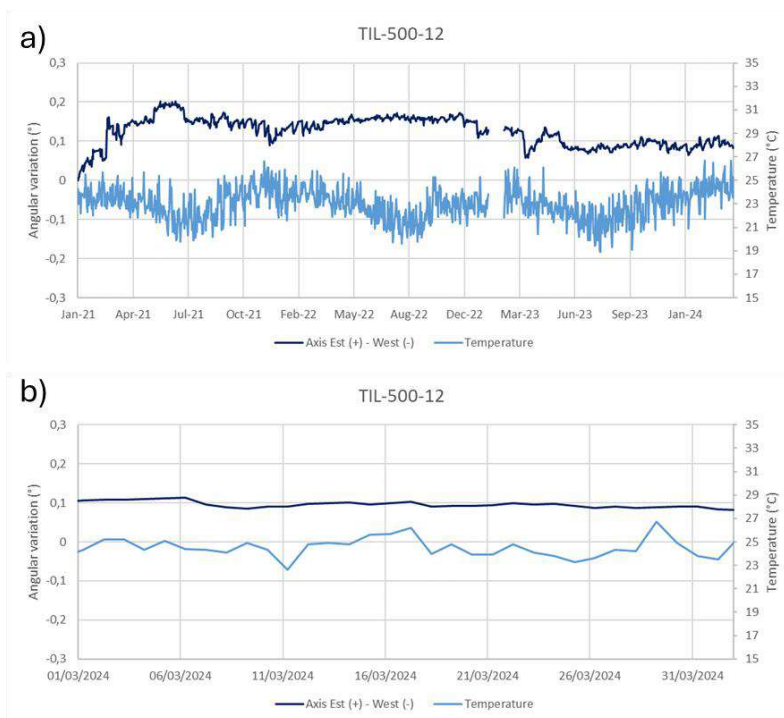


Figure 49: Angular Variation in the A Axis of TIL-12 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

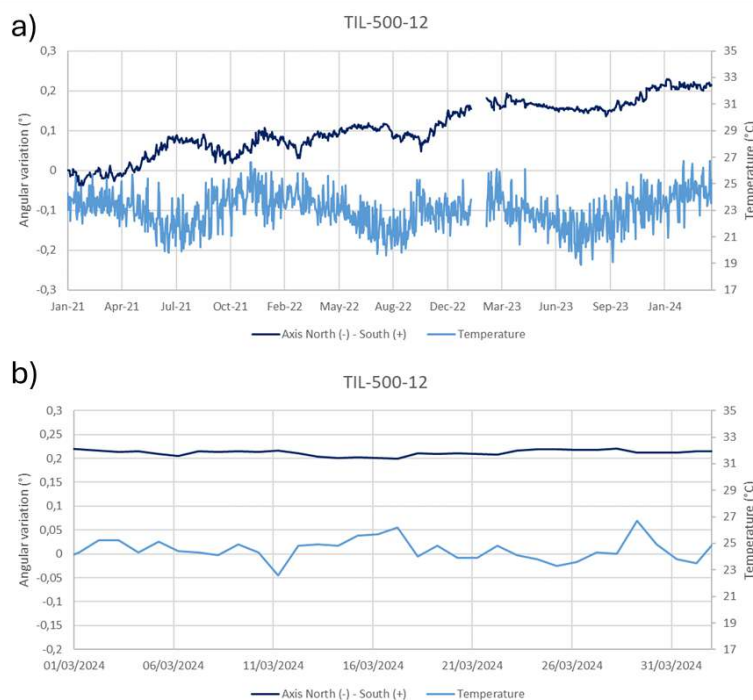


Figure 50: Angular Variation in the B Axis of TIL-12 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 – March 2024) there is a trend of positive variation in both axes of TIL-12, representing rotation in the Southeast direction. In March 2024, the average rotation is -0.009° along the EW direction and -0.008° along the NS direction.

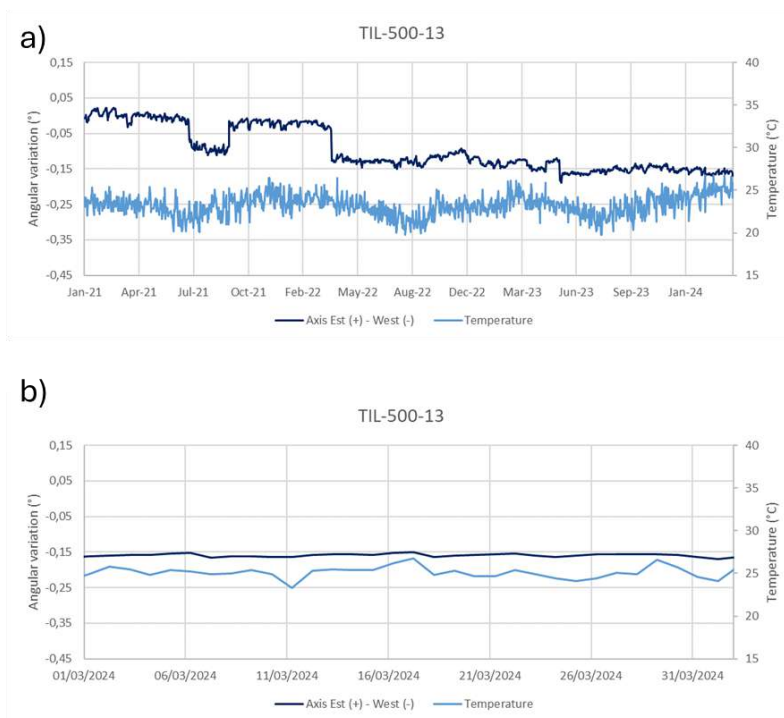


Figure 51: Angular Variation in the A Axis of TIL-13 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

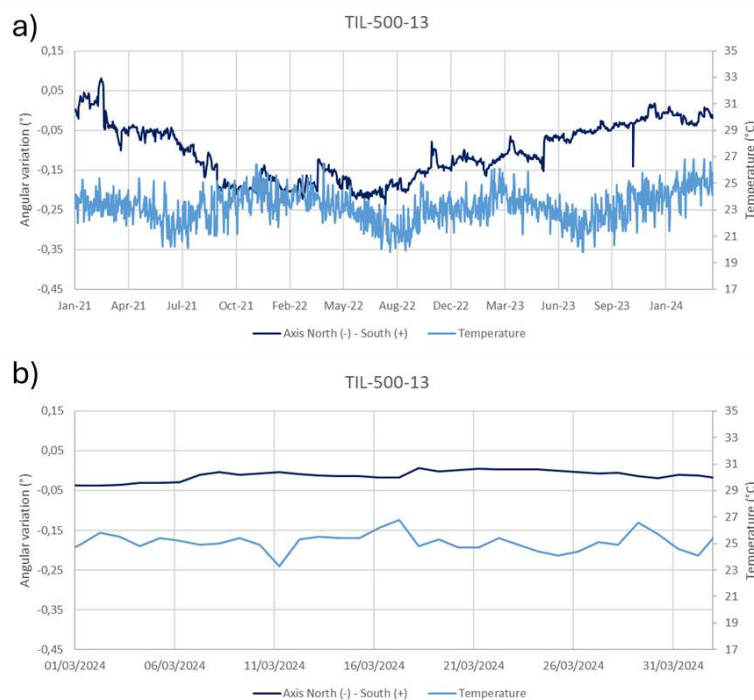


Figure 52: Angular Variation in the B Axis of TIL-13 Tiltmeter at 6:00 a.m. in the entire period (a) and in the last month (b).

In the whole period (January 2021 – March 2024) there is a trend of negative variation in both axes of TIL-13, representing a possible trend of rotation in the Northwest direction. In March 2024, the average rotation is 0.004° along the EW direction and 0.03° along the NS direction.

When evaluating the tiltmeter data considering the 6:00 a.m. readings of each day, it is noticed that the movements in the period were, in general, small than of 0.1° . Abrupt movements (significant single movements) were not observed during the month of March 2024.

7 MICROSEISMIC NETWORK

In order to monitor natural or induced seismic activities, ascertaining the hypocenter and epicenter of events and their magnitudes, a network of ten microseismic stations (E-01 to E-010) was designed, with the stations positioned on surface and depth.

For the surface and 300-m stations, the device used is the Trillium Compact Posthole seismometer, produced by Nanometrics. It uses a triaxial sensor with a sensitivity of 750 V/m/s, and can be used on the surface or at depths of up to 300 m.

For 900-m stations (E-04, E-06, and E-09), PSS-17 Passive Seismic Sonde geophone is used, manufactured by Avalon Sciences, with a sensitivity of 80 V/m/s.

For both devices, the Centaur digitizer, manufactured by Nanometrics, is used.

The installation of the instruments began in June 2020 and ended in November of the same year. Over the months of November and December, stations were commissioned.

As of March 2022 data, the microseismic network also includes 16 Civil Defense stations using ASIR sensors (accelerometers + seismometers) at 200m depth and Reftek accelerometers at surface. Table 12 and Figure 53 show location data for the entire network.

Code	Coordinate SIRGAS 2000 (25S)		Installation date	Depth (m)
	N	E		
E-01	8934260	198058	09/12/2020	300
E-02	8934275	198497	19/06/2020	Surface
E-03	8934121	198685	18/06/2020	Surface
E-04	8934079	198400	06/11/2020	859
E-05	8933799	198142	22/06/2020	Surface
E-06	8933885	198259	26/10/2020	859
E-07	8933509	198284	23/06/2020	Surface
E-08	8933388	198383	16/09/2020	300
E-09	8933080	198584	22/10/2020	869
E-10	8932794	198828	21/09/2020	300
MAC01	8934686	199314	-	Surface
MAC02	8933725	199439	-	Surface
MAC03	8933204	198554	-	Surface
MAC04	8934155	199487	-	204
MAC05	8933873	198984	-	Surface

MAC06	8933197	199350	-	Surface
MAC07	8935183	198287	-	Surface
MAC08	8934910	199058	-	Surface
MAC09	8934140	198249	-	Surface
MAC10	8934797	197596	-	Surface
MAC11	8932787	198800	-	207.5
MAC12	8933110	199620	-	207
MAC13	8933697	198916	-	208.3
MAC14	8934427	198150	-	204
MAC15	8934499	198915	-	204.7
MAC16	8933001	199075	-	Surface

Table 12: Microseismic stations coordinates.



Figure 53: Location of Microseismic Stations.

Data are collected at a high frequency (from 200 to 1.000 samples per second depending on the instrument) and continuously sent to a cloud server for processing, in addition to being written locally to physical disks.

The monitoring of microseismic stations is performed through a web portal (Athena) operated by Nanometrics, in which data from all records detected by the network are available. The detection of records covers the mining area internal and external region (which can be seen in Figure 54 and in greater detail in Annex C). Records detected outside the mining area are not analyzed by this report.



Figure 54 - Braskem Mining Area in Maceió, Alagoas.

The detection of data is performed automatically. Data collected by the stations are continuously sent to a web server, on which they are stored and processed. Processing is initially performed automatically through artificial intelligence algorithms. Subsequently, within 24 hours of record detection, an analyst checks the data processed automatically and classifies it into:

- Class A: Microseismic events within the mining area;
- Noises.

Classification of events as Class A is performed only after the analyst's manual review, as this classification depends on analysis of signals characteristics.

Microseismic signals are quite characteristic, making it possible to distinguish the arrival of P and S waves, and the first stations to detect the events are depth stations. Figure 55 shows the example of a microseismic event signal. The green lines indicate the arrival of P wave and the blue lines indicate the arrival of S wave.

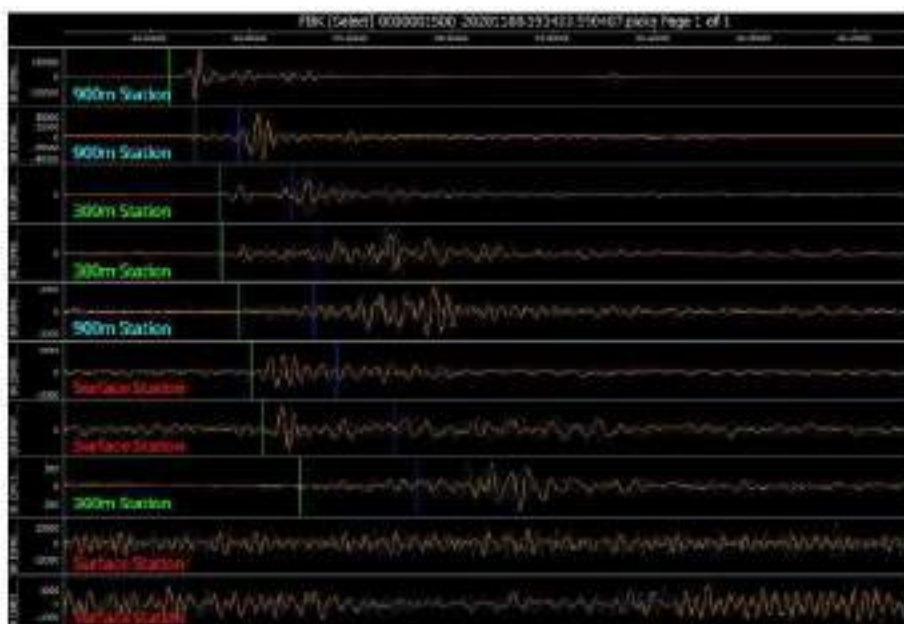


Figure 55: Example of Microseismic Signal.

In March 2024, the system detected a total of 3112 records in the area of interest. Out of these, after confirmation by Nanometrics analysts through manual review, 67 are Class A events. The other records are noises or events outside the mining area.

Figure 56 is a cumulative map which shows the geographical location of all events recorded since the start of monitoring (January 1, 2021). The data of the 67 Class A events, occurred in March 2024 are shown in more detail in Annex B and the map with the location of events is shown in Figure 57.

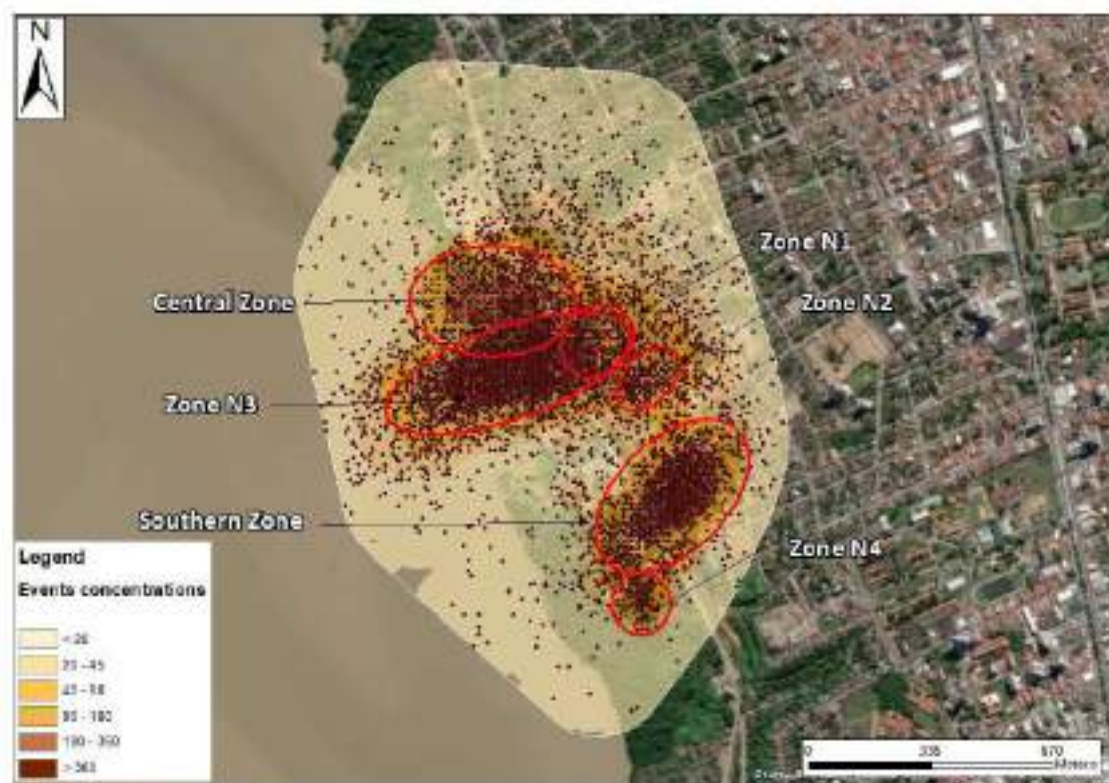


Figure 56: Definition of Concentration Zones.

To date, five zones of event concentration in terms of epicenter location could be identified. The first is located in the central region of the mining area. The second concentration zone is located further south of the mining area. The third and fourth zones (N1 and N2) are located between the central and southern zones. In this update, a new area has been identified (N4) which is located South of the southern area. It is noteworthy that the geometry of these zones can be updated again with the increase in the historical series observed over the next few months. Considering the increase of the seismic events from the 6th of November an further area (N3), has been added as a consequence of the increase of the seismic events. This ellipse will be analysed alone (in the next section) because it partially overlaps with the central and the N1 areas.

These event concentration zones were represented, for monitoring purposes, as five ellipses (with the geometry of N1 and N4 approaching that of a circle), with locations shown in Figure 56. The color spots present in Figure 56 are intended to illustrate the geographical concentration of the events and are cumulative. To this end, a heat map (Kernel) was generated by choosing a zone of influence of 100 m from each event since January 1, 2021. The choice of this value was aimed to generate a map that would allow a clear view of the areas of greatest concentration.



Figure 57: Location of the Class A events in March 2024.

For each of the Class A events detected during the monitoring period, the values of local magnitude, epicenter coordinates, and depth of the events are indicated. For the epicenter and depth, information regarding the error ellipse is also presented, which is calculated considering two standard deviations. This information is addressed in Annex B.

In Figure 58 to Figure 64, the histograms of the main information of Class A events detected by the network in the last three months are observed.

It can be seen that the network was able to detect events of a very small magnitude, with magnitudes below -3.5 in the historical data. In March 2024, the major axis of the error ellipse has

an average value of the order of 87.9 m, the minor axis has an average value of the order of 33.1 m. When evaluating the preferred direction of the major axis of the error ellipse, it is noticed that, as a rule, the most frequent class of the azimuth of the major axis of the error ellipse is between 230° and 261°.

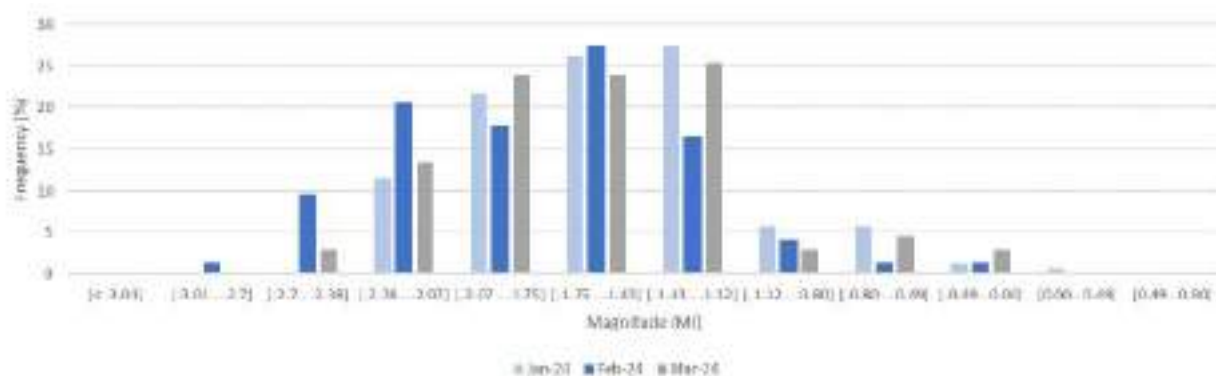


Figure 58: Histogram of Magnitude of Class A Events.

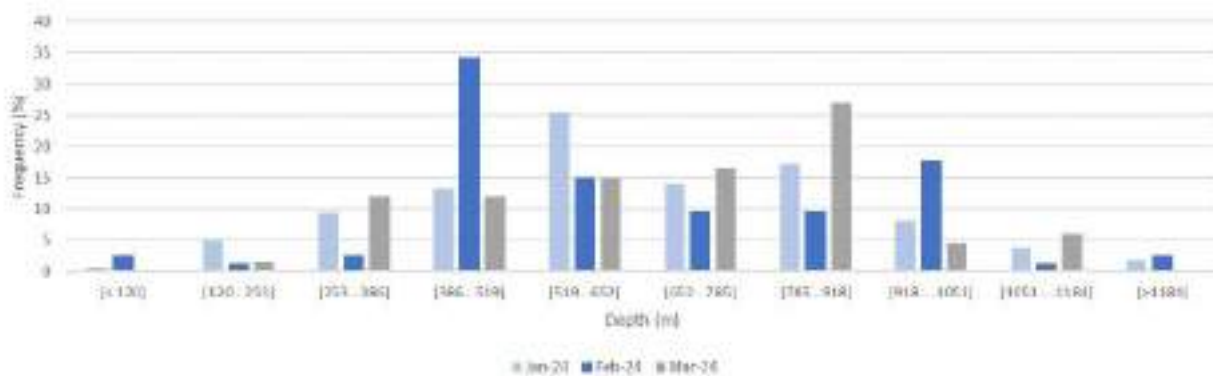


Figure 59: Histogram of Depth of Class A Events.

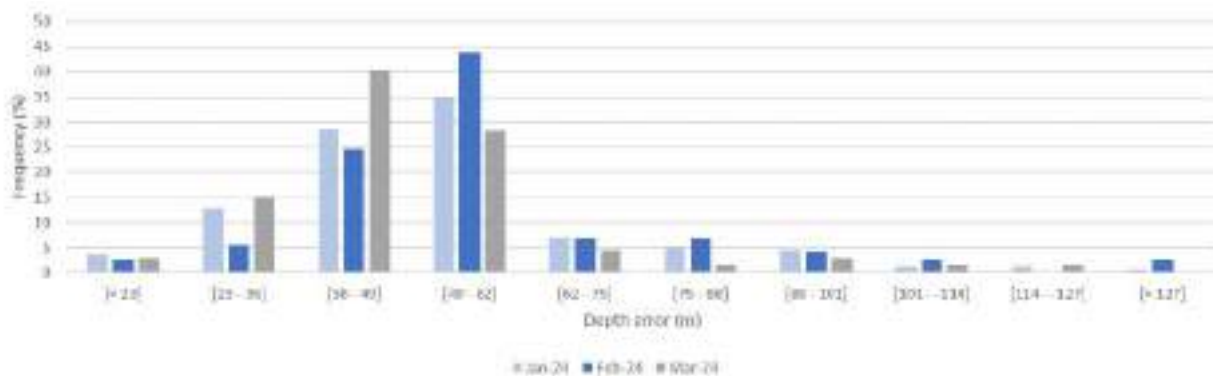


Figure 60: Histogram of Depth Error of Class A Events.

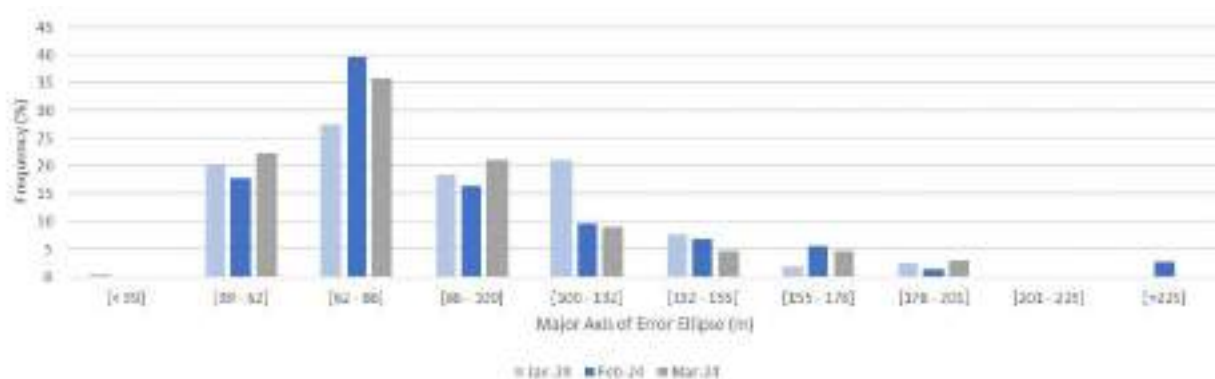


Figure 61: Histogram of Major Axis of Error Ellipse of Class A Events.

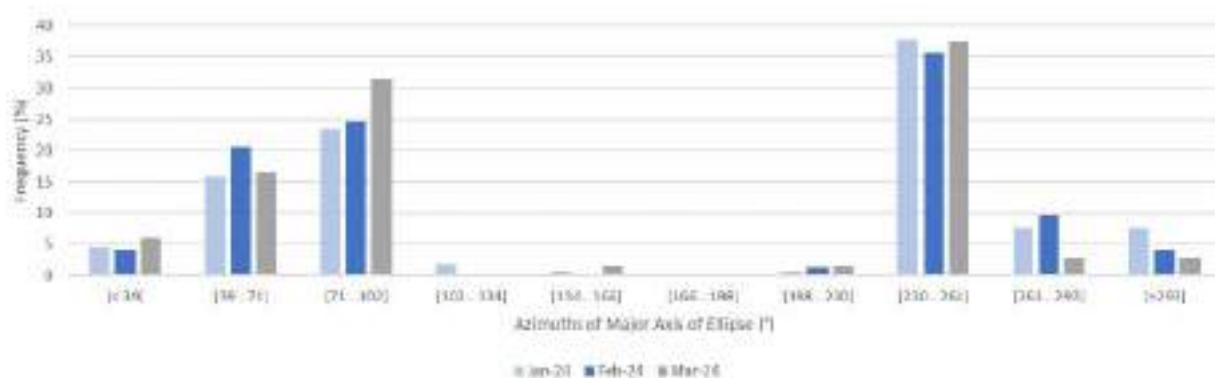


Figure 62: Histogram of Azimuths of Major Axis of Ellipse of Class A Events.

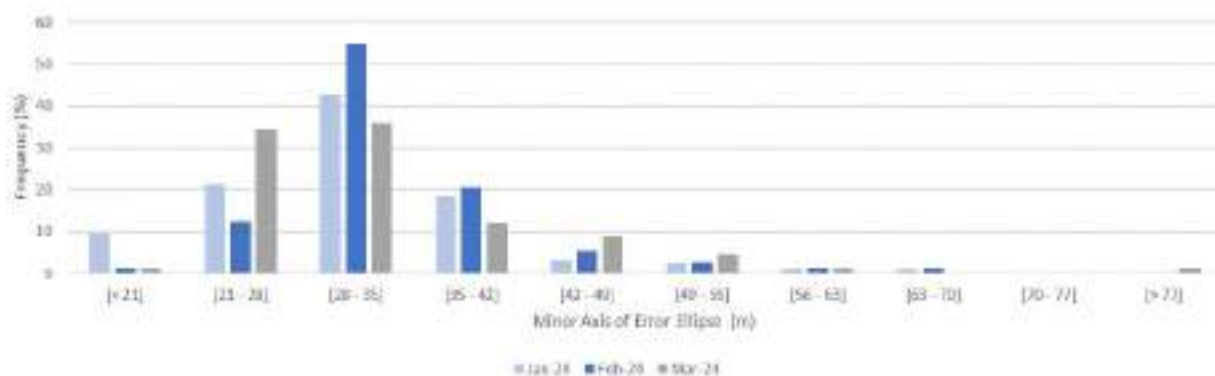


Figure 63: Histogram of Minor Axis of Error Ellipse of Class A Events.

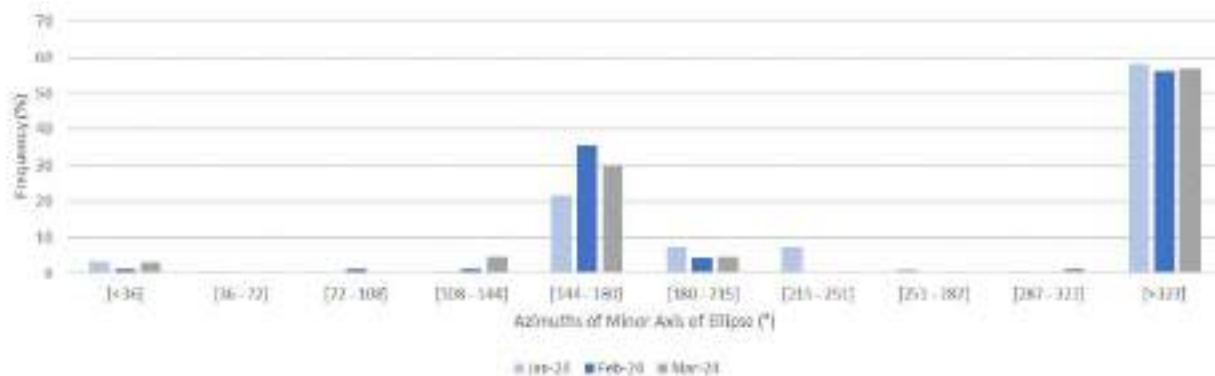


Figure 64: Histogram of Azimuth of Minor Axis of Ellipse of Class A Events.

7.1 Alerts

The seismic early warning system proposed for Maceió refers to the hourly rate (Taxa Horaria) and magnitude (Evento sísmico único) of microseismic events recorded during the growth and final surface collapse of the Cerville cavern, whose waveforms were processed by the Athena algorithm operating in Maceió.

The criteria, the thresholds and levels, however, have been fine tuned for the specific site of Maceió also considering the differences of the two seismogenic contexts, which are described in the following paragraphs.

Hourly rate alert

The alert based on the hourly rate has the following four status levels: NORMALITY, OBSERVATION, ATTENTION and ALERT (Table 13), which are defined by the combination of three parameters: hourly rate of automatic detection of microseismic events (Txh) quantified in events/ per hour, persistence of this rate per a certain period of time (P) and through the density of epicenters (De) defined by the number of microseismic events per square meter (N/m^2), which will serve as a basis to determine possible operational levels within the Contingency Plan.

PROTOCOLO DE ALERTA PARA PROCESSO DE SINKHOLE				
Status	Limites de entrada*	Possíveis consequências do processo	Verificações recomendadas	Critérios de saída
NORMALIDADE	Txh ≤ 15 ou De > $5 \cdot 10^{-4} N/m^2$ P ≤ 0 horas	-	• Monitoramento contínuo	-
OBSERVAÇÃO	Txh = 16 P ≤ 2 horas De > $5 \cdot 10^{-4} N/m^2$	-	• Monitoramento contínuo • Acompanhar evolução	• Redução dos limites para o status de normalidade; • Verificação técnica de possíveis causas.
ATENÇÃO	16 < Txh ≤ 60 P > 2 horas De > $5 \cdot 10^{-4} N/m^2$	Possível início de ascensão da(s) cavidade(s)	• Monitoramento contínuo • Analisar os dados fornecidos pelos demais instrumentos, tais como: DGPS, inclinômetros, siltímetros, piezômetros e qualquer instrumentação associada à rede de monitoramento	• Redução dos limites para o status de normalidade; • Verificação técnica de possíveis causas.
ALERTA	Txh = 60 P > 2 horas De > $5 \cdot 10^{-4} N/m^2$	Possível Sinkhole	• Monitoramento contínuo • Analisar os dados fornecidos pelos demais instrumentos, tais como: DGPS, inclinômetros, siltímetros, piezômetros e qualquer instrumentação associada à rede de monitoramento	• Redução dos limites para o status de normalidade; • Verificação técnica de possíveis causas.

Table 13: Taxa horaria alert levels from the protocol (from Protocolo de emissão de alerta antecipado para processo de sinkhole na área do mapa de ações prioritárias – versão 4).

Magnitude alert

The alert based on the magnitude has the following four status levels: NORMALITY, OBSERVATION, ATTENTION, ALERT and HIGH ALERT (Table 14), which are defined by thresholds of magnitude of automatic events detected by Athena: NORMALITY magnitude < 1 ML, OBSERVATION magnitude $1 \leq ML < 1,4$, ATTENTION $1,4 \leq ML < 2,4$, ALERT $2,4 \leq ML < 3,0$ and HIGH ALERT ($ML \geq 3,0$).

The magnitude threshold of 1.4 ML has been selected since it is the minimum magnitude value measured to date which was felt on the surface. The magnitude threshold of 2.4 ML refers to the earthquake recorded on 03 March 2018.

PROTOCOLO DE ALERTA PARA EVENTOS SISMOLÓGICOS			
Status	Limiares de entrada	Possíveis consequências	Crítérios de saída
NORMALIDADE	Eventos com Magnitude ≤ 1 ML	-	-
OBSERVAÇÃO	Eventos com Magnitude $1 < ML < 1.4$	Evento sísmico provavelmente sentido nas proximidades do epicentro. Possivelmente regiões próximas podem sofrer com algum tipo de dano nas edificações (fissuramento, queda de objetos, etc).	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.
ATENÇÃO	Eventos com Magnitude $1.4 \leq ML < 2.4$	Evento sísmico provavelmente sentido nas proximidades do epicentro e entorno. Há possibilidade que as Edificações e Infraestrutura sofram algum tipo de dano. Ex: fissuras/trincas/rachaduras nas edificações, colapso em edificações singelas em estado crítico, rompimento de tubulação, danos na rede de distribuição elétrica e de abastecimento em geral.	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.
ALERTA	Eventos com Magnitude $2.4 \leq ML < 3.0$	Evento sísmico provavelmente sentido na região do mapa V04 e áreas adjacentes. Edificações e infraestrutura podem sofrer algum tipo de dano ou até mesmo colapso. Ex: fissuras/trincas/rachaduras nas edificações, colapso das edificações, rompimento de tubulação, danos na rede elétrica e sistema de abastecimento, dano no sistema de esgotamento sanitário, deslizamento de barreiras, manifestação geológica de fraturamento do solo e/ou intensificação das existentes.	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.
ALERTA ALTO	Eventos com Magnitude $ML \geq 3.0$	Evento sísmico provavelmente sentido na região do mapa V04 e áreas adjacentes. Edificações e infraestrutura podem sofrer algum tipo de dano ou até mesmo colapso. Ex: fissuras/trincas/rachaduras nas edificações, colapso das edificações, rompimento de tubulação, danos na rede elétrica e sistema de abastecimento, dano no sistema de esgotamento sanitário, deslizamento de barreiras, manifestação geológica de fraturamento do solo e/ou intensificação das existentes.	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.

Table 14: Magnitude alert levels from the protocol (from Protocolo para emissão de alerta para eventos sísmicos na área do mapa de ações prioritárias – versão 4).

In March 2024 no alerts or warnings have been issued using the magnitude criteria (Figure 65), while 4 observation threshold (level observation) have been achieved using the hourly rate criteria (Table 15, Figure 66) due to anthropogenic noise related to a drilling operation in the Area 2.

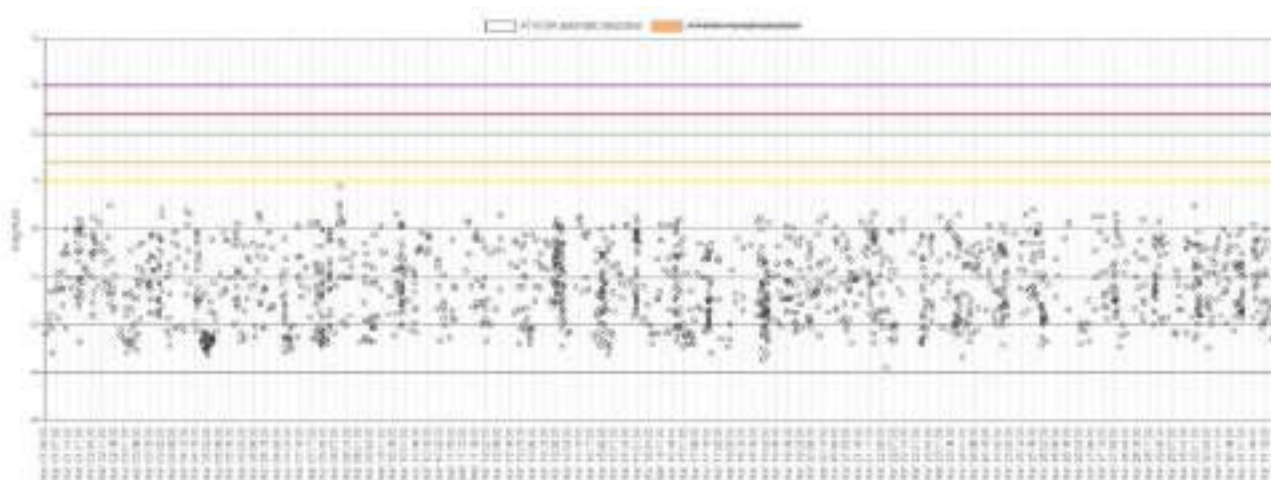


Figure 65 - Magnitude alert of the EWS and related thresholds.

Alert	Start	End	Description	Level
Hourly rate	13/03/2024	13/03/2024	rate = 15.000000, density = 0.000058	Observation
Hourly rate	13/03/2024	13/03/2024	rate = 15.000000, density = 0.000050	Observation
Hourly rate	09/03/2024	09/03/2024	rate = 15.000000, density = 0.000054	Observation
Hourly rate	09/03/2024	09/03/2024	rate = 15.000000, density = 0.000054	Observation

Table 15 - Hourly rate alert of the EWS.

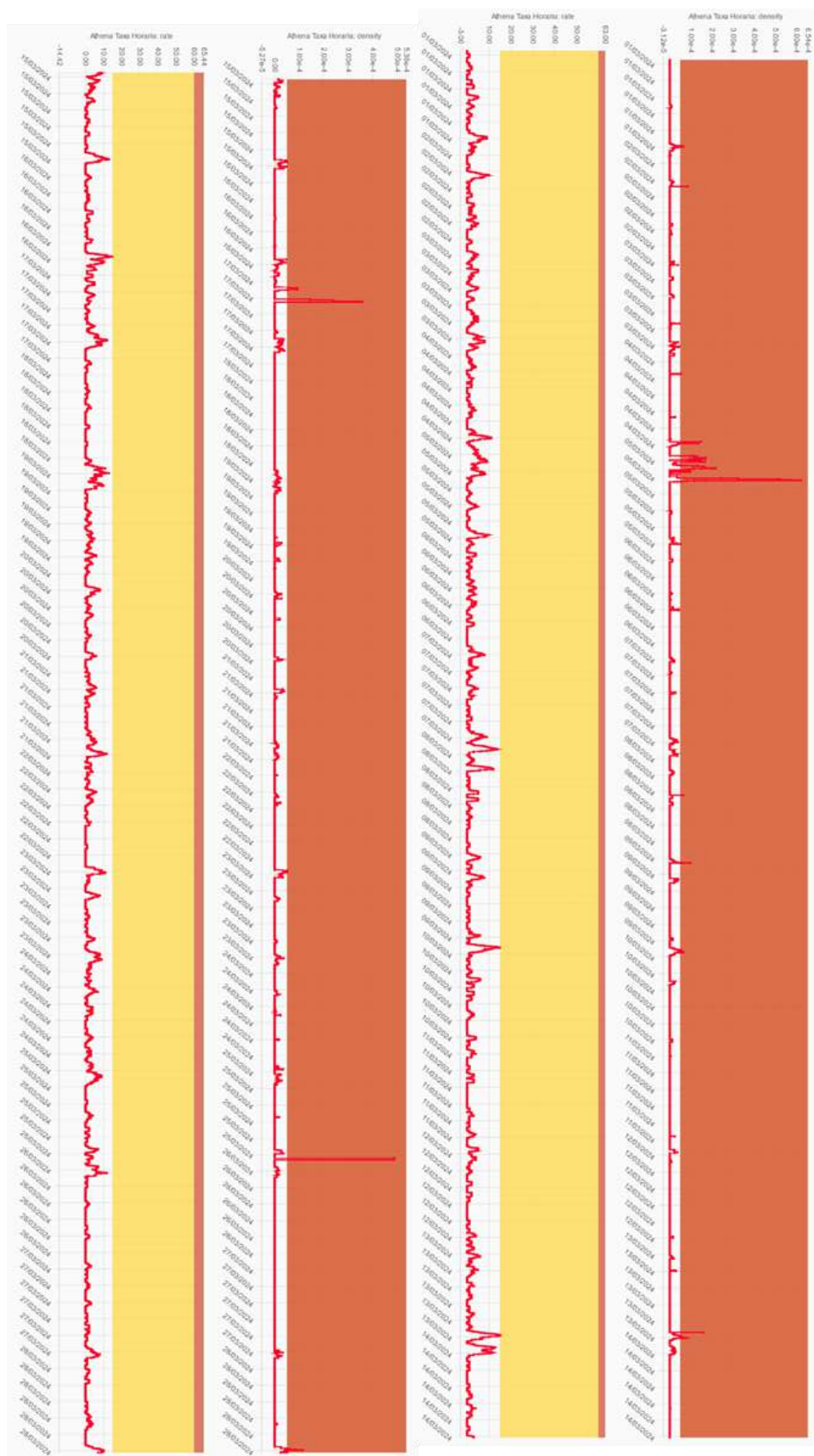


Figure 66 - Rate and density of the hourly rate criteria

8 CONSOLIDATION OF DATA

8.1 Microseismic Network

As previously reported, 67 Class A events were confirmed through manual check in March 2024. Table 16 summarizes the main information among the Class A events. The magnitude varies between -2.48 MI and -0.43 MI, with an average of -1.6 MI.

Class A events	Quantity	Magnitude (MI)			Depth (m)		
		minimum	mean	maximum	minimum	mean	maximum
Total Events	67	-2.48	-1.6	-0.43	200	720	1630
Inside of the central zone	7	-1.77	-1.39	-0.46	670	956	1440
Inside of the southern zone	15	-2.35	-1.60	-0.59	300	550	810
Inside of the zone N1	1	-1.22	-1.22	-1.22	1080	1080	1080
Inside of the zone N2	1	-2.0	-2.0	-2.0	200	200	200
Inside of the zone N4	1	-1.67	-1.67	-1.67	680	680	680
Outside of the concentration zones	42	-2.48	-1.62	-0.43	300	747	1630

Table 16: Summary Table of Main Data of Class A Events.

As explained in the past reports, there are five geographic regions that historically (when observing data since January 1, 2021) have a higher event recording density. These regions were here referred to as central, southern, N1, N2 and N4 concentration zones. Out of the 67 Class A events of the period, 42 (62.7%) occurred within any of the zones. In March 2024 part of the Class A events occurred in an area named N3. The statistic of the Class A events in this area have been analysed alone (Table 17).

Class A events	Quantity	Magnitude (MI)			Depth (m)		
		minimum	medium	maximum	minimum	medium	maximum
Inside of the zone N3	10	-1.96	-1.47	-1.21	550	835	1080

Table 17 - Summary Table of Main Data of Class A Events for the N3 area.

It is possible to identify that, in March 2024, the central concentration zone accounts for 10.4% of all Class A events. Compared to the southern concentration zone, the central concentration zone presents a lower number of events, a lower average magnitude, and a deeper average depth. The mean magnitude in N1 concentration zone is lower than that of the central zone, while N2 and N4 show a higher average magnitude. In relation to the central zone, N2 and N4 exhibit a shallower mean depth, whereas N1 is characterized by a greater average depth. Concerning the southern concentration zone, N1, N2 and N4 show a lower mean magnitude. Regarding the southern zone, N2 concentration zone displays a shallower mean depth, whereas N1 and N4 are characterized by a greater mean depth. Regarding the zone N3, in March 2024 the number of events is higher with respect to the previous months, it accounts for 14.9% of all Class A events. Its magnitude is higher than that of the central zone and its average depth is shallower than that of the central zone.

Class A events can also be observed cumulatively through the timeline in Figure 67. What is observed is that the occurrences of events showed an almost constant growth trend outside the concentration zones.

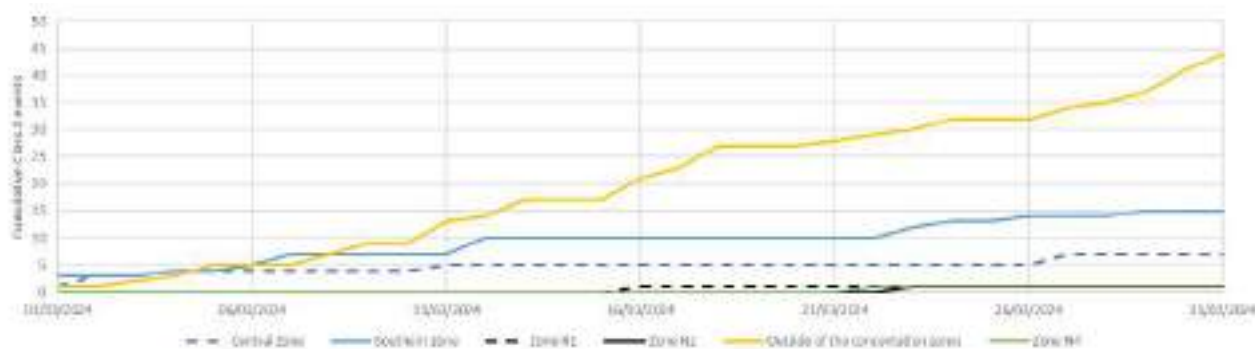


Figure 67: Timeline with Accumulated Amount of Class A Events Recorded.

Considering the Class A events included in the concentration zone N3, the cumulative graphs does not show particular periods in which a clear increase of the seismicity can be observed (Figure 67 and Figure 68).



Figure 68 - Timeline with Accumulated Amount of Class A Events Recorded in the N3 zone.

Lastly, Figure 69 shows the occurrence rate of Class A events per day during the month of March 2024. It is observed that the occurrence of events showed the highest number of recorded events (5) on March 1, 11 and 16.

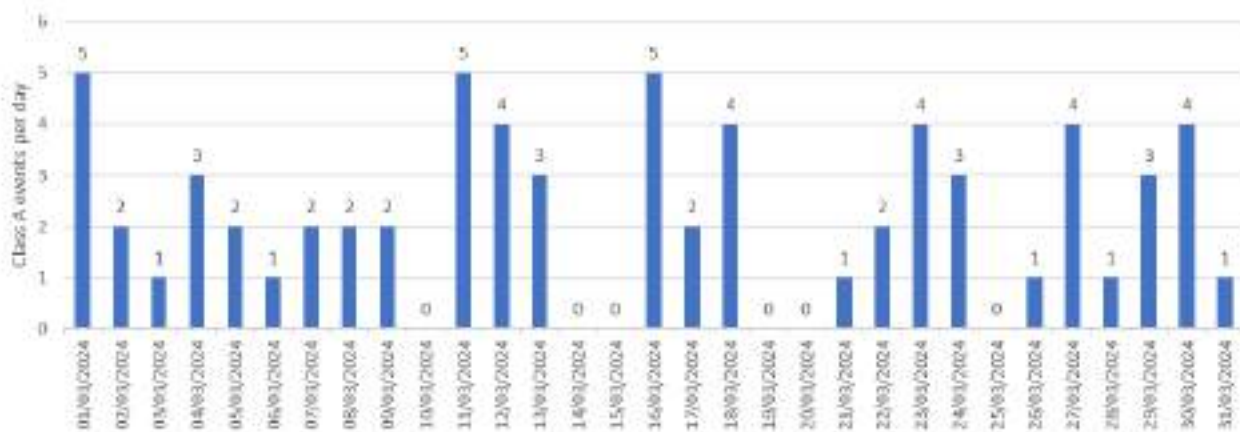


Figure 69: Daily Rate of Class A Events.

9 CONCLUSIONS

The present report summarizes the main outcomes of the analysis of the ground deformations monitoring data obtained from satellite InSAR data provided by Braskem up to February 2024 and from D-GPS, Inclinometers, Tiltmeters and Microseismic network data provided by Braskem up to March 2024.

InSAR data show, similarly to the previous update, an extensive deformation field of semi-elliptic shape elongated in the direction parallel to the lagoon coastline, with maximum values centered in the area between well M12 to the N and M20 to the S. For the latest descending dataset the maximum cumulated displacement, from June 2019 to February 2024 is 968.4 mm along the line of sight and maximum velocity is 189.4 mm/y along the line of sight 80 m SE to the well M10, similar to that measured in January 2024 (188.7 mm/y). For the latest ascending dataset the maximum cumulated displacement, from June 2019 to February 2024 is 887.8 mm along the line of sight and maximum velocity is 180.1 mm/y along the line of sight 25 m East to the well M27D, similar to that measured in January 2024 (180.3 mm/y).

Both D-GPS and the decomposed InSAR data are showing a continuous and regular funnel-shaped deformation field with displacement vectors pointing towards the central part of the wells area, with almost vertical movements above the caverns and strong horizontal components in the surrounding areas.

By calculating the annual average velocity from the InSAR vertical and E-W components and comparing those velocities over a monthly basis, it has been possible to draw the following considerations. Comparing the last two updates in the vertical direction, most of the buffers shows a similar velocity with respect to those measured in the previous update. No accelerations or decelerations higher than 5 mm/y have been measured, except for buffer n. 4 which shows an increase of 13 mm/y.

Along the EW component, comparing the last two updates, all the buffers shows similar velocity with respect to those measured in the previous update. No accelerations or decelerations higher than 5 mm/y have been measured, except for buffers n. 4 (+19 mm/y) and n.9 and 10 (+6 mm/y).

In March 2024, D-GPS stations show similar values with respect to the previous month along the vertical component, except for station M32 which shows a decrease of 7 mm/. Considering the EW component, by comparing the last two updates, all the D-GPS stations show values in agreement with those of the previous months. For what concerns the N-S direction, the comparison of the velocity measured in March 2024 does not show evident changes with respect to the previous update, except for station DG-55 which passes from 1 mm/y toward North to 5 mm/y toward South.

In March 2024, 0 warnings and 0 alarms have been detected along the three components.

By comparing the D-GPS with the InSAR data, where they are available, it is possible to notice that the agreement between the two datasets is good. In fact there is agreement for 6 cases out of 10 along the vertical component. Along the EW component the agreement is better as it occurs 8 times out of 10.

In the urban area D-GPS points show a good agreement with InSAR data along the vertical direction. In fact the agreement occurs 31 times out of 59 cases. In case of discrepancy, D-GPS measures higher

values with respect to InSAR. The agreement is perfect along the EW component (59 times out of 59).

As concerns the inclinometers, it was possible to observe that the top displacements accumulated since the start of monitoring ranging between 66.5 and 196.7 mm. When evaluating the monthly increment value at the top of the instruments, there is an average displacement of 9.74 mm, which represents a value higher than the monthly average recorded so far and it is mainly due to the IN004. Small depth displacements were also identified in the four sensors and can be associated with the process of column settling of inclinometers in these regions. It should be noted that the interpretation of horizontal displacements represents a long-term monitoring, that is, more detailed analyses, as well as conclusions regarding the rate/speed of the displacements measured can be evaluated with the increase of the historical series.

The movements indicated by the tiltmeters were, in general, lower than 0.1° . Abrupt movements (significant single movements) were not observed during March 2024.

Regarding microseismic activity, the network confirmed through manual check 67 Class A events during the monitoring period. The magnitude of the events varies between -2.48 MI and -0.43 MI, with an average of -1.6 MI. It is observed that the highest number of events has been recorded on March 1, 11 and 16 (5 events). In March 2024 no alerts or warnings have been issued using the magnitude criteria, while 4 observation threshold (level observation) have been achieved using the hourly rate criteria.

ANNEXES

A. Charts Inclinometers

DMS BRK001-250-0421

Report N.4 – 01/04/2024 00.00

Contractor: BRASKEM

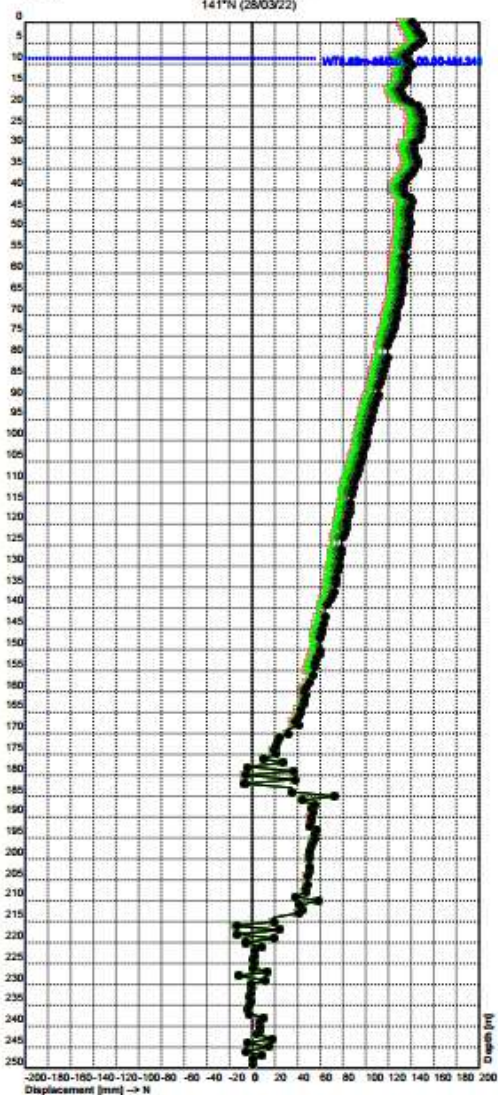
Website: INC001

Project: Maceió

Evaluated by: C.S.G.

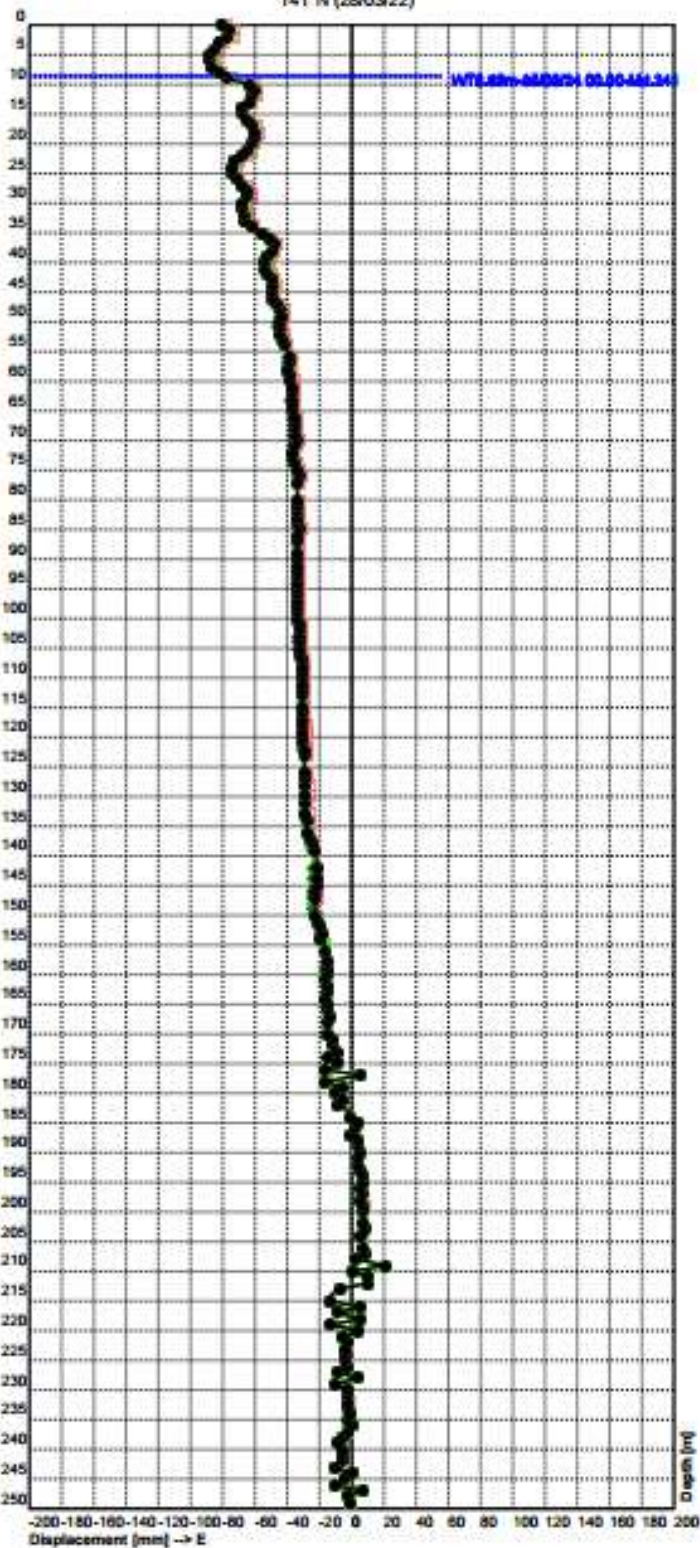
DMS BRK001-250-0421: North displacement - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC001
Project: Maceió
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 27/04/2021
Calibration date: 07/07/2021 09.30
Notes: Revised Direction P+
141°N (28/03/22)



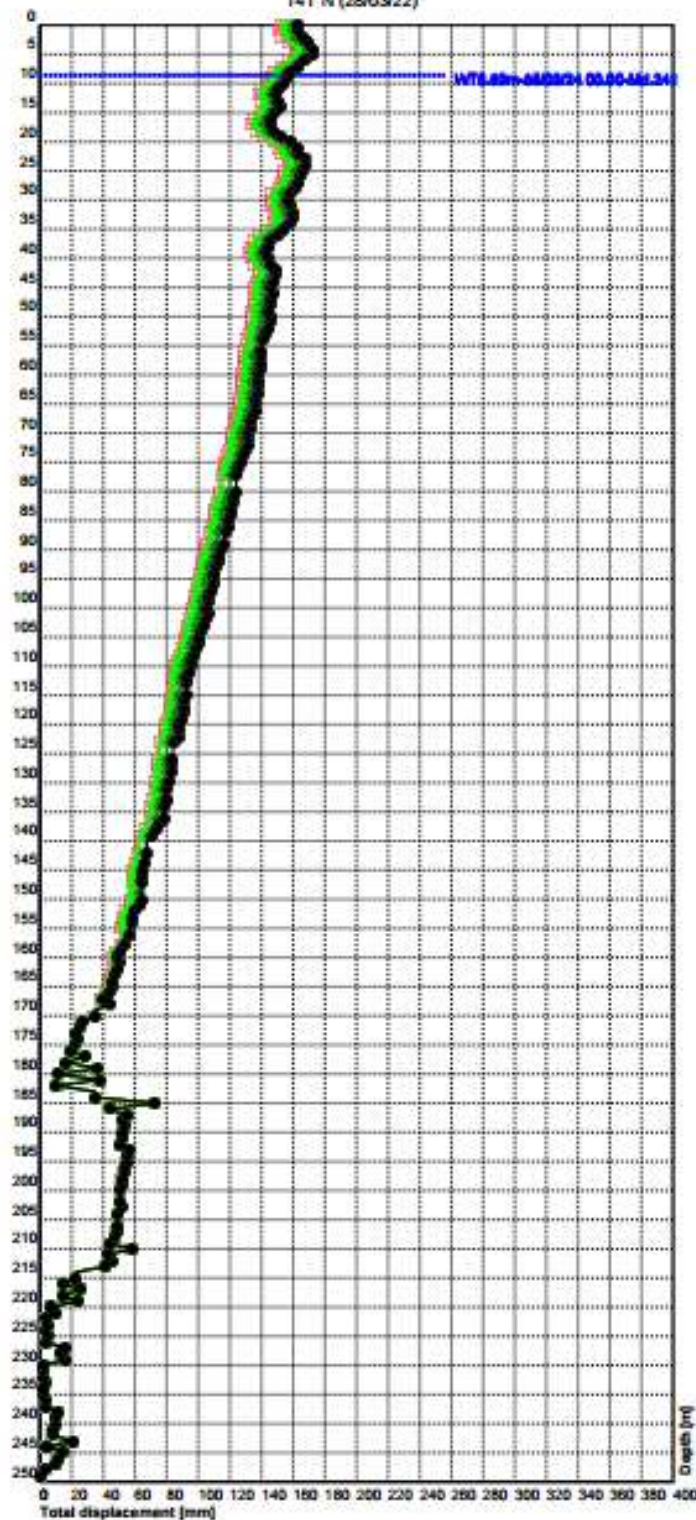
DMS BRK001-250-0421: East displacement - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Maceió
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)



DMS BRK001-250-0421: Module displacement - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

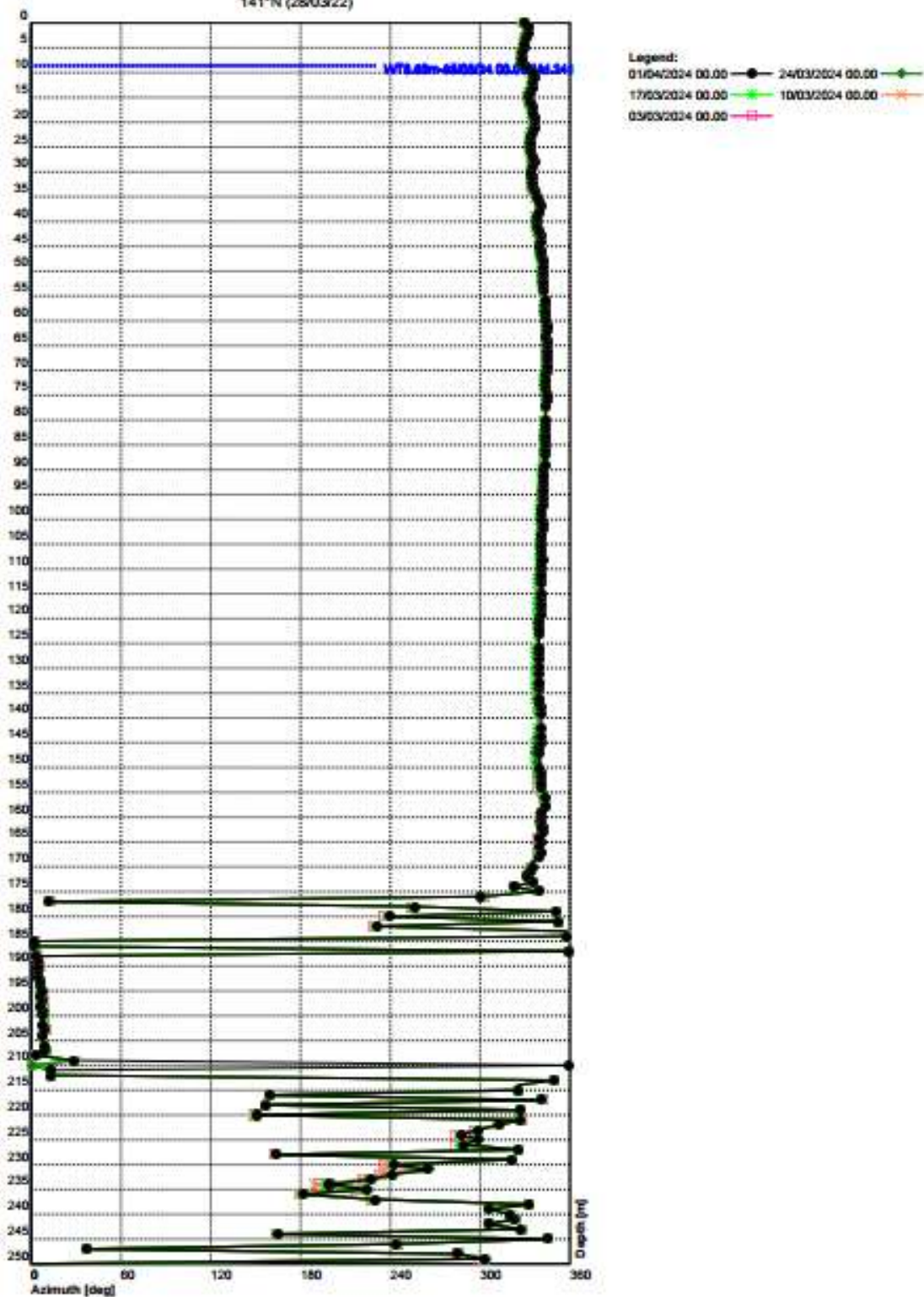
Client: BRASKEM
Site: INC001
Project: Macaé
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 27/04/2021
Calibration date: 07/07/2021 09.30
Notes: Revised Direction P+
141°N (28/03/22)



Legend:
01/04/2024 00.00 ● 24/03/2024 00.00 ●
17/03/2024 00.00 ● 10/03/2024 00.00 ●
03/03/2024 00.00 ●

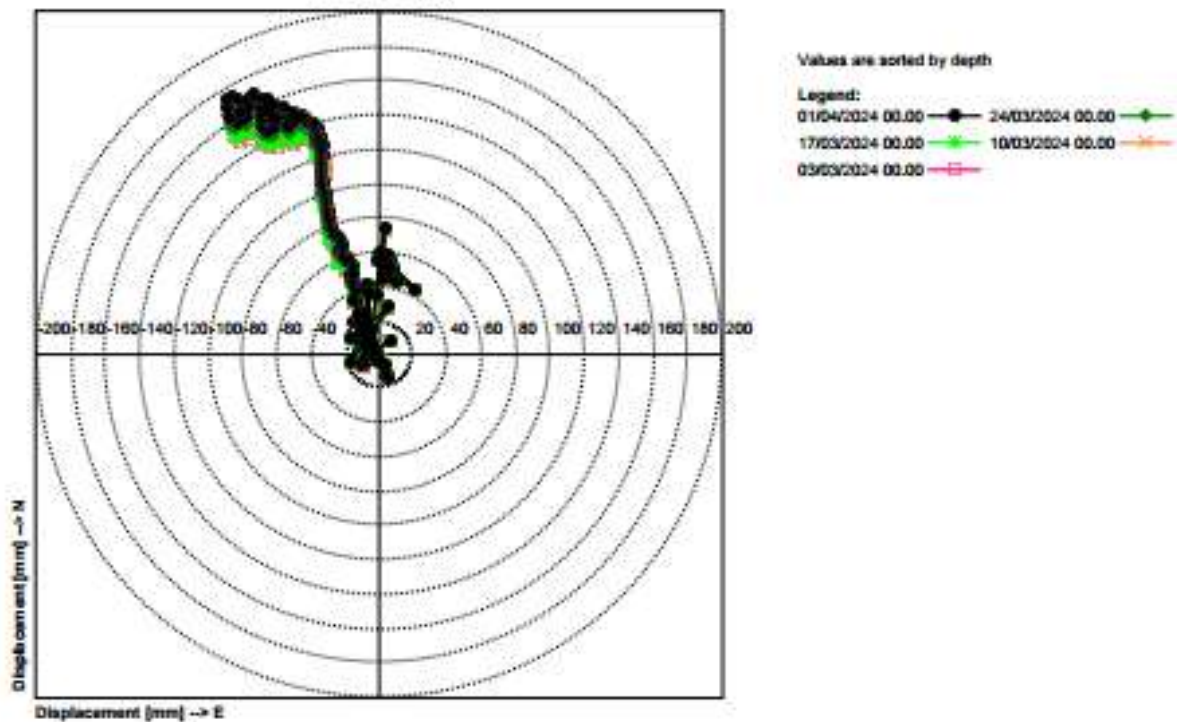
DMS BRK001-250-0421: Azimuth displacement Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC001
Project: Macaé
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 27/04/2021
Calibration date: 07/07/2021 09.30
Notes: Revised Direction P+
141°N (28/03/22)



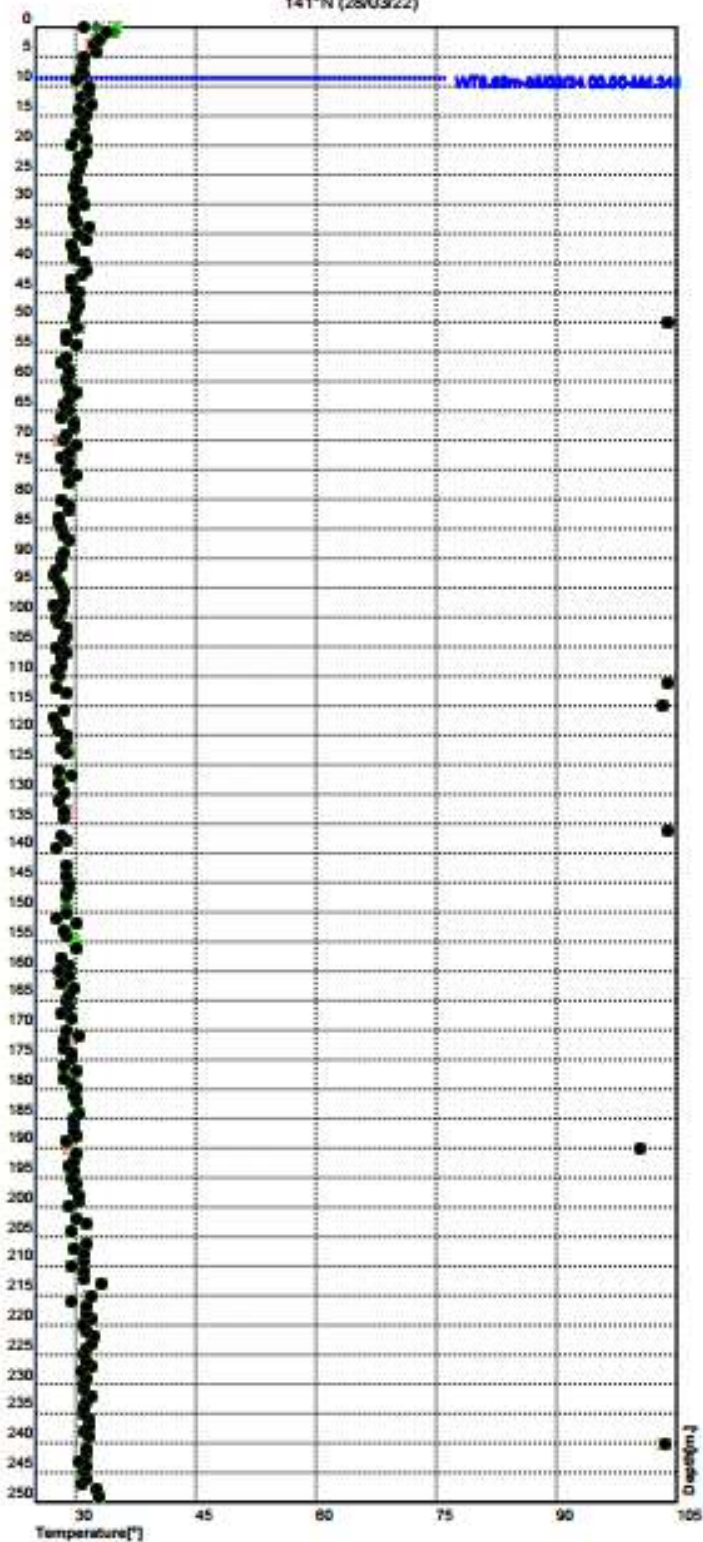
DMS BRK001-250-0421: Polar graph - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Macaê
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)



DMS BRK001-250-0421: Temperature Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

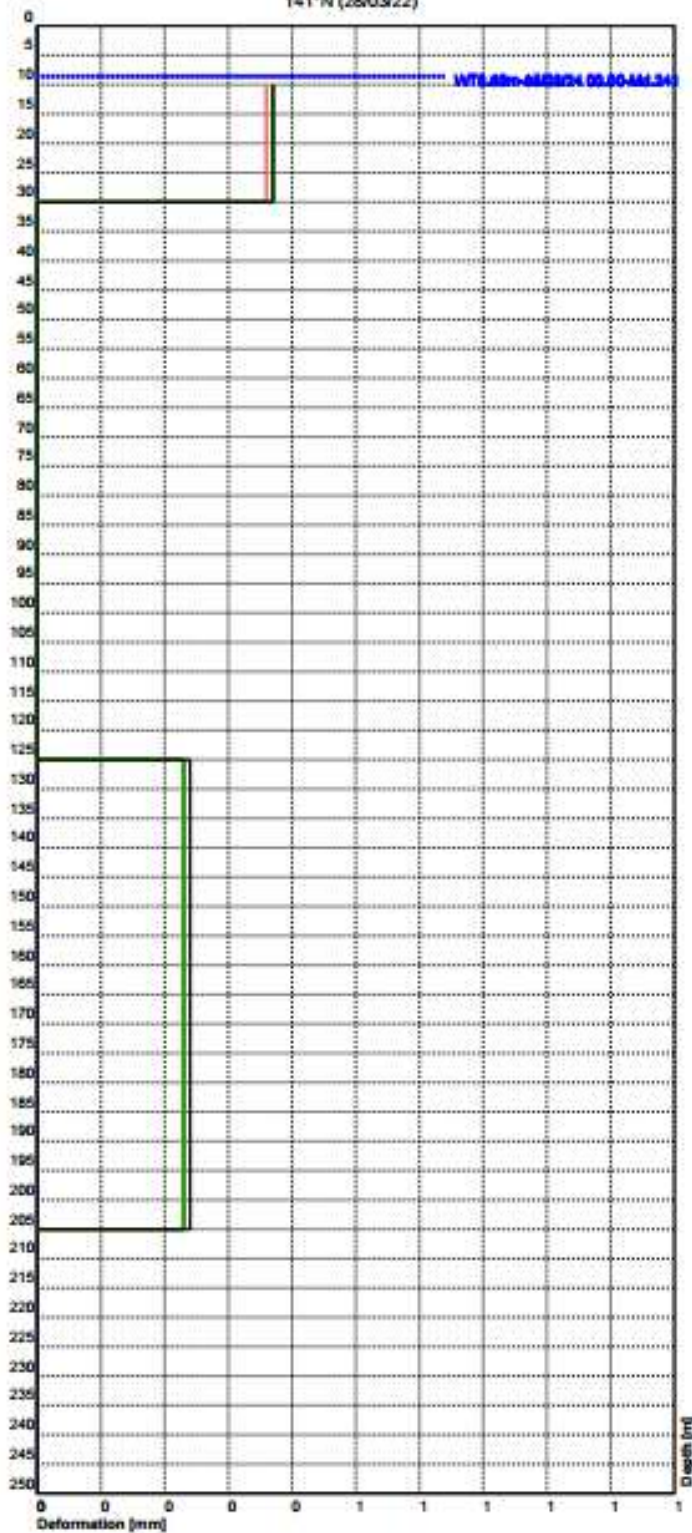
Client: BRASKEM
Site: INC001
Project: Macaé
Monitoring Interval: 0-250 m bgl
Installation date: 27/04/2021
Calibration date: 07/07/2021 09.30
Notes: Revised Direction P+
141°N (28/03/22)



Legend:
01/04/2024 00.00 24/03/2024 00.00
17/03/2024 00.00 10/03/2024 00.00
03/03/2024 00.00

DMS INC001: Deformations [mm]
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Maceló
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)



Legend:
 01/04/2024 00.00 —●— 24/03/2024 00.00 —●—
 17/03/2024 00.00 —●— 10/03/2024 00.00 —●—
 03/03/2024 00.00 —●—

DMS BRK001-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm]
249.00	0	-0.02	0.01	0.23	-0.37	0.44	302.47	32.90	-
248.00	1	-0.15	0.01	0.80	-2.93	3.04	285.20	32.60	-
247.00	2	0.44	0.50	8.23	6.11	10.25	36.59	30.70	-
246.00	3	-0.74	-0.92	-4.94	-9.81	10.98	243.28	31.50	-
245.00	4	0.12	1.17	14.63	-3.90	15.14	345.06	30.90	-
244.00	5	0.51	-1.00	-4.23	1.18	4.39	164.41	31.30	-
243.00	6	-0.94	1.07	17.36	-11.04	20.57	327.54	30.40	-
242.00	7	0.42	-0.67	4.35	-6.17	7.55	305.18	31.30	-
241.00	8	0.01	0.17	7.17	-5.36	8.95	323.22	31.30	-
240.00	9	-0.04	-0.01	7.19	-6.05	9.40	319.92	103.50	-
239.00	10	-0.12	-0.09	6.17	-8.55	10.55	305.81	31.60	-
238.00	11	0.12	0.28	10.44	-5.36	11.73	332.83	30.90	-
237.00	12	0.32	-0.68	-2.49	-3.00	3.90	230.26	31.70	-
236.00	13	0.18	-0.05	-4.09	-0.11	4.09	181.55	31.80	-
235.00	14	-0.13	0.09	-1.91	-1.87	2.67	224.43	31.10	-
234.00	15	0.07	0.06	-1.31	-0.45	1.38	199.16	31.10	-
233.00	16	-0.10	-0.10	-2.40	-2.54	3.50	226.68	31.30	-
232.00	17	0.01	0.08	-1.06	-1.92	2.19	241.05	31.90	-
231.00	18	-0.06	0.03	-0.21	-2.66	2.67	265.56	31.10	-
230.00	19	0.04	-0.05	-1.21	-2.32	2.62	242.36	31.00	-
229.00	20	-0.69	0.53	12.06	-9.62	15.42	321.42	31.30	-
228.00	21	1.24	-0.98	-12.22	3.59	12.74	163.63	30.70	-
227.00	22	-1.26	1.07	13.57	-9.25	16.42	325.72	31.90	-
226.00	23	0.62	-0.51	1.02	-3.06	3.22	288.41	31.20	-
225.00	24	-0.09	0.04	2.29	-4.22	4.80	298.49	31.10	-
224.00	25	0.06	-0.05	1.08	-3.57	3.73	286.86	31.40	-
223.00	26	-0.10	0.05	2.56	-4.78	5.42	298.15	31.90	-
222.00	27	0.10	0.05	2.63	-2.88	3.91	312.38	32.20	-
221.00	28	-0.27	0.24	8.42	-5.35	9.97	327.56	31.50	-
220.00	29	0.78	-0.55	-5.74	3.27	6.61	150.35	31.10	-
219.00	30	-1.49	0.87	19.60	-12.79	23.41	326.88	32.10	-
218.00	31	1.73	-1.26	-12.95	5.51	14.07	156.97	31.20	-
217.00	32	-1.68	1.53	24.27	-8.25	25.63	341.22	31.40	-
216.00	33	1.78	-1.50	-14.09	5.26	15.04	159.51	29.60	-
215.00	34	-1.89	1.06	18.82	-13.25	23.02	324.86	31.90	-
213.00	36	-0.41	1.23	40.83	-7.81	41.57	349.16	33.20	-
212.00	37	0.76	0.71	44.03	10.08	45.17	12.89	31.00	-
211.00	38	0.03	-0.12	41.97	9.44	43.02	12.67	30.90	-
210.00	39	-1.01	0.47	58.93	-0.12	58.93	359.88	29.50	-
209.00	40	1.67	-0.24	38.28	20.88	43.61	28.61	30.90	-
208.00	41	-1.17	-0.23	47.33	2.14	47.38	2.59	30.90	-
207.00	42	0.25	0.22	47.65	7.96	48.32	9.49	29.70	-
206.00	43	-0.07	0.01	48.50	7.20	49.03	8.44	31.30	-
204.00	45	-0.06	-0.04	48.71	5.97	49.08	6.99	29.60	-
203.00	46	0.01	0.18	50.82	8.21	51.48	9.18	31.30	-
202.00	47	-0.04	-0.04	50.75	7.21	51.26	8.09	30.20	-
200.00	49	0.02	-0.02	50.20	7.20	50.71	8.16	29.10	-
199.00	50	-0.04	0.05	51.39	7.33	51.91	8.12	30.50	-
198.00	51	-0.06	-0.08	51.36	5.57	51.66	6.19	30.40	-
197.00	52	0.01	0.12	52.56	7.23	53.06	7.83	29.80	-
196.00	53	-0.11	-0.07	53.34	5.06	53.58	5.42	30.00	-
195.00	54	0.00	0.12	54.57	6.64	54.98	6.94	29.50	-

DMS BRK001-250-0421: Data table - Cumulative**Report N. 4 - 01/04/2024 00.00**

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Maceió
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
194.00	55	-0.06	0.01	55.56	6.09	55.90	6.26	29.70	-
193.00	56	-0.10	0.03	57.27	5.45	57.53	5.44	29.20	-
192.00	57	0.24	-0.27	51.04	4.16	51.21	4.66	29.90	-
191.00	58	-0.09	0.03	52.69	3.67	52.82	3.98	30.00	-
190.00	59	0.07	0.02	51.95	4.67	52.16	5.14	100.50	-
189.00	60	-0.09	0.03	53.54	4.01	53.69	4.28	28.90	-
188.00	61	0.01	-0.06	52.72	3.36	52.83	3.64	30.20	-
187.00	62	-0.27	-0.13	55.11	-1.26	55.13	358.69	29.90	-
186.00	63	0.63	-0.26	43.73	1.91	43.77	2.50	29.80	-
185.00	64	-1.31	1.06	73.09	2.99	73.15	2.34	29.90	-
184.00	65	1.64	-1.45	35.10	-1.28	35.12	357.91	30.40	-
182.00	67	1.76	-1.65	-6.43	-8.10	10.34	231.52	30.00	-
181.00	68	-2.05	1.48	37.57	-5.22	37.93	352.09	29.80	-
180.00	69	2.04	-1.45	-5.84	-9.79	11.40	239.21	30.00	-
179.00	70	-1.99	1.38	36.18	-5.82	36.65	350.87	29.60	-
178.00	71	1.72	-1.64	-3.94	-16.06	16.54	256.21	28.40	-
177.00	72	-0.93	1.99	27.59	5.56	28.14	11.39	30.20	-
176.00	73	0.28	-1.60	9.26	-16.10	18.57	299.89	28.60	-
175.00	74	-0.39	0.73	21.33	-8.05	22.80	339.32	29.60	-
174.00	75	-0.03	-0.40	18.77	-14.47	23.70	322.38	29.60	-
173.00	76	0.00	0.31	21.05	-9.48	23.09	335.74	28.60	-
172.00	77	-0.17	-0.12	22.96	-12.62	26.21	331.20	28.60	-
171.00	78	-0.02	0.05	23.67	-11.89	26.49	333.32	30.40	-
170.00	79	-0.48	0.05	31.63	-14.83	34.93	334.88	28.80	-
168.00	81	-0.55	0.16	41.54	-15.65	44.39	339.36	29.60	-
167.00	82	0.26	0.06	37.80	-12.93	39.95	341.11	28.20	-
166.00	83	-0.24	-0.05	41.32	-15.26	44.05	339.73	29.10	-
165.00	84	-0.10	0.03	43.18	-15.43	45.86	340.34	28.80	-
164.00	85	-0.02	-0.02	43.41	-15.89	46.23	339.89	29.20	-
163.00	86	-0.08	0.09	45.28	-14.90	47.67	341.79	29.70	-
162.00	87	-0.08	-0.01	46.61	-15.46	49.11	341.64	28.10	-
161.00	88	-0.04	-0.06	47.00	-16.68	49.87	340.46	29.30	-
160.00	89	0.03	0.05	46.69	-15.71	49.26	341.41	28.00	-
159.00	90	-0.03	0.00	47.27	-15.80	49.84	341.52	29.30	0.24
158.00	91	-0.20	0.10	50.98	-14.74	53.07	343.87	28.20	-
156.00	93	-0.18	-0.06	53.94	-16.43	56.38	343.06	30.00	-
154.00	95	-0.11	-0.14	55.34	-19.25	58.59	340.82	28.80	-
153.00	96	-0.02	0.02	55.73	-18.91	58.86	341.26	28.50	-
152.00	97	-0.08	-0.07	57.02	-20.29	60.53	340.41	30.00	-
151.00	98	-0.16	-0.03	59.72	-21.29	63.40	340.38	27.70	-
150.00	99	-0.02	-0.05	59.95	-22.15	63.92	339.72	28.90	-
147.00	102	-0.01	-0.01	60.12	-22.40	64.16	339.57	28.80	-
146.00	103	-0.04	0.01	60.90	-22.38	64.88	339.82	29.10	-
145.00	104	-0.03	0.05	61.51	-21.55	65.18	340.69	29.30	-
144.00	105	-0.07	-0.01	62.76	-21.85	66.46	340.80	28.90	-
142.00	107	-0.08	0.00	64.22	-21.73	67.80	341.31	29.00	-
139.00	110	-0.14	-0.05	66.74	-22.50	70.43	341.37	27.60	-
138.00	111	-0.13	-0.09	69.14	-24.03	73.19	340.84	28.80	-
137.00	112	-0.11	-0.10	71.12	-25.68	75.61	340.14	28.30	-
136.00	113	-0.09	-0.13	72.80	-27.73	77.90	339.15	103.80	-
134.00	115	-0.07	-0.01	74.11	-27.77	79.14	339.46	28.40	-
133.00	116	-0.03	-0.06	74.84	-28.73	80.16	339.00	28.60	-

DMS BRK001-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
131.00	118	-0.04	-0.01	75.65	-28.76	80.93	339.19	28.00	-
130.00	119	-0.07	-0.01	76.85	-28.72	82.05	339.51	28.40	-
128.00	121	-0.06	-0.01	77.96	-28.71	83.08	339.78	28.00	-
127.00	122	-0.02	-0.04	78.44	-29.25	83.71	339.55	29.40	-
126.00	123	-0.01	-0.01	78.68	-29.47	84.02	339.47	27.90	-
123.00	126	-0.09	0.00	80.24	-29.09	85.35	340.07	29.00	-
122.00	127	-0.11	-0.08	82.47	-29.80	87.68	340.13	28.20	-
121.00	128	0.00	-0.04	82.71	-30.53	88.17	339.74	28.80	-
120.00	129	-0.03	0.01	83.14	-30.15	88.44	340.06	28.70	-
119.00	130	-0.05	-0.01	84.05	-30.06	89.26	340.32	28.00	-
118.00	131	-0.07	-0.02	85.37	-30.14	90.54	340.56	27.70	-
117.00	132	-0.02	-0.04	85.80	-30.80	91.16	340.25	27.40	-
116.00	133	-0.03	0.00	86.27	-30.67	91.56	340.43	28.40	-
115.00	134	-0.05	0.01	87.14	-30.26	92.25	340.85	103.30	-
113.00	136	-0.02	-0.04	87.57	-30.83	92.84	340.60	29.00	-
112.00	137	-0.02	-0.02	87.99	-31.10	93.32	340.53	27.60	-
111.00	138	-0.07	0.01	89.11	-30.91	94.32	340.87	103.80	-
110.00	139	-0.05	-0.01	89.98	-31.05	95.19	340.96	27.90	-
109.00	140	-0.05	0.02	90.86	-30.59	95.87	341.39	27.50	-
108.00	141	-0.10	-0.02	92.62	-30.73	97.58	341.64	28.30	-
107.00	142	-0.07	-0.04	93.88	-31.32	98.97	341.55	28.10	-
106.00	143	-0.06	-0.06	94.99	-32.25	100.32	341.25	28.70	-
105.00	144	-0.04	-0.04	95.68	-32.94	101.20	341.00	27.50	-
104.00	145	-0.06	0.01	96.76	-32.76	102.15	341.30	28.40	-
103.00	146	-0.06	0.00	97.82	-32.75	103.16	341.49	28.90	-
102.00	147	-0.09	0.00	99.46	-32.63	104.67	341.84	28.80	-
101.00	148	-0.08	-0.02	100.83	-33.00	106.09	341.88	27.80	-
100.00	149	0.03	-0.04	100.40	-33.76	105.92	341.42	27.70	-
99.00	150	-0.02	-0.02	100.81	-34.13	106.43	341.30	28.10	-
98.00	151	-0.07	0.00	101.95	-34.16	107.52	341.47	27.20	-
97.00	152	-0.06	0.00	102.94	-34.11	108.45	341.67	28.50	-
96.00	153	-0.06	0.02	103.94	-33.73	109.28	342.02	28.40	-
95.00	154	-0.04	0.01	104.57	-33.60	109.83	342.19	28.30	-
94.00	155	-0.05	0.00	105.37	-33.63	110.61	342.30	27.80	-
93.00	156	-0.05	0.01	106.30	-33.51	111.46	342.50	27.30	-
92.00	157	-0.07	0.01	107.54	-33.43	112.62	342.73	27.70	-
91.00	158	-0.03	0.01	108.12	-33.33	113.15	342.87	28.20	-
90.00	159	-0.07	0.00	109.40	-33.42	114.39	343.01	28.30	-
89.00	160	-0.10	-0.01	111.08	-33.83	116.12	343.06	28.40	0.24
87.00	162	-0.06	0.02	112.12	-33.52	117.02	343.36	29.30	-
86.00	163	-0.10	0.02	113.82	-33.44	118.64	343.63	28.50	-
85.00	164	-0.07	0.04	115.19	-32.87	119.79	344.07	28.10	-
84.00	165	-0.02	-0.04	115.40	-33.70	120.22	343.72	27.80	-
83.00	166	-0.02	-0.01	115.64	-33.93	120.51	343.65	28.00	-
82.00	167	-0.08	0.05	117.23	-33.40	121.89	344.09	29.10	-
81.00	168	-0.07	-0.03	118.34	-34.03	123.14	343.96	29.10	-
80.00	169	-0.05	0.02	119.31	-33.84	124.02	344.16	28.30	-
77.00	172	-0.04	0.03	120.08	-33.57	124.68	344.38	29.10	-
76.00	173	-0.07	0.05	121.54	-32.95	125.93	344.83	30.10	-
75.00	174	-0.07	0.01	122.86	-33.10	127.24	344.92	28.80	-
74.00	175	-0.10	-0.08	124.08	-34.99	128.92	344.25	29.20	-
73.00	176	-0.09	-0.06	125.12	-36.54	130.35	343.72	28.20	-

DMS BRK001-250-0421: Data table - Cumulative

Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Maceló
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)

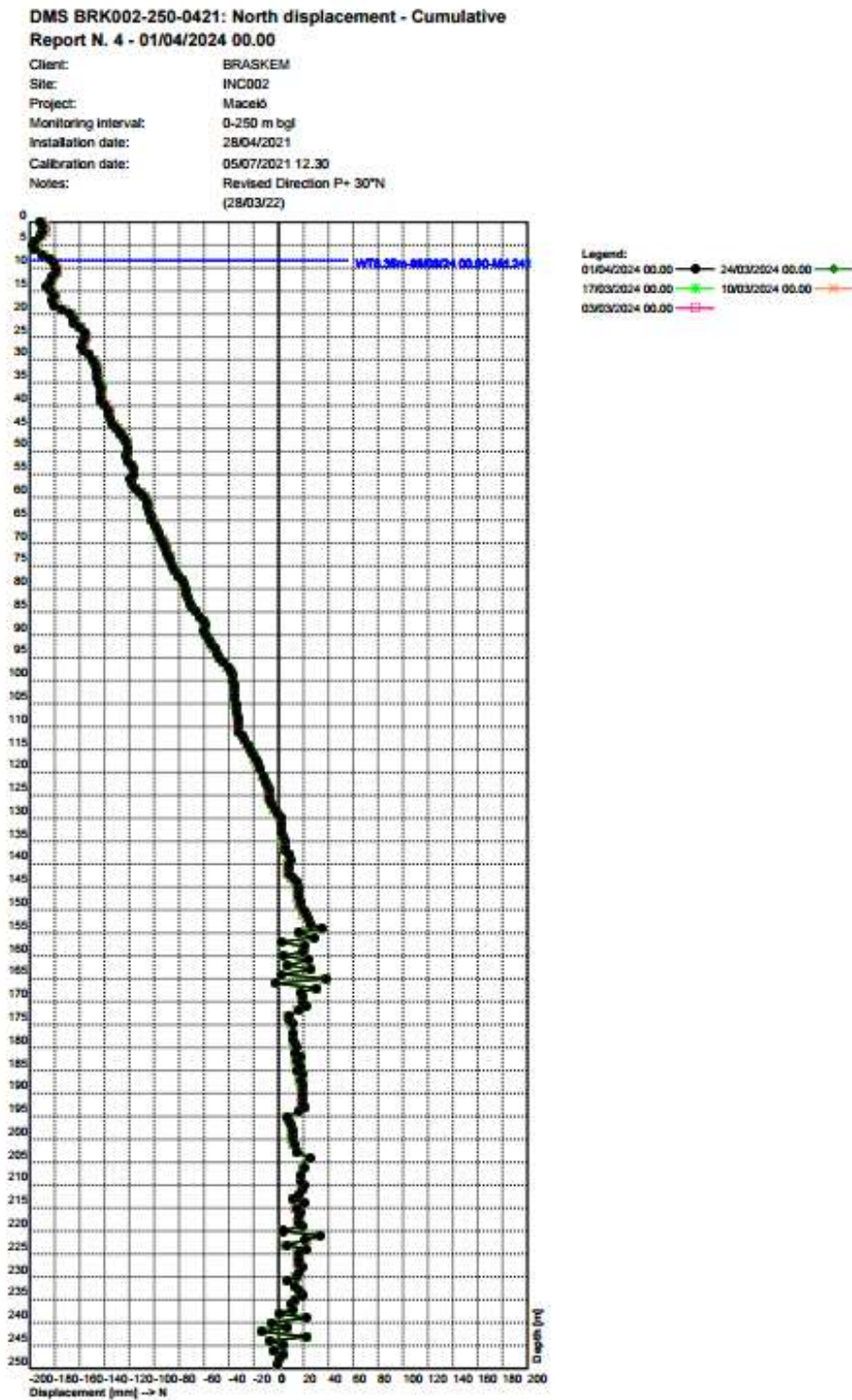
DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
72.00	177	-0.07	0.02	126.33	-36.75	131.57	343.78	29.30	-
71.00	178	0.01	0.05	126.52	-35.84	131.50	344.19	30.10	-
70.00	179	0.00	0.10	127.34	-34.31	131.88	344.92	28.40	-
69.00	180	-0.06	-0.04	127.85	-35.38	132.65	344.53	28.80	-
68.00	181	-0.06	0.06	129.22	-35.01	133.88	344.84	29.80	-
67.00	182	-0.08	0.01	130.45	-35.55	135.21	344.76	29.70	-
66.00	183	-0.04	0.00	131.02	-35.86	135.84	344.69	28.30	-
65.00	184	-0.05	0.00	131.82	-36.29	136.73	344.61	29.30	-
64.00	185	-0.02	-0.01	132.07	-36.53	137.03	344.54	28.60	-
63.00	186	-0.04	-0.03	132.41	-37.30	137.56	344.27	29.10	-
62.00	187	-0.03	0.05	133.30	-36.85	138.30	344.55	30.20	-
61.00	188	0.01	0.00	133.25	-36.73	138.22	344.59	29.20	-
60.00	189	-0.04	-0.04	133.48	-37.73	138.71	344.22	28.80	-
59.00	190	-0.05	-0.05	133.74	-39.00	139.31	343.74	29.10	-
58.00	191	-0.06	-0.03	134.39	-40.03	140.22	343.41	29.10	-
57.00	192	0.04	0.02	134.00	-39.24	139.63	343.68	28.30	-
56.00	193	-0.01	0.02	134.25	-39.06	139.82	343.78	28.80	-
54.00	195	-0.15	-0.06	135.66	-41.57	141.88	342.96	30.10	-
53.00	196	-0.08	-0.05	136.23	-43.11	142.89	342.44	28.80	-
52.00	197	-0.07	-0.02	136.97	-44.17	143.91	342.13	29.00	-
51.00	198	-0.08	-0.02	137.86	-45.37	145.13	341.78	30.20	-
50.00	199	0.00	0.00	137.91	-45.37	145.18	341.79	103.80	-
49.00	200	0.06	0.08	138.01	-43.72	144.77	342.42	29.80	-
48.00	201	-0.06	0.03	139.15	-44.07	145.97	342.43	30.00	-
47.00	202	-0.08	-0.15	138.73	-47.04	146.49	341.27	30.40	-
46.00	203	-0.07	-0.12	138.43	-49.43	146.99	340.35	30.00	-
45.00	204	0.01	-0.03	137.97	-49.68	146.64	340.20	30.40	-
44.00	205	-0.02	0.07	139.05	-48.85	147.38	340.64	29.60	-
43.00	206	-0.11	0.04	140.98	-49.59	149.45	340.62	29.60	-
42.00	207	-0.07	-0.15	140.26	-52.31	149.69	339.55	30.80	-
41.00	208	0.15	-0.23	135.77	-53.70	146.01	338.42	31.40	-
40.00	209	0.11	-0.08	133.39	-53.70	143.79	338.07	31.10	0.24
39.00	210	0.08	0.06	133.00	-52.08	142.83	338.62	29.70	-
38.00	211	-0.01	0.22	135.65	-49.22	144.31	340.06	29.80	-
37.00	212	-0.09	0.13	138.29	-48.38	146.50	340.72	29.60	-
36.00	213	-0.22	-0.02	140.97	-51.17	149.98	340.05	31.40	-
35.00	214	-0.30	-0.13	143.62	-56.22	154.23	338.62	30.40	-
34.00	215	-0.34	-0.19	146.03	-62.52	158.85	336.82	31.60	-
33.00	216	-0.13	-0.18	145.70	-66.35	160.10	335.52	30.10	-
32.00	217	0.03	-0.07	144.50	-66.88	159.23	335.16	29.90	-
31.00	218	0.04	-0.10	142.88	-67.82	158.16	334.61	29.90	-
30.00	219	0.04	-0.01	142.23	-67.57	157.46	334.59	31.10	-
29.00	220	0.02	0.13	143.43	-65.58	157.71	335.43	30.00	-
28.00	221	-0.21	0.16	147.99	-65.77	161.95	336.04	30.70	-
27.00	222	-0.13	-0.09	148.67	-68.38	163.64	335.30	29.90	-
26.00	223	-0.12	-0.16	148.39	-71.77	164.84	334.19	30.20	-
25.00	224	-0.08	-0.08	148.55	-73.82	165.88	333.58	30.10	-
24.00	225	-0.12	0.03	150.45	-74.69	167.97	333.60	30.40	-
23.00	226	0.04	0.11	151.05	-72.73	167.65	334.29	30.70	-
22.00	227	0.27	0.11	148.72	-68.23	163.63	335.35	30.40	-
21.00	228	0.12	0.18	149.12	-64.51	162.48	336.61	31.50	-
20.00	229	0.24	-0.04	145.40	-62.28	158.18	336.81	29.60	-

DMS BRK001-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC001
 Project: Macelô
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 27/04/2021
 Calibration date: 07/07/2021 09.30
 Notes: Revised Direction P+
 141°N (28/03/22)

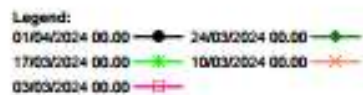
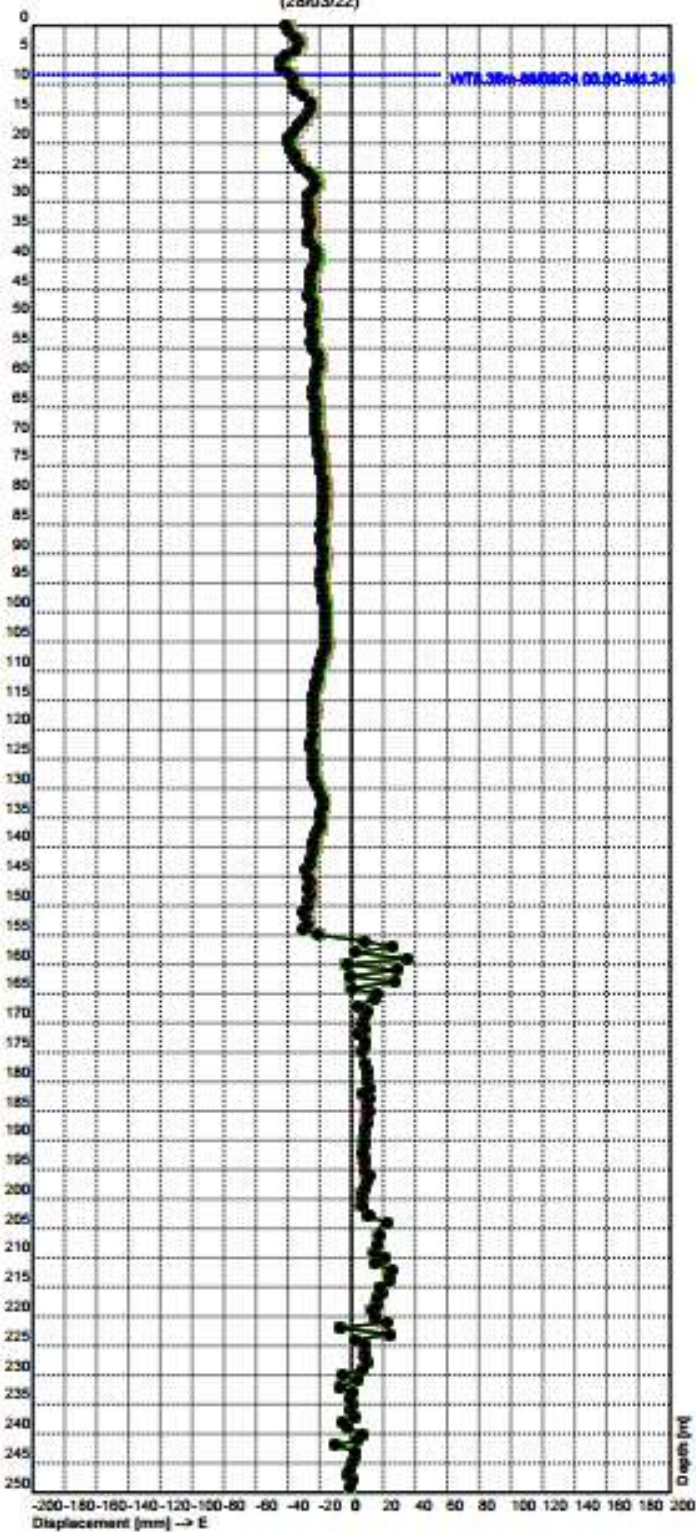
DEPTH (m bgl)	MODULE ID	PITCH (°)	ROLL (°)	NORTH DISPL. (mm)	EAST DISPL. (mm)	MODULE (mm)	AZIMUTH (°)	TEMPERATURE (°C)	Deformations (mm)
19.00	230	0.30	-0.14	139.71	-60.81	152.37	336.48	31.30	0.61
18.00	231	0.23	-0.17	134.62	-60.44	147.57	335.82	30.00	-
17.00	232	0.10	-0.15	131.50	-61.36	145.11	334.99	31.00	-
16.00	233	-0.09	-0.20	130.46	-65.07	145.79	333.49	30.60	-
15.00	234	-0.24	-0.07	132.88	-68.72	149.60	332.66	31.30	-
14.00	235	-0.11	0.15	136.01	-67.98	152.05	333.44	30.40	-
13.00	236	0.12	0.19	136.45	-64.07	150.74	334.85	32.00	-
12.00	237	0.10	0.12	136.44	-61.45	149.64	335.75	30.60	-
11.00	238	-0.06	0.09	138.24	-60.99	151.10	336.19	31.70	-
10.00	239	-0.20	-0.03	140.71	-63.62	154.42	335.67	31.60	-
9.00	240	-0.34	-0.74	137.08	-77.30	157.38	330.58	30.10	-
8.00	241	-0.11	-0.33	134.91	-83.02	158.41	328.39	31.00	-
7.00	242	-0.26	-0.04	137.96	-86.45	162.81	327.93	30.70	-
6.00	243	-0.30	0.12	143.27	-88.19	168.24	328.39	31.10	-
5.00	244	-0.21	0.20	148.29	-87.89	172.38	329.36	31.10	-
4.00	245	0.00	0.16	150.05	-85.79	172.85	330.24	32.60	-
3.00	246	0.20	0.10	148.48	-82.26	169.75	331.01	32.30	-
2.00	247	0.26	0.16	146.70	-77.24	165.79	332.23	33.00	-
1.00	248	0.16	-0.04	144.10	-76.09	162.96	332.17	33.80	-
0.00	249	-0.03	-0.29	141.27	-80.40	162.54	330.36	30.90	-

DMS BRK002-250-0421
 Report No.4 – 01/04/2024 00.00
 Contractor: BRASKEM
 Website: INC002
 Project: Maceió
 Evaluated by: C.S.G.



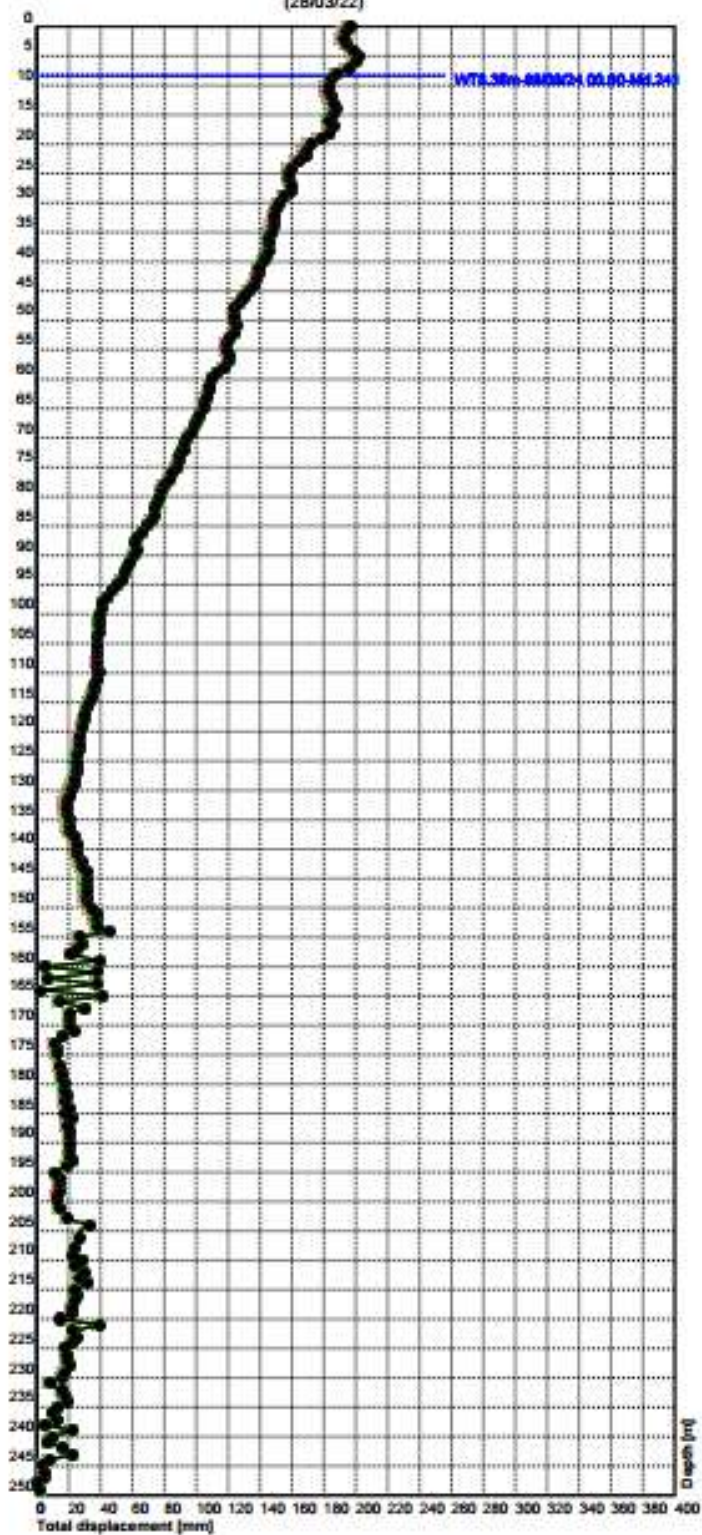
DMS BRK002-250-0421: East displacement - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC002
Project: Macaé
Monitoring Interval: 0-250 m bgl
Installation date: 28/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 12.30
Notes: Revised Direction P+ 30°N
(28/03/22)



DMS BRK002-250-0421: Module displacement - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

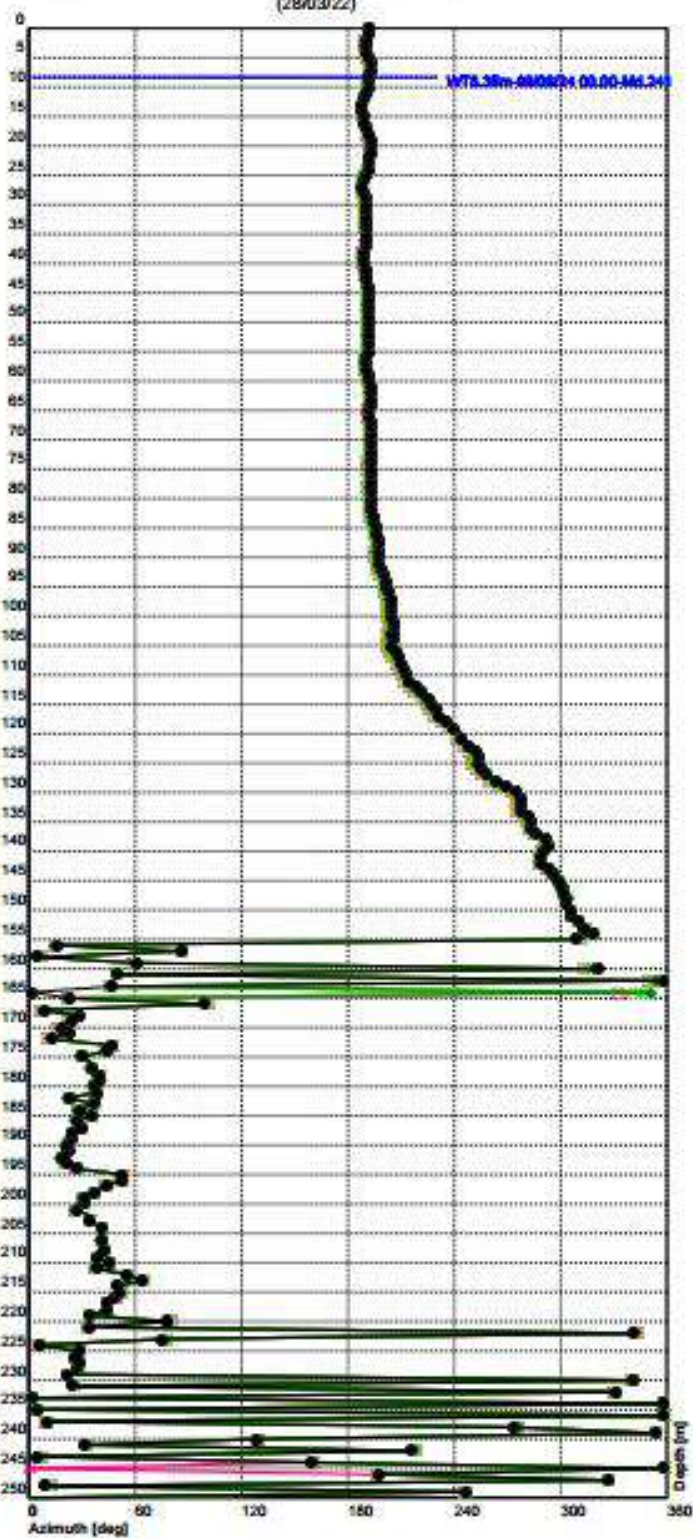
Client: BRASKEM
 Site: INC002
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 28/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 30°N
 (28/03/22)



Legend:
 01/04/2024 00.00 —●— 24/03/2024 00.00 —●—
 17/03/2024 00.00 —●— 10/03/2024 00.00 —●—
 03/03/2024 00.00 —●—

DMS BRK002-250-0421: Azimuth displacement Report N. 4 - 01/04/2024 00:00

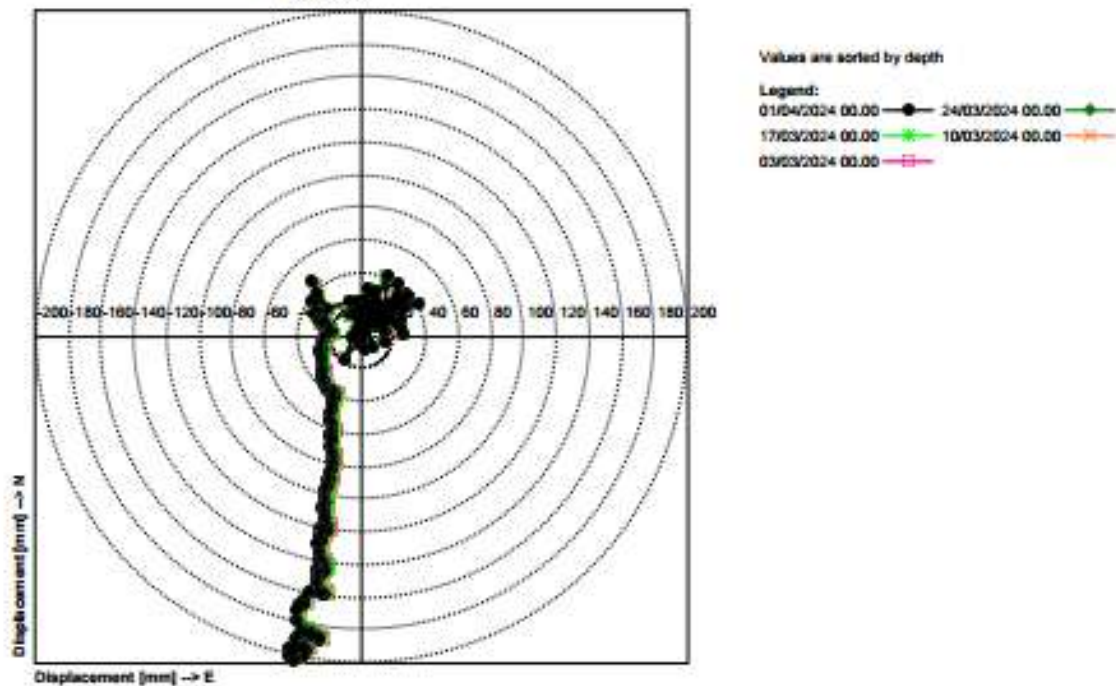
Client: BRASKEM
Site: INC002
Project: Macaê
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 28/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 12:30
Notes: Revised Direction P+ 30°N
(28/03/22)



Legend:
01/04/2024 00:00 ● 24/03/2024 00:00 ●
17/03/2024 00:00 ● 10/03/2024 00:00 ●
03/03/2024 00:00 ●

DMS BRK002-250-0421: Polar graph - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC002
Project: Macaê
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 28/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 12.30
Notes: Revised Direction P+ 30°N
(28/03/22)

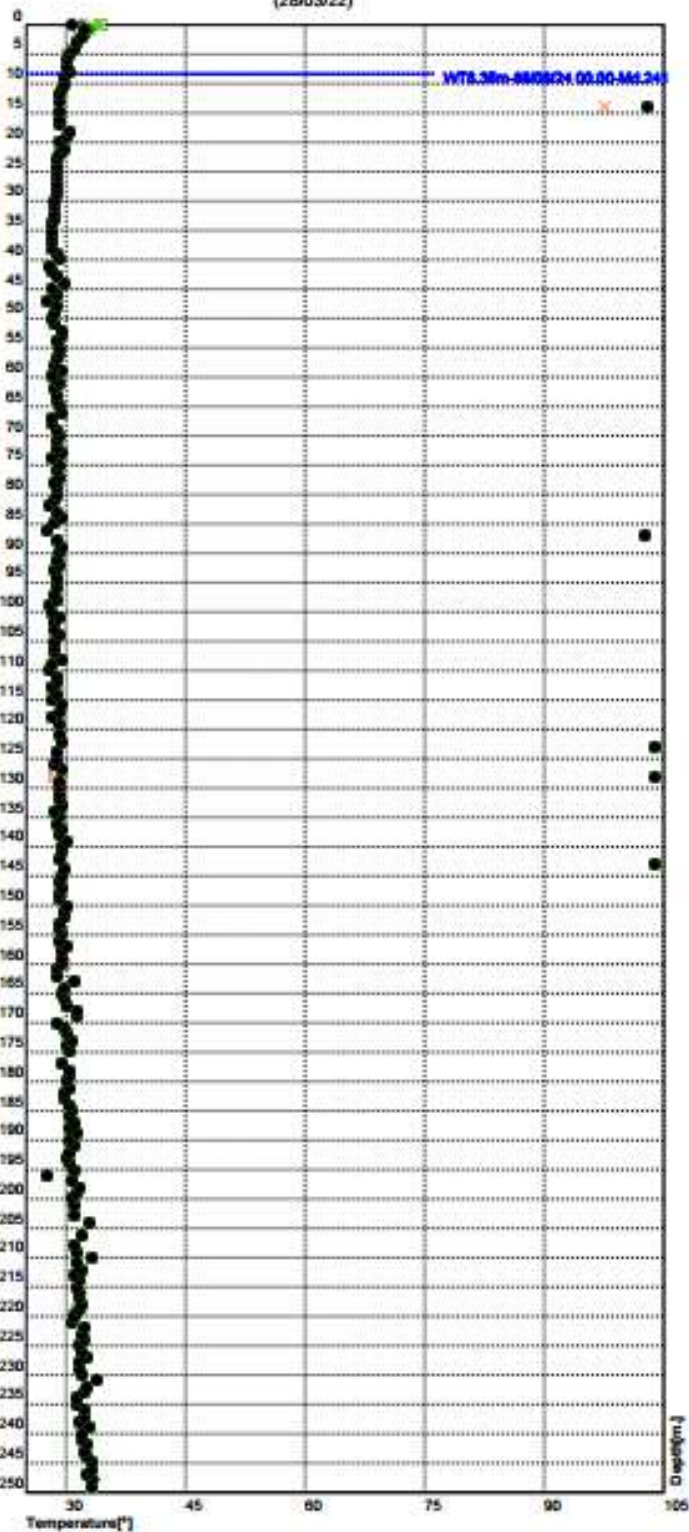


DMS BRK002-250-0421: Temperature

77

DMS BRK002-250-0421: Temperature Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC002
Project: Maceió
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 28/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 12.30
Notes: Revised Direction P+ 30°N
(28/03/22)

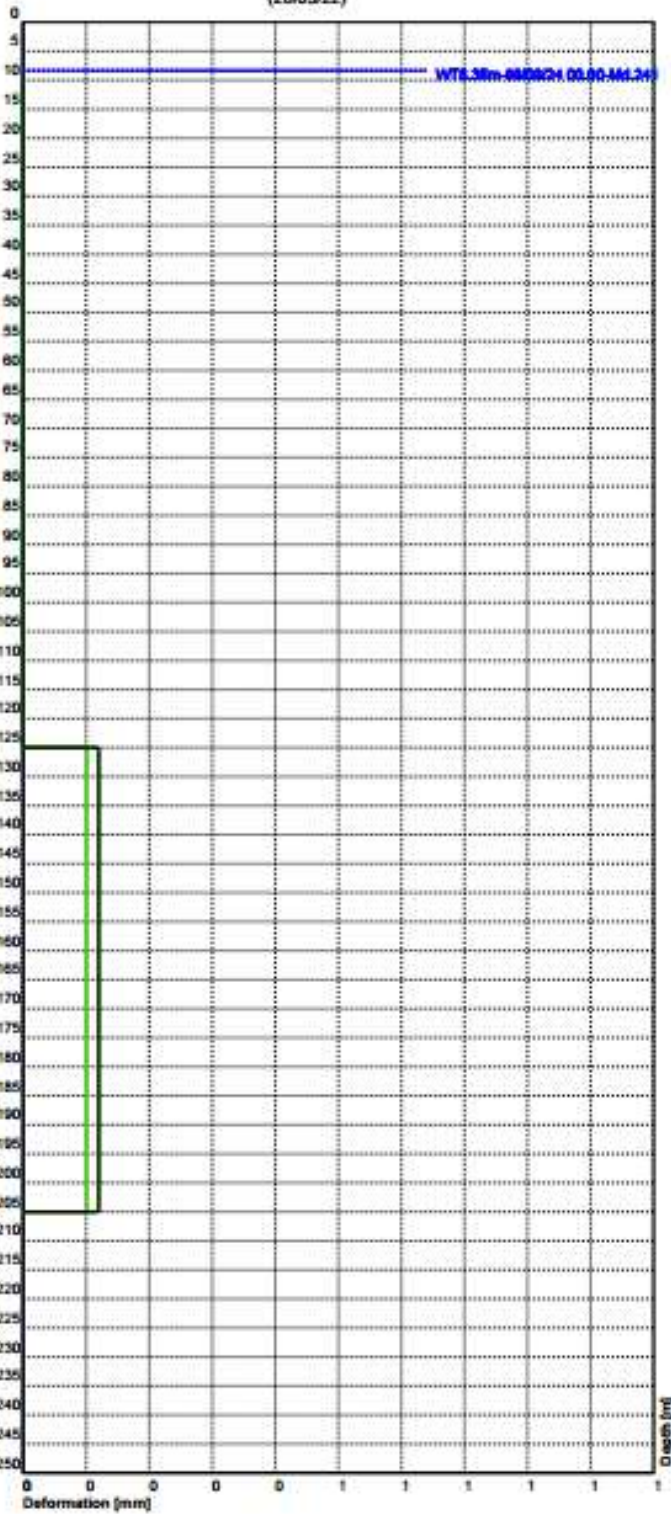


Legend:
01/04/2024 00.00 24/03/2024 00.00
17/03/2024 00.00 10/03/2024 00.00
03/03/2024 00.00

DMS INC002: Deformations [mm]

Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC002
Project: Macaib
Monitoring Interval: 0-250 m bgli
Installation date: 28/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 12.30
Notes: Revised Direction P+ 30°N
(28/03/22)



Legend:
01/04/2024 00.00 —●— 24/03/2024 00.00 —●—
17/03/2024 00.00 —●— 10/03/2024 00.00 —●—
03/03/2024 00.00 —●—

DMS BRK002-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC002
 Project: Macaê
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 28/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 30°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
249.00	0	0.07	-0.05	-0.59	-1.37	1.49	246.66	33.10	-
248.00	1	-0.11	0.03	0.72	0.11	0.72	8.48	33.30	-
247.00	2	-0.07	-0.21	3.71	-2.37	4.40	327.38	32.60	-
246.00	3	0.35	0.30	-4.32	-1.40	4.55	198.00	33.10	-
245.00	4	-0.45	-0.21	4.32	-0.16	4.32	357.86	33.30	-
244.00	5	0.45	0.50	-7.13	2.59	7.59	160.07	32.50	-
243.00	6	-1.39	-1.00	22.70	1.87	22.78	4.71	32.20	-
242.00	7	2.09	0.62	-13.48	-9.70	16.61	215.74	32.60	-
241.00	8	-1.37	-0.02	6.19	3.87	7.30	32.00	32.10	-
240.00	9	0.43	0.56	-5.78	7.13	9.18	129.03	32.00	-
239.00	10	-0.88	-1.44	22.06	-2.68	22.22	353.08	33.00	-
238.00	11	1.06	0.67	0.35	-5.35	5.36	273.71	31.60	-
237.00	12	-0.80	-0.09	12.23	2.20	12.42	10.20	32.20	-
236.00	13	0.20	-0.03	9.87	-0.36	9.87	357.94	32.30	-
235.00	14	-0.21	-0.06	13.39	1.13	13.44	4.81	31.30	-
234.00	15	-0.15	-0.28	18.60	-0.72	18.61	357.78	31.30	-
233.00	16	0.02	0.12	16.94	0.53	16.95	1.78	32.30	-
232.00	17	0.46	-0.22	13.66	-7.72	15.69	330.52	32.50	-
231.00	18	-0.17	0.71	7.16	3.17	7.83	23.85	34.00	-
230.00	19	0.05	-0.64	14.68	-5.11	15.54	340.82	32.00	-
229.00	20	-0.57	0.38	16.71	6.58	17.96	21.50	31.80	-
228.00	21	-0.21	0.04	18.76	9.78	21.16	27.55	31.80	-
227.00	22	0.12	0.06	16.46	9.03	18.77	28.74	32.60	-
226.00	23	0.03	-0.04	16.74	8.19	18.64	26.06	32.10	-
225.00	24	0.01	0.04	16.13	8.55	18.26	27.94	31.70	-
224.00	25	0.03	-0.49	22.19	2.45	22.33	6.30	32.20	-
223.00	26	-0.38	1.49	6.35	24.14	24.96	75.25	32.00	-
222.00	27	0.85	-1.80	21.26	-7.26	22.47	341.14	32.30	-
221.00	28	-1.73	0.54	33.06	22.11	39.77	33.77	30.80	-
220.00	29	1.39	1.09	3.18	14.89	15.23	77.94	30.90	-
219.00	30	-0.41	-0.80	18.70	12.65	22.57	34.08	31.60	-
218.00	31	-0.06	0.21	16.27	15.65	22.57	43.88	31.90	-
217.00	32	-0.05	-0.01	16.95	16.30	23.52	43.88	31.80	-
216.00	33	-0.15	0.09	17.08	19.28	25.76	48.46	31.70	-
215.00	34	0.13	0.10	14.43	18.22	23.24	51.62	31.50	-
214.00	35	-0.51	-0.14	20.78	24.79	32.35	50.04	31.80	-
213.00	36	0.31	0.44	11.47	23.74	26.36	64.22	30.90	-
212.00	37	-0.20	-0.25	16.96	24.84	30.08	55.68	32.00	-
211.00	38	0.45	-0.38	19.05	14.85	24.15	37.94	31.20	-
210.00	39	-0.33	0.09	20.18	20.61	28.84	45.60	33.10	-
209.00	40	0.40	-0.04	17.80	14.06	22.69	38.30	31.40	-
208.00	41	-0.14	0.03	18.27	16.60	24.69	42.25	30.90	-
206.00	43	-0.07	-0.09	20.16	17.29	26.56	40.60	32.00	-
204.00	45	-0.37	-0.17	25.26	22.21	33.63	41.32	32.80	-
203.00	46	0.81	0.30	15.44	10.76	18.82	34.88	30.90	-
201.00	48	0.29	0.08	12.69	6.35	14.19	26.57	30.90	-
200.00	49	-0.01	0.09	11.27	6.91	13.22	31.51	30.60	-
199.00	50	0.02	0.01	10.99	6.70	12.87	31.36	31.20	-
198.00	51	-0.13	-0.02	11.77	8.90	14.76	37.09	31.60	-
197.00	52	-0.05	0.09	10.49	10.04	14.52	43.75	30.80	-
196.00	53	-0.03	0.13	8.35	10.99	13.80	52.76	27.60	-
195.00	54	0.12	0.05	7.06	9.09	11.51	52.18	31.00	-

DMS BRK002-250-0421: Data table - Cumulative**Report N. 4 - 01/04/2024 00.00**

Client: BRASKEM
 Site: INC002
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 28/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 30°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm]
194.00	55	-0.09	-0.54	16.60	8.59	18.69	27.37	30.50	-
193.00	56	-0.04	-0.28	21.58	8.28	23.12	20.98	30.20	-
192.00	57	0.12	0.10	19.46	6.63	20.56	18.83	30.40	-
191.00	58	-0.07	0.02	19.37	7.92	20.92	22.24	30.90	-
190.00	59	-0.01	-0.04	19.99	7.90	21.49	21.56	30.50	-
189.00	60	-0.01	0.08	18.64	8.46	20.47	24.41	31.20	-
188.00	61	-0.04	-0.04	19.42	8.98	21.40	24.80	30.40	-
187.00	62	-0.01	0.14	17.09	9.61	19.61	29.35	31.10	-
186.00	63	-0.04	-0.12	19.25	9.87	21.63	27.14	30.40	-
185.00	64	-0.01	0.25	14.99	10.76	18.45	35.66	30.80	-
184.00	65	0.04	-0.18	18.09	9.61	20.49	27.98	30.30	-
183.00	66	-0.04	0.23	14.24	10.77	17.85	37.09	29.90	-
182.00	67	0.16	-0.23	18.11	7.64	19.65	22.87	29.90	-
181.00	68	-0.17	0.27	13.60	10.93	17.45	38.80	30.40	-
180.00	69	0.02	-0.03	14.06	10.53	17.57	36.84	30.00	-
179.00	70	0.03	0.10	12.37	10.07	15.96	39.15	30.30	-
178.00	71	0.00	0.02	12.06	10.09	15.72	39.91	30.40	-
177.00	72	0.10	0.00	11.88	8.42	14.56	35.32	29.60	-
175.00	74	0.12	0.05	10.84	6.41	12.59	30.61	30.50	-
174.00	75	-0.13	0.10	9.17	8.78	12.70	43.72	30.20	-
173.00	76	0.03	0.08	7.82	8.38	11.46	46.97	30.70	-
172.00	77	0.26	-0.48	16.08	3.67	16.49	12.85	30.00	-
171.00	78	-0.30	-0.34	21.89	9.14	23.72	22.66	29.80	-
170.00	79	0.16	0.15	19.20	6.37	20.23	18.34	28.90	-
169.00	80	-0.13	-0.02	19.50	8.57	21.30	23.73	31.20	-
168.00	81	-0.08	0.09	17.88	9.89	20.43	28.93	31.40	-
167.00	82	0.33	-0.70	30.21	4.34	30.52	8.18	30.20	-
166.00	83	-0.70	1.81	-2.33	13.93	14.12	99.50	29.70	-
165.00	84	0.23	-2.29	37.76	15.71	40.90	22.59	29.40	-
164.00	85	0.78	2.09	2.07	0.08	2.07	2.33	29.70	-
163.00	86	-1.45	-1.49	26.04	27.24	37.68	46.29	30.90	-
162.00	87	1.47	1.23	7.23	-0.33	7.24	357.40	28.80	-
161.00	88	-1.55	-1.18	24.50	28.95	37.93	49.76	29.00	-
160.00	89	1.68	1.40	3.81	-3.00	4.85	321.83	29.60	-
159.00	90	-2.06	-1.14	19.81	34.95	40.17	60.46	29.60	0.12
158.00	91	1.90	0.15	21.52	1.71	21.59	4.55	29.40	-
157.00	92	-1.49	0.98	1.78	25.78	25.84	86.05	30.00	-
156.00	93	1.20	-1.37	27.98	7.81	29.04	15.60	29.30	-
155.00	94	-0.96	1.49	16.74	-20.92	26.80	308.66	29.50	-
154.00	95	0.65	-0.93	34.32	-30.18	45.70	318.67	29.30	-
153.00	96	-0.20	0.44	26.32	-27.75	38.25	313.48	29.10	-
152.00	97	0.05	0.13	24.27	-28.86	37.71	310.07	29.70	-
151.00	98	0.08	0.16	21.72	-30.65	37.57	305.32	29.70	-
150.00	99	-0.15	0.06	20.22	-28.29	34.77	305.56	30.10	-
149.00	100	-0.09	0.14	17.62	-27.10	32.33	303.04	29.30	-
148.00	101	-0.07	0.01	17.26	-25.97	31.18	303.61	29.30	-
147.00	102	0.07	0.03	16.97	-27.26	32.11	301.90	29.40	-
146.00	103	-0.04	0.06	15.83	-26.64	30.99	300.72	29.20	-
145.00	104	0.07	0.03	15.47	-27.89	31.89	299.02	29.40	-
144.00	105	0.07	0.09	14.13	-29.29	32.52	295.75	29.80	-
143.00	106	-0.18	0.13	11.33	-26.58	28.90	293.08	103.80	-
142.00	107	-0.02	0.14	8.94	-26.66	28.12	288.54	29.30	-

DMS BRK002-250-0421: Data table - Cumulative**Report N. 4 - 01/04/2024 00.00**

Client: BRASKEM
 Site: INC002
 Project: Maceló
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 28/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 30°N
 (28/03/22)

DEPTH (m bgl)	MODULE ID	PITCH (°)	ROLL (°)	NORTH DISPL. (mm)	EAST DISPL. (mm)	MODULE (mm)	AZIMUTH (°)	TEMPERATURE (°C)	Deformations (mm) (mm)
141.00	108	-0.12	0.03	8.16	-24.72	26.03	288.27	29.40	-
140.00	109	-0.05	-0.03	8.50	-23.76	25.23	289.69	29.50	-
139.00	110	0.03	-0.09	10.15	-23.98	26.04	292.94	30.20	-
138.00	111	-0.08	0.06	8.99	-22.79	24.50	291.52	29.20	-
137.00	112	-0.14	0.15	6.03	-20.62	21.48	286.30	29.50	-
136.00	113	-0.05	0.06	4.87	-20.01	20.60	283.69	29.00	-
135.00	114	0.02	0.02	4.64	-20.46	20.98	282.79	29.20	-
134.00	115	-0.06	0.02	4.06	-19.57	19.98	281.71	28.60	-
133.00	116	-0.08	0.07	2.62	-18.51	18.69	278.07	29.60	-
132.00	117	0.02	0.00	2.70	-18.90	19.09	278.13	29.10	-
131.00	118	0.06	0.01	2.81	-19.97	20.17	278.02	29.30	-
130.00	119	0.09	0.07	1.94	-21.73	21.82	275.10	29.30	-
129.00	120	0.06	0.16	-0.58	-23.42	23.42	268.57	29.30	-
128.00	121	0.00	0.14	-2.85	-24.08	24.25	263.26	103.80	-
127.00	122	0.01	0.13	-5.09	-24.76	25.28	258.39	29.50	-
126.00	123	-0.02	0.08	-6.57	-24.69	25.55	255.09	28.50	-
125.00	124	-0.05	0.03	-7.23	-23.94	25.01	253.20	28.70	-
124.00	125	0.04	0.00	-7.04	-24.62	25.60	254.05	28.90	-
123.00	126	0.05	0.09	-8.34	-25.77	27.09	252.06	103.80	-
122.00	127	-0.03	0.09	-10.06	-25.67	27.57	248.60	29.60	-
121.00	128	-0.08	0.09	-12.00	-24.86	27.60	244.24	29.10	-
119.00	130	-0.04	0.13	-14.35	-24.98	28.81	240.13	29.20	-
118.00	131	-0.08	0.11	-16.62	-24.36	29.49	235.68	28.30	-
117.00	132	-0.06	0.12	-18.90	-24.07	30.60	231.85	29.30	-
116.00	133	-0.03	0.09	-20.54	-24.06	31.63	229.52	29.60	-
115.00	134	-0.03	0.10	-22.40	-24.31	33.05	227.34	28.20	-
114.00	135	-0.03	0.13	-24.61	-24.71	34.88	225.12	28.80	-
113.00	136	-0.12	0.11	-27.13	-23.48	35.88	220.87	28.30	-
112.00	137	-0.09	0.08	-29.00	-22.56	36.74	217.88	28.90	-
111.00	138	-0.10	0.11	-31.53	-21.83	38.35	214.70	28.80	-
110.00	139	-0.05	0.04	-32.40	-21.30	38.77	213.32	27.80	-
109.00	140	-0.06	-0.02	-32.40	-20.22	38.19	211.97	28.10	-
108.00	141	-0.05	-0.03	-32.36	-19.25	37.65	210.75	29.50	-
107.00	142	-0.10	0.02	-33.34	-17.84	37.81	208.15	28.60	-
106.00	143	-0.06	0.01	-33.86	-16.95	37.87	206.60	28.60	-
105.00	144	-0.06	0.00	-34.34	-16.10	37.92	205.12	28.60	-
104.00	145	0.01	0.04	-34.78	-16.62	38.55	205.54	29.30	-
103.00	146	-0.02	0.02	-35.20	-16.53	38.89	205.16	28.50	-
102.00	147	0.03	0.00	-34.96	-17.04	38.90	205.99	28.60	-
101.00	148	-0.01	0.01	-35.18	-16.92	39.03	205.68	29.20	-
100.00	149	-0.04	0.05	-36.29	-16.63	39.92	204.62	28.10	-
99.00	150	0.00	0.05	-37.08	-17.07	40.83	204.72	27.80	-
98.00	151	0.00	0.05	-37.78	-17.69	41.72	205.08	28.80	-
97.00	152	-0.08	0.13	-40.49	-18.02	44.32	204.00	28.50	-
96.00	153	-0.13	0.18	-44.24	-18.45	47.93	202.63	28.80	-
95.00	154	-0.07	0.17	-47.31	-19.40	51.14	202.30	28.70	-
94.00	155	-0.05	0.11	-49.35	-20.20	53.32	202.26	29.00	-
93.00	156	-0.13	0.05	-51.54	-19.07	54.95	200.30	28.60	-
92.00	157	-0.12	0.06	-53.70	-18.26	56.72	198.78	29.20	-
91.00	158	-0.09	0.08	-55.86	-18.16	58.74	198.00	29.00	-
90.00	159	-0.10	0.09	-58.12	-18.03	60.85	197.23	29.30	-
89.00	160	-0.08	0.09	-60.24	-18.35	62.97	196.94	29.50	0.12

DMS BRK002-250-0421: Data table - Cumulative**Report N. 4 - 01/04/2024 00.00**

Client: BRASKEM
 Site: INC002
 Project: Macelê
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 28/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 30°N
 (28/03/22)

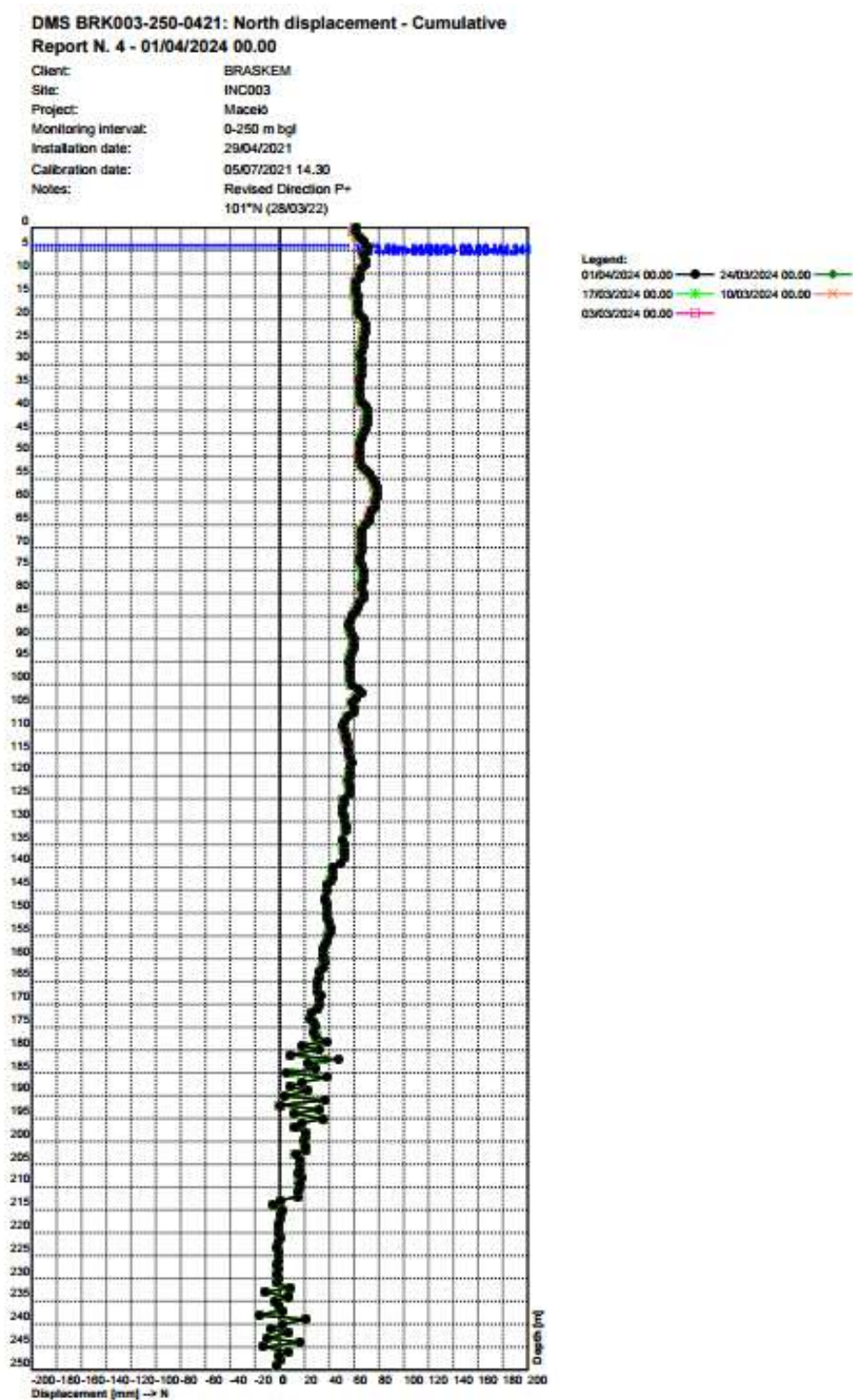
DEPTH (m bgl)	MODULE ID	PITCH (°)	ROLL (°)	NORTH DISPL. (mm)	EAST DISPL. (mm)	MODULE (mm)	AZIMUTH (°)	TEMPERATURE (°C)	Deformations (mm) (mm)
88.00	161	0.08	0.00	-59.13	-19.32	62.21	198.09	28.70	-
87.00	162	-0.05	0.04	-60.25	-19.34	63.28	197.79	102.70	-
86.00	163	-0.15	0.09	-63.21	-18.87	65.96	196.62	27.60	-
85.00	164	-0.13	0.13	-65.50	-19.18	69.21	196.09	28.60	-
84.00	165	-0.15	0.10	-69.65	-18.76	72.13	195.08	29.40	-
83.00	166	-0.11	0.05	-71.73	-18.19	74.00	194.23	28.50	-
82.00	167	-0.05	0.01	-72.50	-17.72	74.63	193.73	27.90	-
81.00	168	-0.09	0.04	-74.19	-17.39	76.20	193.20	28.50	-
80.00	169	-0.03	0.04	-75.12	-17.66	77.17	193.23	28.80	-
79.00	170	-0.05	0.04	-76.25	-17.79	78.30	193.13	28.90	-
78.00	171	-0.07	0.05	-77.84	-17.63	79.81	192.76	28.60	-
77.00	172	-0.08	0.15	-80.57	-18.70	82.71	193.07	29.10	-
76.00	173	-0.08	0.14	-83.20	-19.80	85.53	193.39	28.80	-
75.00	174	-0.12	0.06	-85.45	-19.25	87.59	192.69	29.30	-
74.00	175	-0.05	0.07	-86.96	-19.58	89.14	192.69	28.30	-
73.00	176	-0.01	0.07	-87.91	-20.51	90.27	193.13	29.60	-
72.00	177	-0.07	0.07	-89.57	-20.73	91.94	193.03	29.00	-
71.00	178	-0.05	0.07	-90.98	-21.09	93.39	193.05	28.80	-
70.00	179	-0.07	0.06	-92.58	-21.24	94.98	192.92	29.20	-
69.00	180	-0.03	0.12	-94.07	-22.80	96.79	193.63	29.00	-
68.00	181	-0.11	0.09	-96.49	-23.12	99.22	193.48	28.20	-
67.00	182	-0.09	0.06	-98.42	-23.10	101.10	193.21	28.30	-
66.00	183	-0.11	0.02	-100.18	-22.17	102.60	192.48	29.40	-
65.00	184	-0.09	0.07	-102.17	-22.34	104.59	192.34	29.10	-
64.00	185	-0.01	0.06	-102.84	-23.09	105.40	192.66	28.80	-
63.00	186	-0.02	0.08	-103.92	-24.11	106.68	193.06	28.90	-
62.00	187	-0.06	0.03	-105.14	-24.01	107.84	192.86	28.50	-
61.00	188	-0.07	0.02	-106.33	-23.62	108.92	192.52	29.10	-
60.00	189	-0.10	0.04	-108.13	-23.38	110.63	192.20	28.20	-
59.00	190	-0.18	0.07	-111.49	-22.80	113.80	191.56	29.40	-
58.00	191	-0.25	0.04	-115.57	-21.19	117.49	190.39	28.40	-
57.00	192	-0.17	0.06	-118.72	-20.84	120.53	189.96	28.70	-
56.00	193	0.00	0.06	-119.23	-21.76	121.20	190.34	29.10	-
55.00	194	0.16	0.06	-117.37	-24.01	119.80	191.56	29.20	-
54.00	195	0.04	0.05	-117.14	-25.21	119.83	192.15	28.80	-
53.00	196	-0.09	0.03	-118.85	-24.92	121.43	191.84	29.50	-
52.00	197	-0.16	0.06	-121.81	-24.42	124.24	191.34	29.40	-
51.00	198	-0.02	0.08	-122.73	-25.45	125.35	191.72	28.40	-
50.00	199	0.05	0.00	-121.92	-25.85	124.63	191.97	28.20	-
49.00	200	0.01	-0.04	-121.46	-25.20	124.05	191.72	28.60	-
48.00	201	-0.06	-0.02	-122.32	-24.39	124.73	191.27	28.70	-
47.00	202	-0.11	0.09	-124.64	-24.89	127.10	191.29	27.70	-
46.00	203	-0.09	0.16	-127.08	-26.89	129.89	191.95	28.90	-
45.00	204	-0.19	0.07	-130.64	-26.73	133.35	191.56	28.30	-
44.00	205	-0.15	0.05	-133.37	-26.37	135.96	191.19	29.70	-
43.00	206	-0.14	0.07	-136.04	-26.59	138.62	191.06	29.00	-
42.00	207	-0.06	-0.02	-136.96	-25.89	139.38	190.71	28.20	-
41.00	208	-0.06	-0.11	-137.19	-23.66	139.22	189.79	28.00	-
40.00	209	-0.21	0.00	-140.50	-22.25	142.25	189.00	29.10	0.12
39.00	210	-0.12	0.04	-142.74	-22.26	144.47	188.86	28.70	-
38.00	211	-0.04	0.09	-143.94	-23.56	145.86	189.30	28.10	-
37.00	212	0.07	0.17	-143.31	-26.75	145.78	190.57	28.20	-

DMS BRK002-250-0421: Data table - Cumulative**Report N. 4 - 01/04/2024 00.00**

Client: BRASKEM
 Site: INC002
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 28/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 30°N
 (28/03/22)

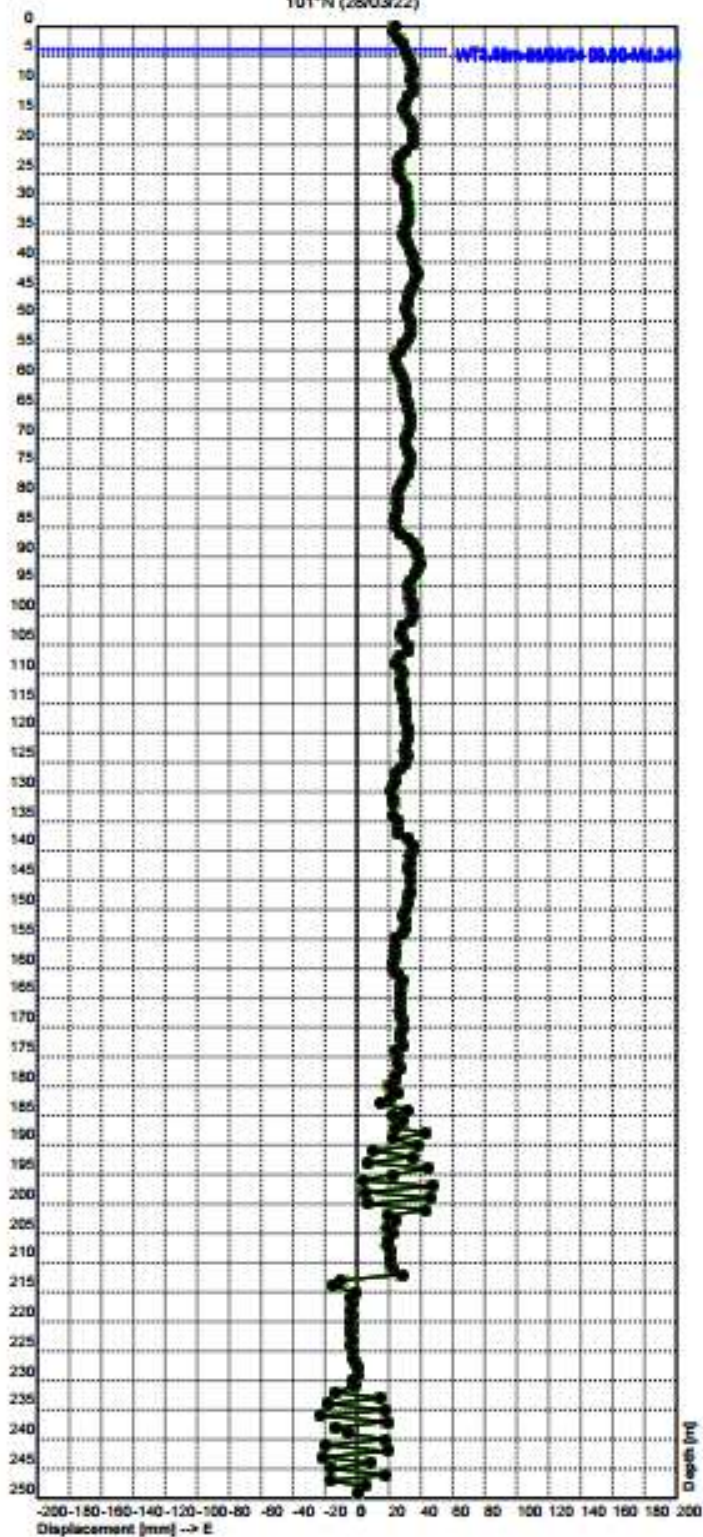
DEPTH (m bgl)	MODULE ID	PITCH (°)	ROLL (°)	NORTH DISPL. (mm)	EAST DISPL. (mm)	MODULE (mm)	AZIMUTH (°)	TEMPERATURE (°C)	Informations (mm)
36.00	213	0.04	0.05	-142.84	-27.77	145.52	191.00	28.20	-
35.00	214	-0.07	0.01	-144.04	-27.70	146.68	190.88	28.30	-
34.00	215	-0.13	-0.07	-146.01	-25.93	148.29	190.07	28.10	-
33.00	216	-0.05	0.01	-146.93	-25.93	149.20	190.01	28.40	-
32.00	217	0.03	0.06	-146.67	-27.03	149.15	190.44	28.40	-
31.00	218	-0.06	0.00	-147.64	-26.98	150.08	190.36	28.40	-
30.00	219	-0.13	0.02	-149.86	-27.14	152.30	190.26	28.60	-
29.00	220	-0.20	0.05	-153.37	-27.69	155.85	190.23	28.80	-
28.00	221	-0.27	-0.14	-157.73	-24.73	159.65	188.91	29.00	-
27.00	222	-0.06	-0.11	-158.46	-22.65	160.07	188.13	28.80	-
26.00	223	0.11	0.04	-156.69	-23.68	158.47	188.59	28.90	-
25.00	224	0.05	0.18	-156.06	-26.94	158.37	189.80	28.90	-
24.00	225	0.00	0.26	-156.23	-31.50	159.37	191.40	28.90	-
23.00	226	-0.23	0.22	-160.36	-35.23	164.18	192.39	29.00	-
22.00	227	-0.25	0.02	-164.71	-35.80	168.56	192.26	29.10	-
21.00	228	-0.01	0.18	-164.54	-39.01	169.10	193.34	29.80	-
20.00	229	-0.19	0.00	-167.85	-39.58	172.45	193.27	29.10	-
19.00	230	-0.35	-0.04	-173.97	-39.44	178.38	192.77	30.00	0.12
18.00	231	-0.33	-0.19	-180.20	-37.43	184.06	191.73	30.50	-
17.00	232	-0.09	-0.23	-182.76	-34.04	185.90	190.55	29.20	-
16.00	233	0.15	-0.17	-180.76	-30.65	183.34	189.62	29.10	-
15.00	234	-0.16	-0.19	-184.26	-27.97	186.37	188.63	29.20	-
14.00	235	-0.10	-0.13	-186.49	-26.17	188.32	187.99	103.10	-
13.00	236	0.10	0.07	-184.35	-26.71	186.27	188.24	29.30	-
12.00	237	0.04	0.26	-182.34	-30.74	184.91	189.57	29.20	-
11.00	238	0.09	0.26	-179.65	-34.69	182.97	190.93	29.40	-
10.00	239	-0.03	0.10	-179.61	-36.48	183.28	191.48	29.70	-
9.00	240	-0.10	0.01	-181.25	-37.21	185.03	191.60	29.80	-
8.00	241	-0.22	0.11	-184.28	-40.36	188.65	192.35	30.50	-
7.00	242	-0.39	0.07	-190.09	-44.17	195.15	193.08	30.10	-
6.00	243	-0.29	-0.14	-195.76	-44.06	200.65	192.69	30.20	-
5.00	244	-0.05	-0.22	-198.23	-41.01	202.43	191.69	30.40	-
4.00	245	0.26	-0.19	-195.89	-35.90	199.15	190.39	31.00	-
3.00	246	0.26	-0.04	-192.24	-33.21	195.09	189.80	31.50	-
2.00	247	0.07	0.14	-189.98	-34.70	193.12	190.35	32.10	-
1.00	248	-0.15	0.31	-189.49	-40.67	193.81	192.11	32.30	-
0.00	249	-0.15	-0.07	-192.38	-40.97	196.70	192.02	30.60	-

DMS BRK003-250-0421
 Report No.4 – 01/04/2024 00.00
 Contractor: BRASKEM
 Website: INC003
 Project: Maceiô
 Evaluated by: C.S.G.



DMS BRK003-250-0421: East displacement - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

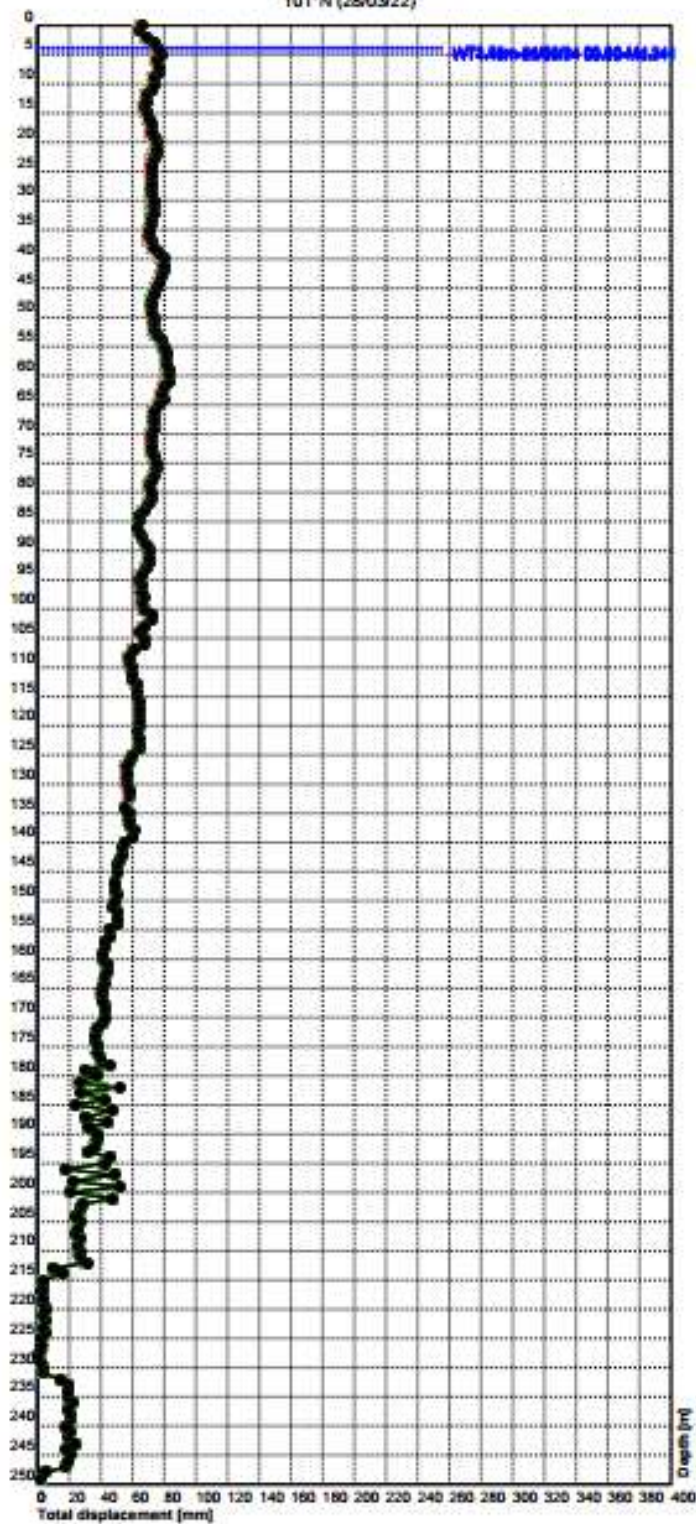
Client: BRASKEM
 Site: INC003
 Project: Maceló
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 29/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 14.30
 Notes: Revised Direction P+
 101°N (28/03/22)



Legend:
 01/04/2024 00.00 —●— 24/03/2024 00.00 —●—
 17/03/2024 00.00 —●— 10/03/2024 00.00 —●—
 03/03/2024 00.00 —●—

DMS BRK003-250-0421: Module displacement - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

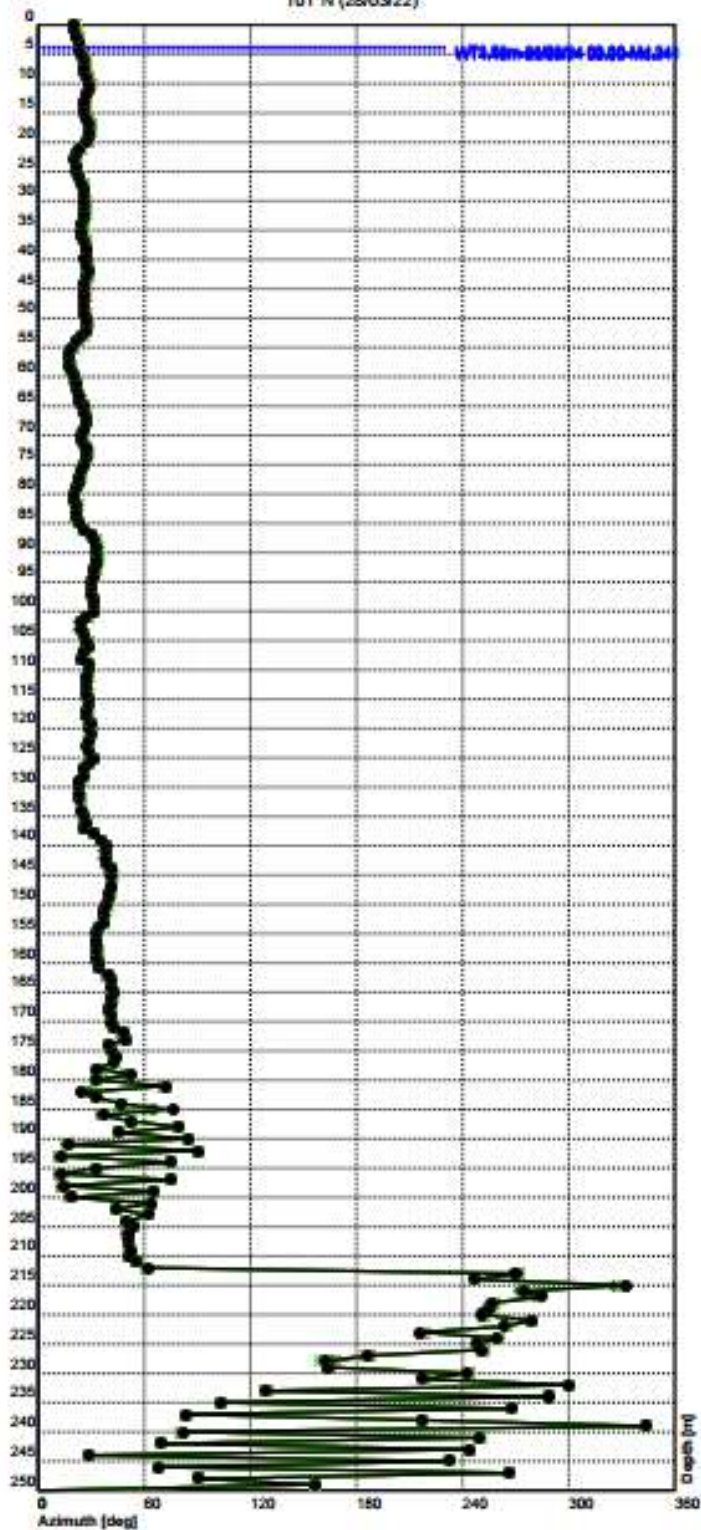
Client: BRASKEM
 Site: INC003
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 29/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 14.30
 Notes: Revised Direction P+
 101°N (28/03/22)



Legend:
 01/04/2024 00.00 ● 24/03/2024 00.00 ●
 17/03/2024 00.00 ● 10/03/2024 00.00 ●
 03/03/2024 00.00 ●

DMS BRK003-250-0421: Azimuth displacement Report N. 4 - 01/04/2024 00:00

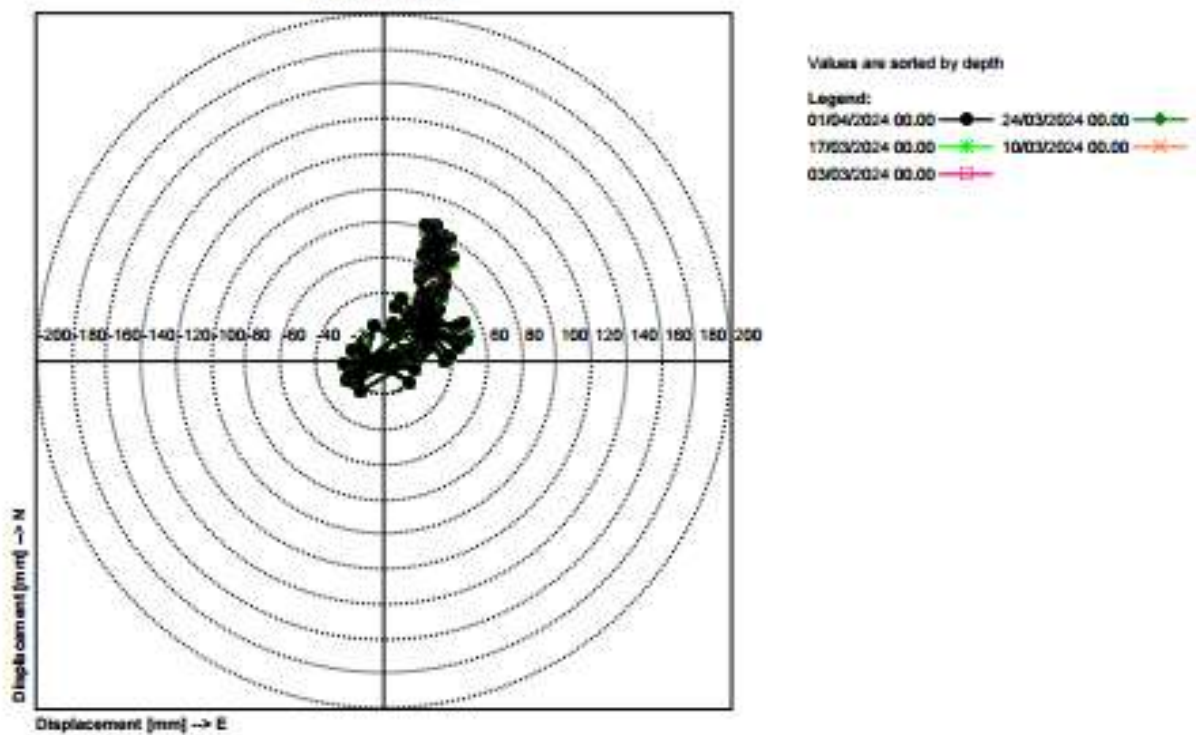
Client: BRASKEM
Site: INC003
Project: Macaé
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 29/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 14:30
Notes: Revised Direction P+
101°N (28/03/22)



Legend:
01/04/2024 00:00 24/03/2024 00:00
17/03/2024 00:00 10/03/2024 00:00
03/03/2024 00:00

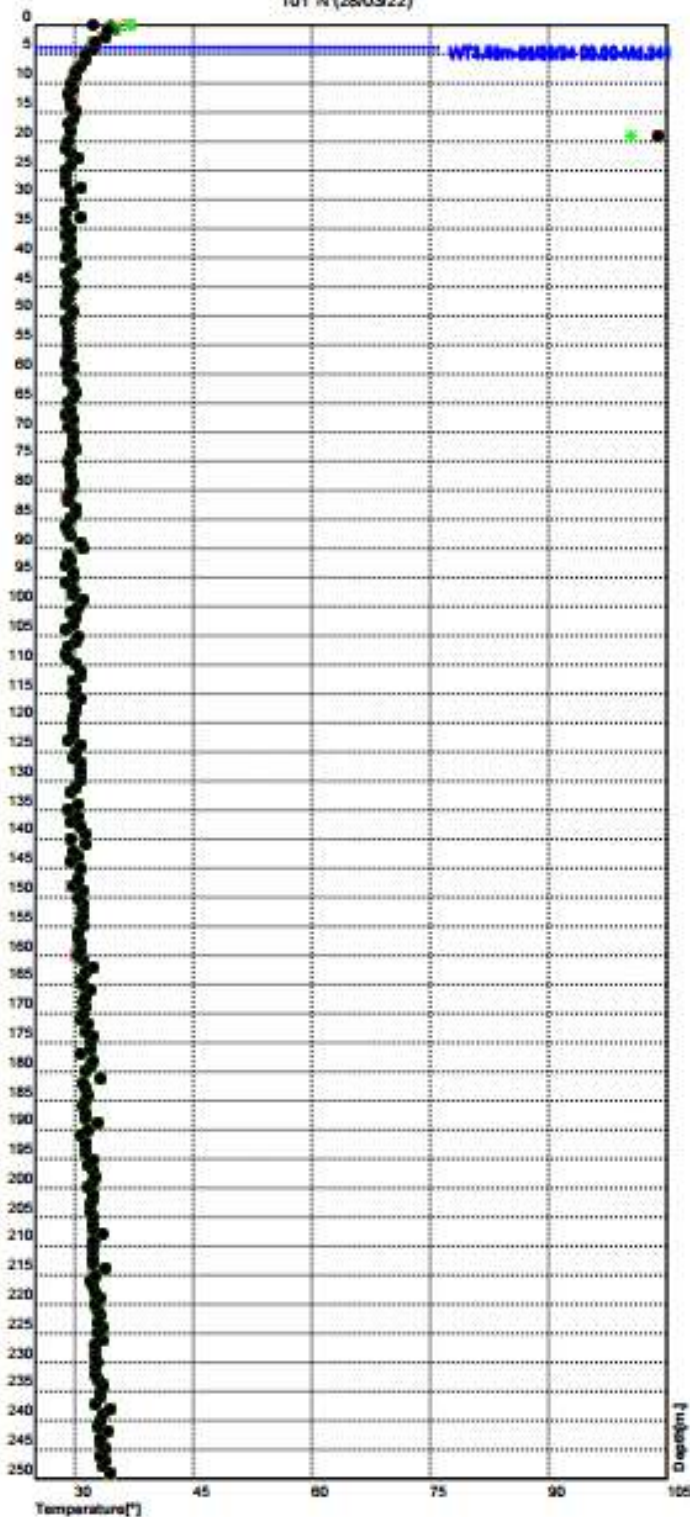
DMS BRK003-250-0421: Polar graph - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC003
Project: Macaé
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 29/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 14.30
Notes: Revised Direction P+
101°N (28/03/22)



DMS BRK003-250-0421: Temperature Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

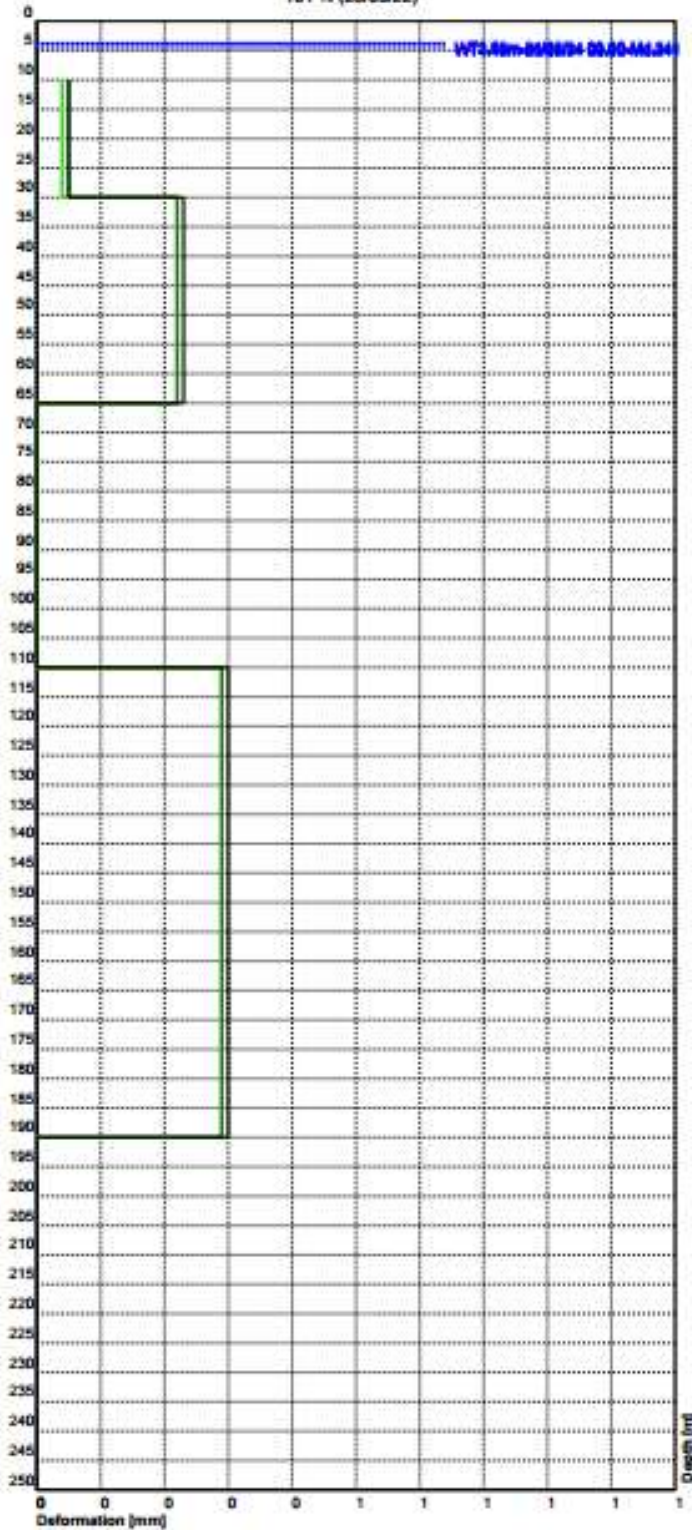
Client: BRASKEM
Site: INC003
Project: Macaé
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 29/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 14.30
Notes: Revised Direction P+
101°N (28/03/22)



Legend:
01/04/2024 00.00 24/03/2024 00.00
17/03/2024 00.00 10/03/2024 00.00
03/03/2024 00.00

DMS INC003: Deformations [mm]
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC003
Project: Maceió
Monitoring Interval: 0-250 m bgl
Installation date: 29/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 14.30
Notes: Revised Direction P+
101°N (28/03/22)



DMS BRK003-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC003
 Project: Macaib
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 29/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 14.30
 Notes: Revised Direction P+
 101°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
249.00	0	0.02	-0.14	-2.20	0.95	2.40	156.57	34.50	-
248.00	1	0.30	0.05	-0.07	5.83	5.83	90.65	33.60	-
247.00	2	-1.30	0.28	-0.93	-17.31	17.34	266.91	33.90	-
246.00	3	2.06	-0.09	7.32	17.62	19.08	67.44	33.30	-
245.00	4	-2.19	-0.58	-12.77	-16.45	20.82	232.17	33.80	-
244.00	5	1.90	1.12	16.18	8.88	18.45	28.77	33.30	-
243.00	6	-2.10	-1.04	-10.56	-22.03	24.43	244.40	33.20	-
242.00	7	2.52	0.34	6.98	18.69	19.95	69.52	34.20	-
241.00	8	-2.32	-0.21	-7.07	-19.51	20.75	250.09	32.80	-
240.00	9	2.23	-0.01	2.73	18.24	18.44	81.49	33.30	-
239.00	10	-1.17	1.27	20.70	-6.08	21.57	343.64	33.60	-
238.00	11	-0.79	-2.04	-16.89	-12.76	21.17	217.08	34.50	-
237.00	12	1.97	0.71	1.95	18.60	18.70	84.02	32.70	-
236.00	13	-2.36	0.33	-0.80	-22.95	22.96	268.01	33.30	-
235.00	14	2.28	-0.65	-4.44	18.25	18.78	103.68	33.10	-
234.00	15	-1.94	1.04	6.16	-18.67	19.66	288.27	33.60	-
233.00	16	1.70	-1.37	-11.99	14.77	19.02	129.08	32.90	-
232.00	17	-1.37	1.40	7.75	-13.14	15.26	300.52	32.60	-
231.00	18	0.54	-0.69	-2.36	-1.75	2.94	216.52	32.70	-
230.00	19	-0.04	0.05	-1.41	-2.73	3.08	242.65	32.80	-
229.00	20	0.18	-0.10	-2.52	0.74	2.63	163.58	32.60	-
228.00	21	-0.01	0.10	-0.83	0.27	0.87	161.68	32.50	-
227.00	22	-0.04	-0.09	-2.45	-0.26	2.47	186.03	32.60	-
226.00	23	-0.12	0.11	-0.94	-2.63	2.79	250.21	33.60	-
225.00	24	0.02	0.00	-0.93	-2.35	2.52	248.34	32.80	-
224.00	25	-0.13	0.01	-0.81	-4.54	4.61	259.93	33.50	-
223.00	26	0.14	-0.12	-2.79	-2.06	3.47	216.39	33.00	-
222.00	27	-0.13	0.14	-0.46	-4.40	4.42	264.09	33.20	-
221.00	28	0.04	0.06	0.63	-3.77	3.82	279.43	33.00	-
220.00	29	-0.05	-0.12	-1.50	-4.43	4.68	251.34	32.50	-
219.00	30	0.08	0.04	-0.82	-3.12	3.23	255.36	33.20	-
218.00	31	-0.03	0.00	-0.84	-3.56	3.66	256.70	32.60	-
217.00	32	0.05	0.09	0.74	-2.72	2.82	285.21	32.30	-
216.00	33	-0.08	-0.02	0.32	-4.05	4.06	274.45	32.00	-
215.00	34	0.16	0.12	2.53	-1.33	2.86	332.31	32.50	-
214.00	35	-0.72	-0.55	-6.25	-14.56	15.85	246.77	33.70	-
213.00	36	0.26	0.36	-0.02	-9.92	9.92	269.88	32.30	-
212.00	37	2.16	0.90	14.82	28.06	31.74	62.15	32.30	-
211.00	38	-0.35	0.01	15.35	21.99	26.82	55.09	32.20	-
210.00	39	-0.08	0.06	16.37	20.63	26.33	51.56	32.40	-
209.00	40	0.01	-0.04	15.60	20.81	26.01	53.15	32.40	-
208.00	41	0.03	0.11	17.47	21.53	27.73	50.95	33.40	-
207.00	42	-0.13	-0.14	15.23	18.99	24.34	51.26	32.20	-
206.00	43	0.05	0.09	16.54	20.09	26.02	50.53	32.30	-
205.00	44	0.12	0.02	16.45	22.20	27.63	53.46	32.30	-
204.00	45	-0.18	-0.08	15.73	18.89	24.58	50.22	32.00	-
203.00	46	0.34	-0.14	12.49	24.42	27.43	62.91	31.90	-
202.00	47	-0.32	0.41	20.43	19.86	28.49	44.19	32.30	-
201.00	48	1.31	0.27	21.07	43.24	48.10	64.02	32.40	-
200.00	49	-2.05	-0.45	19.49	6.65	20.60	18.83	31.70	-
199.00	50	2.24	0.49	21.51	46.66	51.37	65.25	32.30	-
198.00	51	-2.33	-0.37	21.37	5.51	22.07	14.47	32.50	-

DMS BRK003-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC003
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 29/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 14.30
 Notes: Revised Direction P+
 101°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm]
197.00	52	2.43	-0.16	12.32	47.07	48.65	75.33	32.20	-
196.00	53	-2.48	-0.09	17.20	3.95	17.64	12.94	31.60	-
195.00	54	0.92	1.18	35.43	22.72	42.08	32.67	32.40	-
194.00	55	1.52	-1.09	11.49	44.89	46.34	75.64	31.30	-
193.00	56	-2.34	0.69	31.34	7.24	32.16	13.02	31.40	-
192.00	57	2.02	-1.34	-0.06	35.68	35.68	90.10	31.40	-
191.00	58	-1.90	1.63	35.80	10.74	37.38	16.71	30.80	-
190.00	59	1.95	-1.43	3.42	37.70	37.85	84.81	31.70	-
189.00	60	-1.12	0.82	22.87	23.14	32.53	45.33	32.90	-
188.00	61	1.35	-0.47	8.08	43.17	43.92	79.39	31.40	-
187.00	62	-1.20	0.24	18.39	24.55	30.68	53.17	31.20	-
186.00	63	-0.09	1.18	38.59	28.65	48.07	36.59	31.10	-
185.00	64	0.27	-1.91	5.51	22.69	23.35	76.34	31.50	-
184.00	65	0.07	1.46	29.29	31.98	43.37	47.52	31.80	-
183.00	66	-0.81	-0.66	23.11	14.85	27.47	32.71	31.20	-
182.00	67	-0.15	1.41	46.85	21.53	51.56	24.69	31.00	-
181.00	68	1.00	-1.99	8.24	25.21	26.52	71.89	33.20	-
180.00	69	-0.77	1.10	31.15	20.39	37.23	33.21	31.40	-
179.00	70	0.51	-0.57	18.40	24.05	30.29	52.59	32.10	-
178.00	71	-0.46	1.05	38.31	24.13	45.28	32.21	32.20	-
177.00	72	0.40	-0.39	29.10	27.29	39.89	43.16	30.80	-
176.00	73	-0.03	-0.14	27.18	25.81	37.48	43.52	32.00	-
175.00	74	-0.09	0.05	28.64	24.87	37.93	40.98	32.00	-
174.00	75	-0.03	-0.07	27.83	23.76	36.59	40.49	32.30	-
173.00	76	0.32	-0.05	24.33	28.16	37.21	49.17	31.40	-
172.00	77	-0.04	0.04	25.28	27.84	37.60	47.76	31.60	-
171.00	78	-0.12	0.22	29.59	27.73	40.56	43.14	30.70	-
170.00	79	-0.02	0.16	32.15	28.81	43.17	41.87	31.00	-
169.00	80	-0.02	-0.01	32.11	28.36	42.85	41.45	31.20	-
168.00	81	-0.07	-0.01	32.71	27.21	42.55	39.76	30.90	-
167.00	82	0.03	-0.10	30.94	26.64	40.83	40.73	31.40	-
166.00	83	0.04	-0.03	30.15	27.02	40.49	41.86	32.10	-
165.00	84	0.02	0.00	30.00	27.27	40.54	42.27	30.90	-
164.00	85	-0.03	0.09	31.55	27.67	41.97	41.25	30.70	-
163.00	86	-0.02	0.05	32.46	27.89	42.79	40.67	31.30	-
162.00	87	-0.05	0.09	34.25	27.98	44.23	39.25	32.30	-
161.00	88	-0.20	-0.02	35.86	24.82	43.61	34.69	30.90	-
160.00	89	-0.04	-0.10	34.85	23.19	41.86	33.64	30.30	-
159.00	90	-0.03	-0.01	34.94	22.70	41.67	33.01	30.60	-
158.00	91	0.01	0.06	35.68	23.50	42.72	33.36	30.60	-
157.00	92	-0.02	0.02	36.19	23.52	43.16	33.02	30.30	-
156.00	93	-0.03	0.13	38.28	24.63	45.51	32.76	30.50	-
155.00	94	-0.02	0.04	38.94	24.77	46.15	32.46	31.00	-
154.00	95	0.06	0.23	41.53	28.09	50.14	34.08	30.80	-
153.00	96	0.11	0.02	40.49	29.80	50.27	36.36	31.10	-
152.00	97	0.04	0.00	39.98	30.36	50.20	37.21	31.10	-
151.00	98	0.04	-0.14	37.80	29.08	47.69	37.57	30.90	-
150.00	99	0.04	0.07	38.11	30.50	48.81	38.67	30.40	-
149.00	100	0.04	0.07	38.45	31.85	49.92	39.64	31.00	-
148.00	101	0.04	-0.01	37.78	32.17	49.62	40.41	29.90	-
147.00	102	0.05	0.00	37.15	32.71	49.50	41.37	30.40	-
145.00	104	0.01	0.07	37.90	33.74	50.74	41.67	30.80	-

DMS BRK003-250-0421: Data table - Cumulative**Report N. 4 - 01/04/2024 00.00**

Client: BRASKEM
 Site: INC003
 Project: Maceió
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 29/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 14.30
 Notes: Revised Direction P+
 101°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
144.00	105	-0.06	0.00	38.74	33.14	50.98	40.54	29.50	-
143.00	106	-0.11	0.04	40.70	32.58	52.13	38.68	30.30	-
142.00	107	-0.07	0.08	42.49	32.99	53.79	37.83	29.80	-
141.00	108	0.01	-0.01	42.29	32.84	53.55	37.84	31.20	-
140.00	109	-0.01	0.11	43.54	34.29	55.42	38.23	29.50	-
139.00	110	-0.24	0.21	49.09	35.21	60.41	35.65	31.30	-
138.00	111	-0.26	-0.11	52.08	31.39	60.80	31.08	30.70	-
137.00	112	-0.19	-0.27	52.78	25.66	58.69	25.92	29.40	-
136.00	113	0.06	-0.01	51.81	25.92	57.93	25.58	30.40	-
135.00	114	-0.02	-0.04	51.79	25.07	57.53	25.83	29.30	-
134.00	115	-0.01	-0.15	50.76	22.68	55.59	24.07	30.40	-
132.00	117	-0.13	0.09	53.41	23.20	58.23	23.48	29.60	-
131.00	118	-0.03	-0.01	53.92	22.88	58.58	23.00	30.20	-
130.00	119	0.06	-0.10	52.27	21.66	56.58	22.51	30.70	-
129.00	120	0.02	0.05	52.25	22.65	56.95	23.43	30.60	0.30
128.00	121	0.10	0.06	50.82	24.01	56.20	25.29	30.60	-
127.00	122	0.00	0.00	50.77	24.02	56.16	25.32	30.60	-
126.00	123	-0.01	0.20	51.80	27.41	58.61	27.89	29.80	-
125.00	124	0.06	0.18	51.50	30.82	60.01	30.90	30.10	-
124.00	125	-0.26	0.07	56.22	31.08	64.24	28.94	30.70	-
123.00	126	-0.08	-0.05	57.47	30.01	64.83	27.57	29.20	-
122.00	127	0.07	0.01	56.22	30.33	63.88	28.35	29.80	-
121.00	128	0.09	0.06	54.92	31.64	63.38	29.95	29.70	-
120.00	129	-0.10	0.01	56.67	31.52	64.84	29.09	29.90	-
119.00	130	0.01	0.02	56.62	31.82	64.94	29.34	29.70	-
118.00	131	-0.08	-0.08	57.50	30.11	64.91	27.64	30.20	-
117.00	132	-0.02	0.01	57.84	30.14	65.22	27.53	30.00	-
116.00	133	0.06	0.00	56.78	30.49	64.45	28.24	30.60	-
115.00	134	0.03	-0.04	56.07	29.95	63.57	28.11	29.70	-
114.00	135	-0.01	-0.03	56.04	29.35	63.27	27.64	30.00	-
113.00	136	0.02	-0.06	55.37	28.59	62.31	27.30	29.90	-
112.00	137	0.07	-0.07	53.81	27.79	60.56	27.32	30.60	-
111.00	138	0.03	-0.01	53.29	27.86	60.13	27.60	30.70	-
110.00	139	0.07	0.00	52.20	28.19	59.33	28.37	30.20	-
109.00	140	0.04	-0.04	51.27	27.70	58.28	28.38	29.30	-
108.00	141	-0.17	-0.18	52.93	23.74	58.01	24.15	28.90	-
107.00	142	-0.06	0.19	54.88	26.62	61.00	25.87	29.30	-
106.00	143	-0.14	0.38	59.38	32.08	67.49	28.38	30.10	-
105.00	144	-0.07	0.01	60.59	31.82	68.44	27.71	30.30	-
104.00	145	0.03	-0.25	58.33	28.10	64.75	25.72	28.90	-
103.00	146	-0.20	0.03	61.78	27.07	67.46	23.66	29.90	-
102.00	147	-0.16	0.18	65.59	28.80	71.64	23.71	30.10	-
101.00	148	0.21	0.18	63.78	33.33	71.96	27.59	29.60	-
100.00	149	0.34	-0.01	58.20	35.20	68.02	31.16	30.40	-
99.00	150	0.06	-0.06	56.76	34.64	66.50	31.39	30.90	-
98.00	151	-0.04	0.01	57.49	34.45	67.02	30.93	29.70	-
97.00	152	-0.02	-0.09	57.15	32.94	65.97	29.96	29.90	-
96.00	153	0.02	-0.02	56.71	32.69	65.46	29.96	29.00	-
95.00	154	0.02	-0.04	56.09	32.18	64.67	29.85	29.90	-
94.00	155	0.01	0.12	56.96	34.02	66.35	30.85	29.70	-
93.00	156	-0.03	0.16	58.64	36.32	68.98	31.78	28.90	-
92.00	157	-0.01	0.11	59.74	37.91	70.75	32.40	29.40	-

DMS BRK003-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC003
 Project: Maceió
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 29/04/2021
 Calibration date: 05/07/2021 14.30
 Notes: Revised Direction P+
 101°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm]
91.00	158	0.05	0.06	59.54	39.21	71.29	33.36	29.10	-
90.00	159	-0.01	-0.02	59.47	38.81	71.01	33.13	31.00	-
89.00	160	0.04	-0.11	57.78	37.69	68.99	33.11	30.80	0.30
88.00	161	-0.01	-0.14	56.70	36.49	66.89	32.04	29.60	-
87.00	162	-0.09	-0.18	55.82	32.06	64.37	29.87	29.10	-
86.00	163	-0.22	-0.14	57.23	27.71	63.59	25.84	28.70	-
85.00	164	-0.20	-0.06	59.12	24.61	64.03	22.60	29.60	-
84.00	165	-0.12	0.03	60.92	23.56	65.32	21.14	30.20	-
83.00	166	-0.04	0.11	62.84	24.49	67.45	21.29	30.10	-
82.00	167	-0.04	0.16	65.33	26.03	70.32	21.72	29.30	-
81.00	168	-0.15	0.07	68.16	25.14	72.65	20.24	29.10	-
80.00	169	-0.01	-0.01	68.17	24.84	72.56	20.02	29.60	-
79.00	170	0.10	-0.01	66.74	25.77	71.54	21.11	29.80	-
78.00	171	0.07	0.06	66.34	27.39	71.78	22.44	29.50	-
77.00	172	0.00	0.15	67.99	29.36	74.06	23.35	29.40	-
76.00	173	0.06	0.08	68.14	31.10	74.90	24.53	29.40	-
75.00	174	0.05	0.03	67.77	32.12	75.00	25.36	29.20	-
74.00	175	0.11	-0.01	66.26	33.31	74.16	26.69	29.50	-
73.00	176	0.10	-0.06	64.29	33.87	72.66	27.78	30.10	-
72.00	177	-0.07	-0.05	64.57	32.38	72.23	26.64	29.70	-
71.00	178	-0.14	-0.01	66.22	30.55	72.93	24.77	29.80	-
70.00	179	-0.04	0.00	66.71	30.01	73.15	24.22	29.90	-
69.00	180	0.07	0.06	66.73	31.52	73.80	25.29	29.30	-
68.00	181	0.10	0.01	65.77	32.99	73.58	26.64	29.90	-
67.00	182	0.00	0.01	65.79	33.10	73.65	26.70	29.00	-
66.00	183	-0.04	0.05	66.98	33.10	74.72	26.30	29.50	-
65.00	184	-0.13	0.09	69.64	32.56	76.88	25.06	29.10	-
64.00	185	-0.17	0.10	73.00	31.56	79.53	23.38	29.70	-
63.00	186	-0.05	-0.04	73.08	30.37	79.14	22.56	30.10	-
62.00	187	-0.10	0.04	74.81	29.61	80.46	21.60	29.80	-
61.00	188	-0.11	0.12	77.64	29.70	83.13	20.93	29.20	-
60.00	189	-0.06	-0.04	77.66	28.42	82.70	20.10	29.20	-
59.00	190	-0.10	-0.01	78.68	26.98	83.18	18.92	29.70	-
58.00	191	-0.09	-0.07	78.59	24.99	82.47	17.64	28.80	-
57.00	192	-0.04	-0.07	78.04	23.76	81.58	16.93	29.10	-
56.00	193	0.04	0.00	77.63	24.30	81.35	17.38	29.40	-
55.00	194	0.17	-0.02	75.50	26.47	80.00	19.32	29.10	-
54.00	195	0.24	-0.04	72.57	29.51	78.34	22.13	29.20	-
53.00	196	0.24	-0.08	69.05	32.14	76.16	24.96	29.10	-
52.00	197	0.18	-0.07	66.21	33.80	74.34	27.04	29.10	-
51.00	198	0.05	-0.04	65.16	34.17	73.57	27.67	28.90	-
50.00	199	-0.04	-0.02	65.27	33.49	73.36	27.16	29.60	-
49.00	200	-0.07	-0.05	65.11	31.96	72.53	26.14	29.80	-
48.00	201	-0.06	-0.04	64.94	30.72	71.83	25.31	29.00	-
47.00	202	0.01	0.03	65.18	31.15	72.24	25.54	29.10	-
46.00	203	0.02	0.09	66.43	32.25	73.84	25.89	29.20	-
45.00	204	-0.01	0.10	67.96	32.94	75.52	25.86	29.90	-
44.00	205	0.03	0.11	69.38	34.45	77.46	26.41	29.30	-
43.00	206	0.07	0.10	70.28	36.38	79.14	27.37	28.90	-
42.00	207	0.06	0.04	70.40	37.54	79.79	28.07	29.40	-
41.00	208	-0.05	0.02	71.03	36.94	80.06	27.48	30.10	-
40.00	209	-0.08	-0.03	71.26	35.47	79.60	26.46	29.00	0.53



DMS BRK003-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC003
Project: Maceió
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 29/04/2021
Calibration date: 05/07/2021 14.30
Notes: Revised Direction P+
101°N (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm]
39.00	210	0.03	-0.13	69.00	34.85	77.30	26.80	29.50	-
38.00	211	0.00	-0.21	65.59	33.37	73.59	26.97	29.30	-
37.00	212	-0.08	-0.10	64.59	31.29	71.77	25.85	29.50	-
36.00	213	-0.08	-0.02	64.91	29.89	71.46	24.72	28.90	-
35.00	214	-0.03	0.00	65.14	29.51	71.51	24.37	29.60	-
34.00	215	0.00	0.02	65.42	29.71	71.85	24.43	28.90	-
33.00	216	0.09	0.03	65.33	31.34	72.45	25.63	30.70	-
32.00	217	0.04	0.05	65.90	32.38	73.42	26.17	28.70	-
31.00	218	0.00	0.01	66.05	32.47	73.60	26.18	29.70	-
30.00	219	-0.03	-0.01	66.06	31.86	73.35	25.75	29.50	-
29.00	220	-0.05	-0.04	65.60	30.84	72.48	25.18	29.50	-
28.00	221	0.02	-0.03	64.98	31.03	72.00	25.53	30.60	-
27.00	222	-0.08	0.07	66.63	30.17	73.14	24.36	28.90	-
26.00	223	-0.14	0.00	67.59	27.84	73.10	22.39	28.80	-
25.00	224	-0.10	-0.01	68.08	26.07	72.91	20.96	28.90	-
24.00	225	0.01	0.00	68.02	26.22	72.90	21.08	29.50	-
23.00	226	-0.05	0.04	68.97	25.68	73.59	20.42	30.40	-
22.00	227	0.06	0.08	70.01	27.05	75.06	21.13	29.50	-
21.00	228	0.17	0.04	69.86	30.07	76.05	23.29	28.90	-
20.00	229	0.28	-0.06	67.68	34.60	76.01	27.08	29.10	-
19.00	230	0.05	-0.18	64.43	34.72	73.19	28.32	103.80	0.58
18.00	231	0.05	-0.04	63.62	35.36	72.79	29.07	29.40	-
17.00	232	0.00	0.00	63.63	35.37	72.80	29.07	29.30	-
16.00	233	-0.15	-0.04	63.52	32.69	71.44	27.23	29.90	-
15.00	234	-0.14	-0.09	62.50	29.87	69.27	25.54	30.00	-
14.00	235	-0.02	-0.06	61.53	29.31	68.16	25.47	29.50	-
13.00	236	0.03	0.02	61.82	29.82	68.64	25.75	29.60	-
12.00	237	0.10	0.03	62.07	31.60	69.66	26.98	29.20	-
11.00	238	0.15	0.16	64.28	34.72	73.05	28.38	29.90	-
10.00	239	0.03	0.05	64.99	35.33	73.97	28.53	29.50	-
9.00	240	-0.08	0.04	65.94	34.05	74.21	27.31	30.00	-
8.00	241	-0.02	0.22	69.77	34.30	77.75	26.18	30.20	-
7.00	242	0.01	-0.03	69.29	34.35	77.34	26.37	30.60	-
6.00	243	-0.07	-0.06	68.57	33.04	76.11	25.72	31.30	-
5.00	244	-0.09	0.13	71.11	31.92	77.94	24.18	31.40	-
4.00	245	-0.08	-0.05	70.56	30.47	76.86	23.36	32.20	-
3.00	246	-0.10	-0.17	67.97	28.23	73.60	22.56	32.50	-
2.00	247	-0.08	-0.25	64.04	26.00	69.12	22.10	33.90	-
1.00	248	-0.13	-0.20	61.12	23.05	65.32	20.67	34.30	-
0.00	249	0.01	0.07	62.20	23.49	66.49	20.69	32.40	-

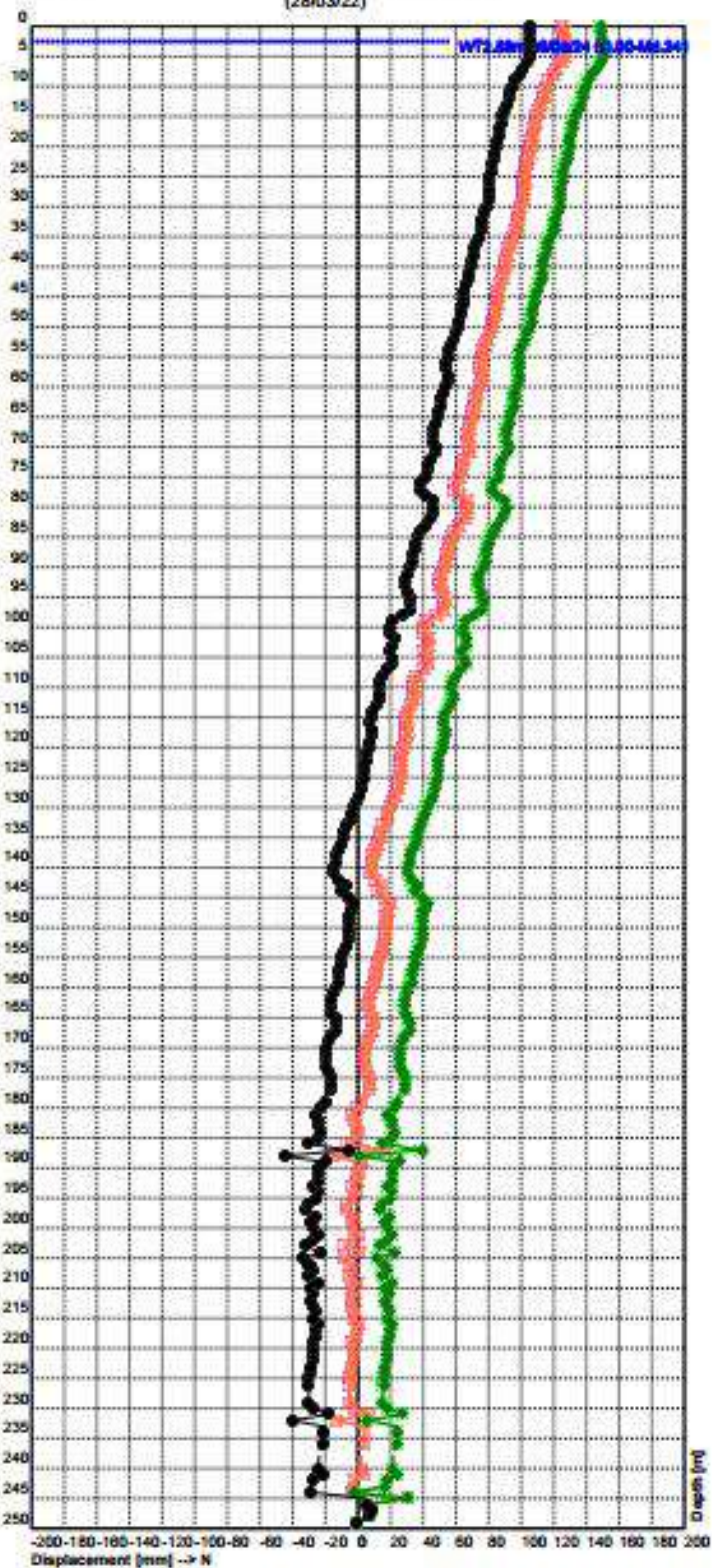
DMS BRK004-250-0421
Report No.4 – 01/04/2024 00.00
Contractor: BRASKEM
Website: INC004
Project: Maceió
Evaluated by: C.S.G.

**DMS BRK004-250-0421: North displacement – Cumulative
Report No. IN02 - 26/02/2024 00.00**

Contractor: BRASKEM
Website: INC004
Project: Maceió
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 08/05/2021
Calibration date: 05/07/2021 10.30

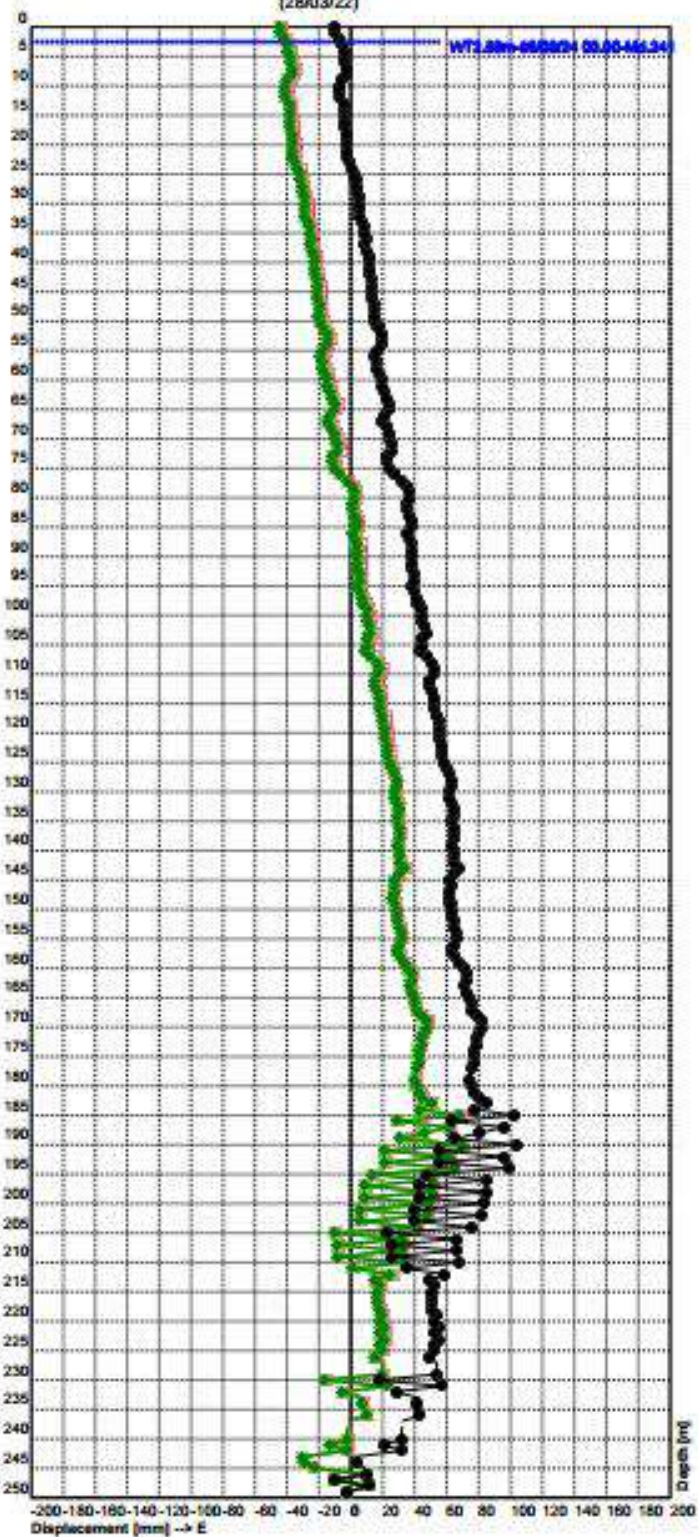
DMS BRK004-250-0421: North displacement - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC004
Project: Macaê
Monitoring interval: 0-250 m bgl
Installation date: 08/05/2021
Calibration date: 05/07/2021 12.30
Notes: Revised Direction P+ 12°N
(28/03/22)



DMS BRK004-250-0421: East displacement - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

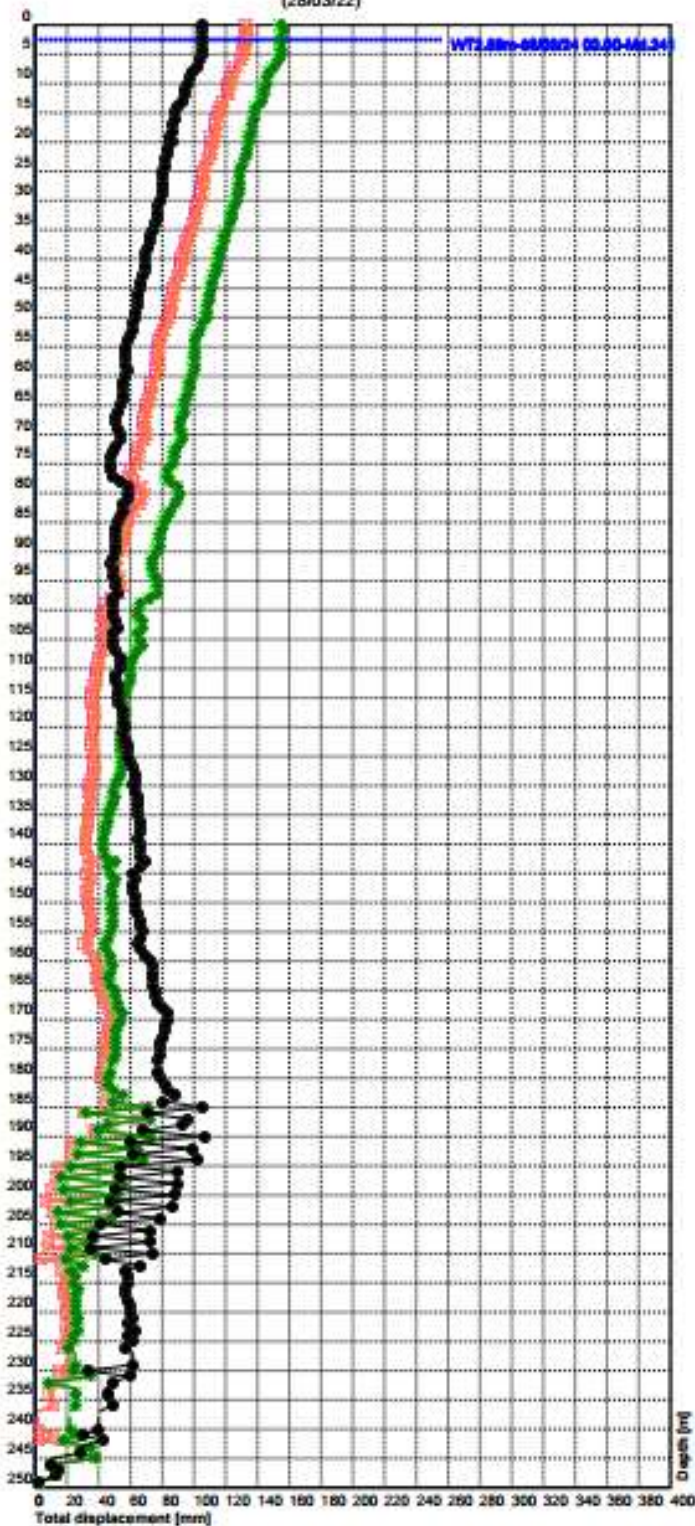
Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)



Legend:
 01/04/2024 00.00 ● 24/03/2024 00.00 ●
 17/03/2024 00.00 ● 10/03/2024 00.00 ●
 03/03/2024 00.00 ●

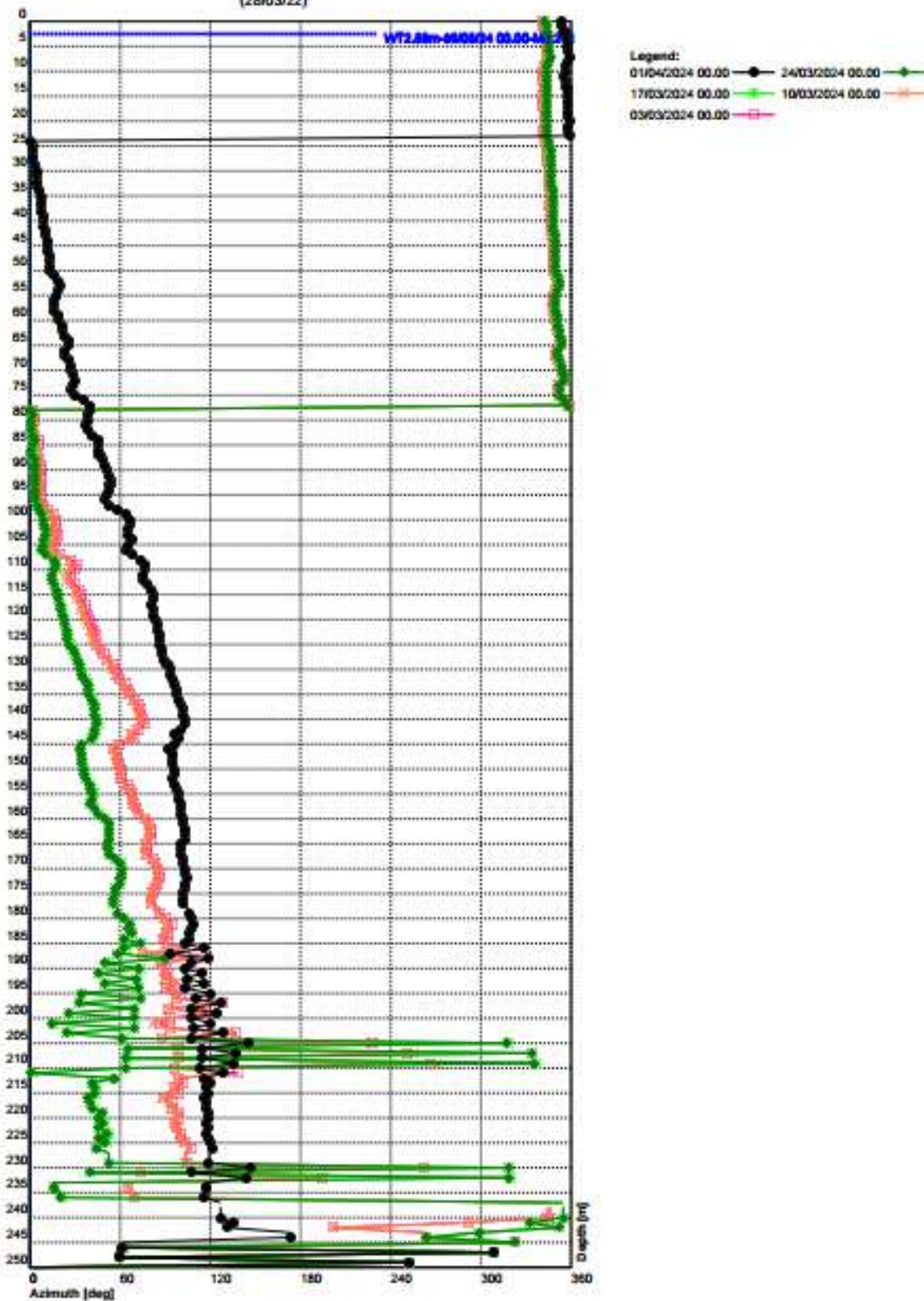
DMS BRK004-250-0421: Module displacement - Cumulative Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
Site: INC004
Project: Maceió
Monitoring Interval: 0-250 m bgl
Installation date: 08/05/2021
Calibration date: 05/07/2021 12.30
Notes: Revised Direction P+ 12°N
(28/03/22)



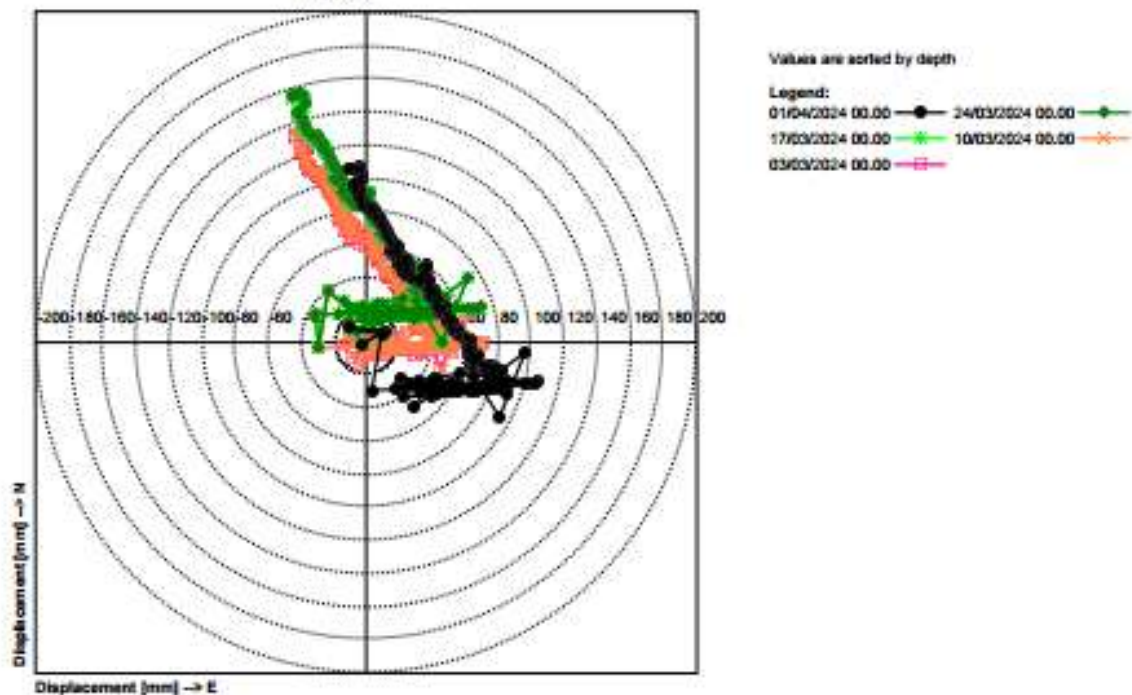
DMS BRK004-250-0421: Azimuth displacement
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Maceió
 Monitoring Interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)



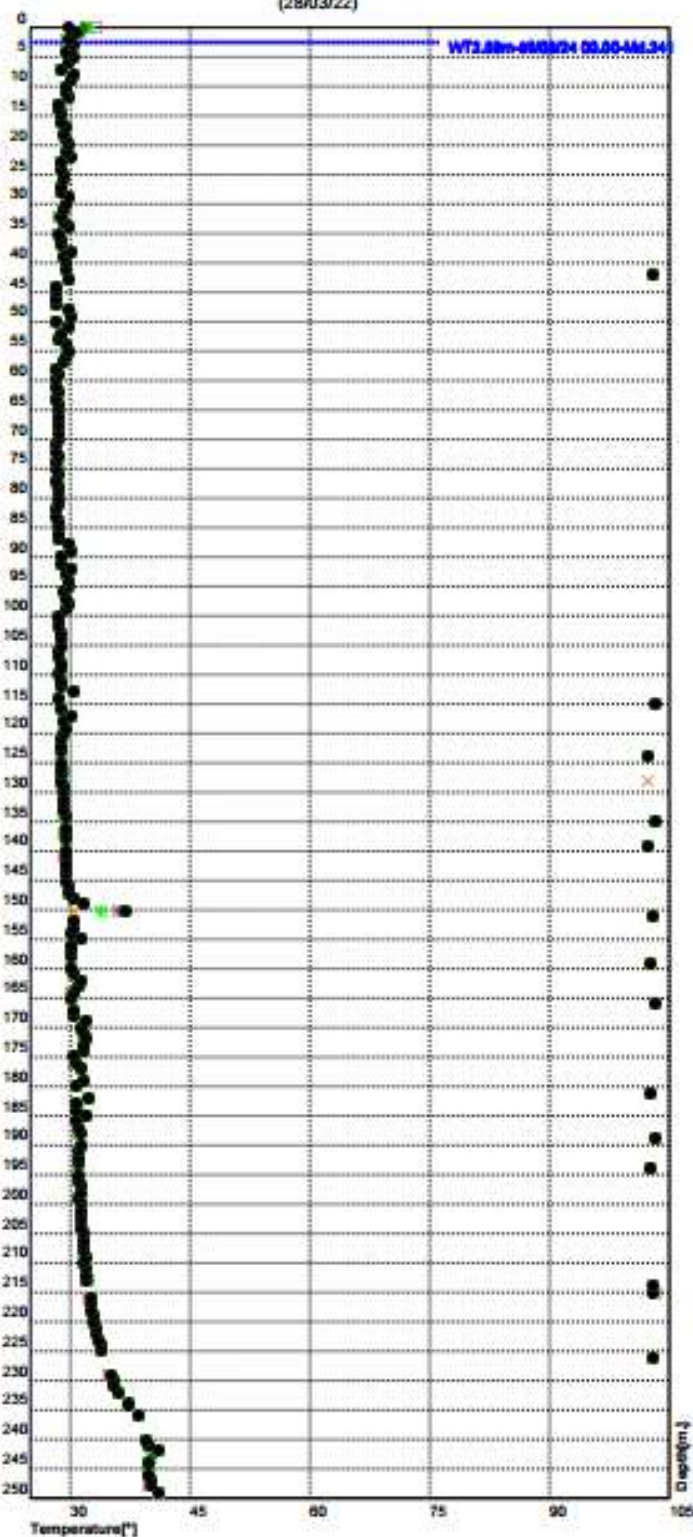
DMS BRK004-250-0421: Polar graph - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaê
 Monitoring Interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)



DMS BRK004-250-0421: Temperature
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)

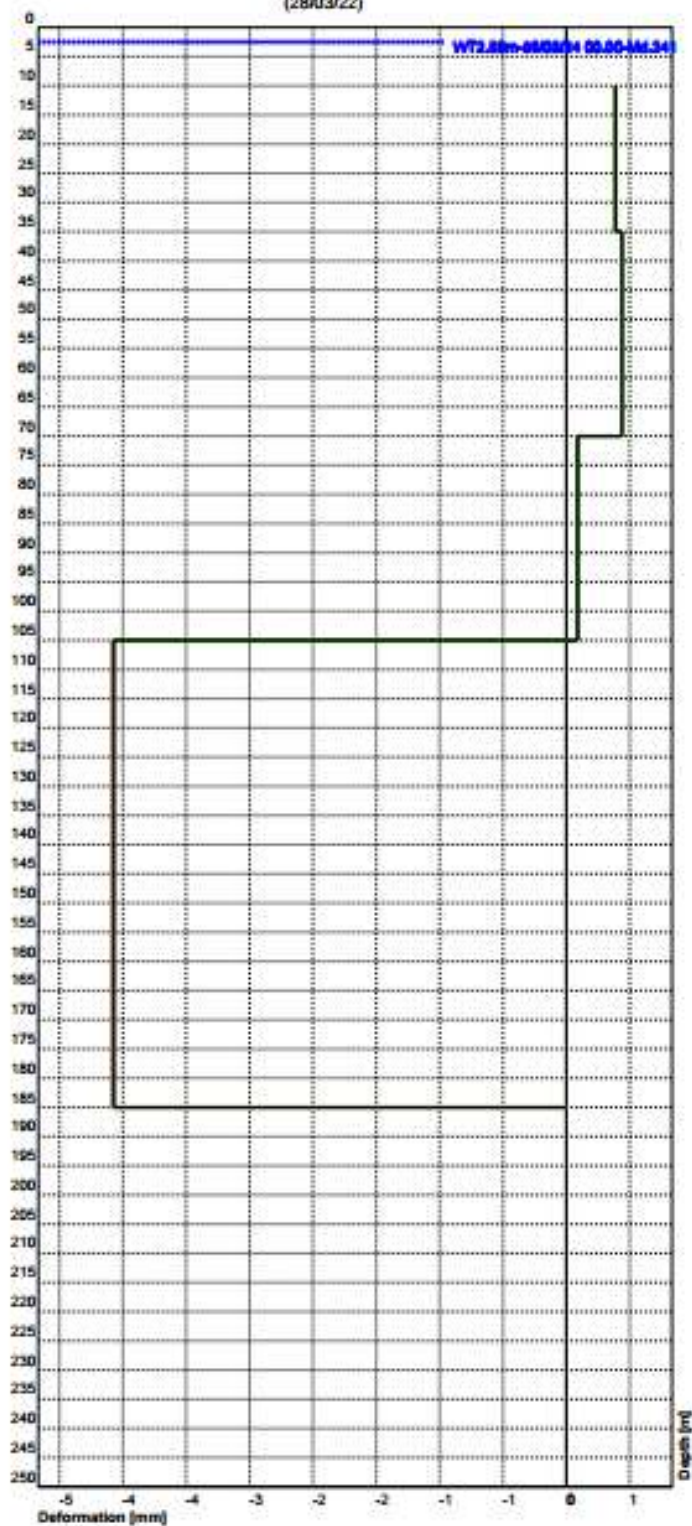


Legend:
 01/04/2024 00.00 ● 24/03/2024 00.00 ◆
 17/03/2024 00.00 ● 10/03/2024 00.00 ×
 03/03/2024 00.00 □

DMS INC004: Deformations [mm]

Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaê
 Monitoring Interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)



DMS BRK004-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
249.00	0	0.01	-0.15	-0.84	-2.56	2.69	251.89	41.10	-
248.00	1	-0.22	0.91	6.89	11.83	13.70	59.78	40.00	-
247.00	2	-0.43	-1.23	8.70	-10.86	13.92	308.71	40.00	-
246.00	3	0.47	1.07	5.00	9.21	10.48	61.50	39.90	-
244.00	5	1.81	-0.79	-28.93	3.44	29.14	173.22	39.90	-
242.00	7	0.32	1.58	-27.77	31.54	42.02	131.37	41.00	-
241.00	8	-0.51	-0.49	-21.06	21.15	29.84	134.88	39.70	-
240.00	9	0.29	0.58	-23.96	32.02	39.99	126.81	39.40	-
236.00	13	-0.02	0.67	-21.22	43.37	48.28	116.07	38.40	-
234.00	15	0.00	-0.15	-21.52	40.84	46.16	117.79	37.20	-
232.00	17	0.94	-0.81	-39.50	28.88	48.93	143.83	36.00	-
231.00	18	-1.10	1.67	-18.33	56.53	59.43	107.96	35.50	-
230.00	19	0.36	-2.25	-27.56	17.82	32.82	147.11	35.30	-
229.00	20	0.27	2.05	-30.19	53.83	61.72	119.28	35.00	-
226.00	23	-0.03	-0.29	-29.99	48.67	57.17	121.64	102.80	-
225.00	24	0.01	0.24	-29.94	52.83	60.72	119.54	33.90	-
224.00	25	-0.08	-0.07	-28.59	51.56	58.95	119.01	33.80	-
223.00	26	0.03	0.20	-28.98	55.13	62.28	117.73	33.60	-
222.00	27	-0.08	-0.18	-27.69	51.95	58.87	118.06	33.30	-
221.00	28	-0.01	0.16	-27.45	54.70	61.21	116.65	33.30	-
220.00	29	0.03	-0.15	-28.02	52.10	59.16	118.27	32.90	-
219.00	30	0.01	0.06	-28.27	53.17	60.22	118.00	33.00	-
218.00	31	-0.11	-0.11	-26.44	51.29	57.70	117.27	32.70	-
217.00	32	-0.01	-0.06	-26.27	50.24	56.69	117.60	32.60	-
216.00	33	-0.11	0.03	-24.34	50.85	56.38	115.58	32.50	-
215.00	34	0.19	0.01	-27.70	50.88	57.93	118.56	103.10	-
214.00	35	-0.07	0.04	-26.61	51.70	58.15	117.24	103.10	-
213.00	36	0.10	-0.15	-28.20	49.03	56.56	119.90	32.10	-
212.00	37	0.01	0.57	-28.78	58.93	65.58	116.03	32.10	-
211.00	38	-0.04	-1.41	-26.78	34.46	43.64	127.85	32.10	-
210.00	39	-0.03	1.90	-28.73	67.58	73.44	113.03	31.80	-
209.00	40	0.08	-2.45	-24.93	24.91	35.25	135.02	32.10	-
208.00	41	0.04	2.38	-30.05	66.11	72.62	114.44	31.70	-
207.00	42	0.05	-2.36	-26.95	24.97	36.74	137.18	31.80	-
206.00	43	-0.24	2.38	-29.89	66.62	73.02	114.17	31.70	-
205.00	44	0.56	-2.44	-33.23	23.01	40.42	145.30	31.70	-
204.00	45	-1.15	2.86	-22.78	75.76	79.11	106.74	31.50	-
203.00	46	0.89	-1.90	-32.33	40.43	51.76	128.65	31.40	-
202.00	47	-0.63	2.34	-27.13	82.33	86.69	108.23	31.40	-
201.00	48	0.35	-2.40	-23.79	40.19	46.70	120.63	31.50	-
200.00	49	-0.44	2.44	-26.87	83.32	87.55	107.87	31.20	-
199.00	50	0.56	-2.29	-29.01	42.26	51.25	124.47	31.10	-
198.00	51	-0.83	2.35	-26.14	85.57	89.48	106.99	31.20	-
197.00	52	0.91	-2.30	-31.85	42.86	53.40	126.62	31.40	-
196.00	53	-0.76	2.27	-30.61	84.54	89.91	109.91	31.10	-
195.00	54	0.38	-2.12	-26.62	47.15	54.14	119.45	31.10	-
194.00	55	-0.95	2.81	-24.19	98.80	101.72	103.76	102.60	-
193.00	56	0.87	-2.32	-27.40	55.72	62.10	116.19	31.10	-
192.00	57	-0.85	2.14	-24.18	95.81	98.81	104.17	31.00	-
191.00	58	0.72	-2.22	-24.72	55.14	60.43	114.15	31.10	-
190.00	59	-0.86	2.65	-23.79	103.84	106.53	102.90	31.50	-
189.00	60	0.45	-2.21	-19.96	64.58	67.59	107.17	103.30	-

DMS BRK004-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12:30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm]
188.00	61	1.14	1.28	-45.20	80.64	92.44	119.27	31.20	-
187.00	62	-2.40	0.05	-6.13	95.93	96.13	93.66	30.90	-
186.00	63	1.92	-1.30	-30.33	63.52	70.38	115.52	30.70	-
185.00	64	-1.13	1.97	-24.46	102.75	105.63	103.39	32.10	-
184.00	65	0.42	-1.38	-22.46	77.64	80.82	106.14	30.80	-
183.00	66	-0.10	0.44	-24.07	85.34	88.67	105.75	30.70	-
182.00	67	0.18	-0.28	-24.92	79.62	83.42	107.38	32.30	-
181.00	68	0.14	-0.06	-26.69	77.53	82.00	109.00	102.70	-
180.00	69	-0.11	-0.21	-23.33	75.15	78.69	107.24	30.70	-
179.00	70	-0.14	-0.09	-20.47	74.79	77.55	105.31	31.80	-
177.00	72	-0.21	-0.07	-16.62	75.42	77.23	102.42	31.40	-
176.00	73	-0.06	0.06	-16.17	76.87	78.56	101.88	30.60	-
175.00	74	0.02	0.03	-16.68	77.17	78.95	102.20	30.50	-
174.00	75	0.06	0.01	-17.71	76.86	78.88	102.98	31.70	-
173.00	76	0.03	0.12	-19.17	78.42	80.73	103.74	31.60	-
172.00	77	0.02	0.04	-19.83	78.81	81.27	104.13	31.90	-
171.00	78	-0.05	0.05	-19.57	79.99	82.35	103.75	31.60	-
170.00	79	-0.07	0.07	-19.06	81.65	83.84	103.14	31.30	-
169.00	80	-0.08	-0.02	-17.70	82.11	84.00	102.17	32.10	-
168.00	81	0.04	-0.21	-16.26	78.66	80.32	101.68	30.30	-
167.00	82	-0.02	-0.23	-13.76	75.41	76.65	100.34	30.30	-
166.00	83	0.01	-0.03	-13.52	74.89	76.10	100.23	103.20	-
165.00	84	0.06	-0.02	-14.13	74.01	75.35	100.81	30.20	-
164.00	85	0.14	-0.01	-16.04	72.39	74.15	102.50	30.30	-
163.00	86	0.07	-0.02	-16.82	71.28	73.24	103.28	31.00	-
162.00	87	-0.07	0.01	-16.05	72.17	73.93	102.54	31.40	-
161.00	88	-0.05	0.01	-15.54	72.81	74.45	102.05	30.30	-
160.00	89	0.04	-0.16	-14.10	70.37	71.77	101.33	30.10	-
159.00	90	0.01	-0.19	-11.97	67.88	68.93	100.00	102.60	-
158.00	91	0.11	-0.11	-12.04	65.18	66.28	100.47	30.00	-
157.00	92	0.08	-0.11	-11.68	62.78	63.86	100.54	30.10	-
156.00	93	-0.14	0.02	-10.36	64.77	65.59	99.09	30.10	-
155.00	94	-0.10	0.03	-9.63	66.36	67.06	98.26	31.30	-
154.00	95	-0.05	-0.08	-8.07	66.11	66.60	96.96	30.20	-
153.00	96	0.02	-0.05	-7.65	65.29	65.74	96.69	30.30	-
152.00	97	-0.01	-0.13	-5.85	63.94	64.21	95.23	30.40	-
151.00	98	0.05	-0.02	-6.17	63.00	63.30	95.60	102.80	-
150.00	99	-0.01	-0.01	-6.02	63.06	63.35	95.45	37.10	-
149.00	100	0.01	-0.06	-5.24	62.36	62.58	94.80	31.70	-
148.00	101	0.08	-0.02	-5.73	61.01	61.27	95.37	30.50	-
147.00	102	-0.07	-0.03	-4.58	61.77	61.94	94.24	29.90	-
146.00	103	-0.09	-0.06	-2.79	62.51	62.57	92.55	29.70	-
145.00	104	0.13	0.13	-5.86	61.64	61.92	95.43	29.60	-
144.00	105	-0.03	0.34	-10.74	64.90	65.78	99.40	29.60	-
143.00	106	-0.25	-0.06	-7.86	68.30	68.75	96.57	29.50	-
142.00	107	0.27	0.15	-12.26	65.22	66.36	100.65	29.40	-
141.00	108	0.08	0.11	-14.51	64.73	66.34	102.63	29.40	-
140.00	109	0.01	-0.01	-14.30	64.54	66.10	102.50	29.40	-
139.00	110	0.01	-0.07	-13.24	63.88	65.23	101.71	102.20	-
138.00	111	-0.03	0.01	-13.21	64.41	65.75	101.59	29.40	-
137.00	112	-0.06	-0.05	-12.09	64.99	66.11	100.54	29.40	-
136.00	113	-0.02	-0.11	-10.17	64.59	65.38	98.95	29.40	-

DMS BRK004-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaib
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
135.00	114	0.02	-0.09	-8.76	63.79	64.39	97.82	103.20	-
134.00	115	-0.01	-0.01	-8.55	63.95	64.52	97.62	29.40	-
133.00	116	-0.06	-0.10	-6.70	64.64	64.98	95.92	29.20	-
132.00	117	0.02	-0.12	-4.72	63.87	64.04	94.22	29.20	-
131.00	118	0.08	-0.05	-4.05	62.30	62.43	93.72	29.10	-
130.00	119	0.00	-0.06	-2.96	62.15	62.22	92.72	29.20	-
129.00	120	-0.06	-0.09	-1.30	63.03	63.05	91.18	29.10	-
128.00	121	0.00	-0.14	1.16	62.71	62.72	88.94	29.00	-
127.00	122	0.06	-0.07	2.23	61.63	61.67	87.93	29.00	-
126.00	123	0.06	-0.04	2.88	60.47	60.54	87.27	29.00	-
125.00	124	0.09	-0.05	3.71	58.86	58.98	85.40	29.00	-
124.00	125	0.08	-0.04	4.34	57.47	57.63	85.68	102.30	-
123.00	126	0.01	0.01	4.20	57.38	57.54	85.81	28.90	-
122.00	127	0.05	-0.03	4.73	56.56	56.75	85.22	28.90	-
121.00	128	0.07	-0.01	5.01	55.33	55.55	84.83	28.90	-
120.00	129	-0.02	-0.08	6.46	55.73	56.11	83.39	29.30	-
119.00	130	0.04	-0.06	7.48	55.03	55.53	82.25	29.50	-
118.00	131	0.03	-0.04	8.19	54.66	55.27	81.48	29.30	-4.28
117.00	132	0.02	-0.02	8.53	54.26	54.93	81.07	30.10	-
116.00	133	0.12	0.07	7.56	52.08	52.62	81.74	28.80	-
115.00	134	0.01	-0.02	7.87	51.88	52.47	81.37	103.20	-
114.00	135	0.01	-0.06	8.88	51.75	52.51	80.27	28.60	-
113.00	136	0.06	-0.13	11.14	50.90	52.10	77.65	30.30	-
112.00	137	0.10	-0.10	13.12	49.55	51.25	75.17	28.80	-
111.00	138	0.02	-0.01	13.27	49.27	51.03	74.92	28.80	-
110.00	139	-0.13	0.01	12.66	51.48	53.01	76.19	28.60	-
109.00	140	-0.08	-0.02	12.70	52.87	54.38	76.49	28.70	-
108.00	141	0.14	-0.08	14.66	50.92	52.99	73.94	28.70	-
107.00	142	0.29	-0.15	18.49	46.75	50.27	68.43	28.60	-
106.00	143	0.22	-0.12	21.59	43.59	48.64	63.66	28.60	-
105.00	144	-0.04	0.05	20.54	44.04	48.60	65.00	28.80	-
104.00	145	-0.09	0.08	18.75	45.02	48.77	67.39	28.70	-
103.00	146	-0.04	-0.19	21.57	46.90	51.63	65.30	28.80	-
102.00	147	0.05	0.01	21.79	46.11	50.99	64.70	28.60	-
101.00	148	0.01	0.17	19.16	44.60	48.54	66.75	28.60	-
100.00	149	-0.02	-0.01	19.19	44.94	48.87	66.88	28.60	-
99.00	150	0.10	-0.08	21.18	43.91	48.75	64.25	29.50	-
98.00	151	0.23	-0.23	26.55	42.03	49.71	57.72	29.80	-
97.00	152	0.19	-0.22	31.54	40.72	51.50	52.24	29.40	-
96.00	153	0.10	0.00	32.50	39.20	50.92	50.34	29.30	-
95.00	154	0.00	0.06	31.57	38.66	49.92	50.76	29.90	-
94.00	155	-0.06	0.05	30.29	39.19	49.54	52.30	29.70	-
93.00	156	-0.02	0.06	29.26	39.10	48.84	53.19	29.40	-
92.00	157	0.01	0.05	28.63	38.50	47.98	53.36	30.20	-
91.00	158	0.02	-0.06	29.75	38.71	48.82	52.46	28.70	-
90.00	159	0.06	-0.10	31.81	38.85	50.21	50.69	28.80	-
89.00	160	0.06	-0.07	33.41	38.70	51.13	49.20	30.10	-4.17
88.00	161	0.04	0.01	33.65	38.02	50.77	48.49	29.70	-
87.00	162	0.13	0.04	34.47	36.89	49.76	46.16	28.50	-
86.00	163	0.04	-0.04	35.44	35.70	50.31	45.21	28.40	-
85.00	164	-0.04	-0.12	36.65	37.52	52.45	45.67	28.60	-
84.00	165	0.03	-0.09	38.13	38.22	53.98	45.07	28.40	-

DMS BRK004-250-0421: Data table - Cumulative

Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Maceló
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] (mm)
83.00	166	0.17	-0.04	40.58	36.41	54.51	41.90	28.30	-
82.00	167	0.21	-0.07	43.95	34.54	55.90	38.16	28.30	-
81.00	168	0.04	-0.10	45.68	35.09	57.60	37.53	28.40	-
80.00	169	-0.01	-0.07	46.46	36.10	58.83	37.85	28.40	-
79.00	170	-0.06	0.03	45.36	36.56	58.26	38.87	28.60	-
78.00	171	-0.11	0.26	40.73	34.79	53.57	40.50	28.40	-
77.00	172	0.03	0.25	37.97	31.46	49.31	39.64	28.30	-
76.00	173	0.19	0.15	38.54	27.36	47.27	35.36	28.60	-
75.00	174	0.27	0.05	41.33	23.48	47.54	29.60	28.30	-
74.00	175	0.09	0.02	42.33	22.23	47.81	27.71	28.30	-
73.00	176	-0.02	-0.04	42.52	23.00	48.36	28.41	28.40	-
72.00	177	-0.04	-0.17	43.90	25.77	50.91	30.41	28.30	-
71.00	178	0.14	-0.14	47.26	26.19	54.03	29.00	28.30	-
70.00	179	0.09	0.05	47.99	24.61	53.93	27.15	28.50	-
69.00	180	-0.04	0.10	46.49	23.51	52.10	26.82	28.40	-
68.00	181	0.04	0.10	46.18	21.72	51.03	25.19	28.40	-
67.00	182	0.09	0.11	46.60	19.27	50.42	22.47	28.40	-
66.00	183	0.03	-0.08	47.88	20.19	51.97	22.86	28.50	-
65.00	184	-0.07	-0.17	48.45	23.37	53.79	25.75	28.40	-
64.00	185	0.03	-0.10	49.70	24.54	55.43	26.28	28.40	-
63.00	186	0.14	0.06	51.18	22.36	55.85	23.60	28.30	-
62.00	187	0.04	0.08	51.04	20.77	55.10	22.15	28.50	-
61.00	188	0.05	0.04	51.43	19.84	55.12	21.10	28.20	-
60.00	189	0.14	0.00	53.55	18.82	56.76	19.36	28.20	-
59.00	190	0.07	-0.01	54.66	18.47	57.70	18.67	28.50	-
58.00	191	0.06	0.12	54.66	16.17	57.00	16.48	28.30	-
57.00	192	-0.03	0.05	53.82	15.57	56.02	16.14	29.30	-
56.00	193	0.03	0.00	54.28	15.25	56.38	15.69	29.40	-
55.00	194	-0.02	-0.07	54.57	16.55	57.03	16.87	29.90	-
54.00	195	-0.04	-0.13	54.86	18.85	58.01	18.97	29.60	-
53.00	196	0.05	-0.10	56.39	20.00	59.83	19.52	28.60	-
52.00	197	0.12	-0.01	58.28	19.21	61.36	18.24	28.80	-
51.00	198	0.13	0.08	59.70	17.02	62.08	15.91	29.90	-
50.00	199	0.13	0.08	61.35	14.88	63.12	13.64	28.20	-
49.00	200	0.05	0.04	61.92	13.91	63.46	12.66	30.00	-3.64
48.00	201	0.03	-0.03	62.51	14.27	64.12	12.86	29.90	-
47.00	202	0.03	0.00	62.97	14.04	64.52	12.57	28.10	-
46.00	203	0.06	0.02	63.93	13.42	65.32	11.85	28.30	-
45.00	204	0.03	-0.01	64.46	13.49	65.86	11.82	28.20	-
44.00	205	0.03	-0.01	65.08	13.53	66.47	11.74	28.10	-
43.00	206	0.08	0.02	66.30	12.74	67.51	10.88	29.70	-
42.00	207	0.10	0.03	67.95	11.80	68.97	9.85	102.80	-
41.00	208	0.03	0.02	68.37	11.34	69.30	9.42	29.60	-
40.00	209	0.04	0.02	68.97	10.84	69.82	8.93	29.40	-
39.00	210	0.01	0.00	69.07	10.81	69.91	8.90	29.30	-
38.00	211	0.08	0.06	70.20	9.54	70.84	7.74	30.00	-
37.00	212	0.08	0.02	71.53	8.98	72.09	7.16	29.00	-
36.00	213	0.02	-0.03	71.90	9.45	72.52	7.48	28.70	-
35.00	214	0.09	0.00	73.47	9.18	74.04	7.12	28.60	-
34.00	215	0.13	0.04	75.58	8.19	76.02	6.18	29.80	-
33.00	216	0.06	0.09	76.38	6.46	76.65	4.83	29.30	-
32.00	217	0.00	0.04	76.32	5.78	76.54	4.33	28.70	-

DMS BRK004-250-0421: Data table - Cumulative
Report N. 4 - 01/04/2024 00.00

Client: BRASKEM
 Site: INC004
 Project: Macaé
 Monitoring interval: 0-250 m bgl
 Installation date: 08/05/2021
 Calibration date: 05/07/2021 12.30
 Notes: Revised Direction P+ 12°N
 (28/03/22)

DEPTH [m bgl]	MODULE ID	PITCH [°]	ROLL [°]	NORTH DISPL. [mm]	EAST DISPL. [mm]	MODULE [mm]	AZIMUTH [°]	TEMPERATURE [°C]	Deformations [mm] [mm]
31.00	218	0.05	0.00	77.19	5.63	77.39	4.17	29.30	-
30.00	219	0.09	-0.01	78.81	5.70	79.01	4.14	29.50	-
29.00	220	0.06	0.03	79.81	5.13	79.98	3.68	29.70	-
28.00	221	0.01	0.09	79.85	3.63	79.93	2.53	29.00	-
27.00	222	0.01	0.02	79.96	3.13	80.02	2.24	29.00	-
26.00	223	0.05	0.00	80.88	2.94	80.94	2.08	29.30	-
25.00	224	-0.02	0.04	80.50	2.23	80.53	1.58	29.30	-
24.00	225	0.04	0.08	81.17	0.84	81.17	0.59	28.90	-
23.00	226	0.09	0.13	82.46	-1.52	82.48	358.96	28.90	-
22.00	227	0.08	0.10	83.69	-3.30	83.76	357.74	30.00	-
21.00	228	0.02	-0.05	84.06	-2.42	84.10	358.35	29.40	-
20.00	229	0.09	-0.03	85.65	-1.89	85.67	358.74	29.90	-
19.00	230	-0.07	0.04	84.52	-2.55	84.56	358.27	29.50	-3.17
18.00	231	0.10	0.01	86.18	-2.70	86.22	358.21	29.20	-
17.00	232	0.04	0.05	86.88	-3.57	86.95	357.65	29.50	-
16.00	233	0.04	0.02	87.50	-3.93	87.59	357.43	29.00	-
15.00	234	0.04	0.01	88.20	-4.08	88.29	357.35	29.00	-
14.00	235	0.09	0.00	89.68	-4.06	89.77	357.41	28.60	-
13.00	236	0.13	0.04	91.96	-4.63	92.07	357.12	28.40	-
12.00	237	0.07	0.12	93.30	-6.69	93.54	355.90	29.80	-
11.00	238	0.00	0.04	93.39	-7.44	93.68	355.45	29.40	-
10.00	239	0.09	-0.02	94.86	-6.94	95.11	355.82	29.60	-
9.00	240	0.10	-0.08	96.50	-5.34	96.65	356.83	30.10	-
8.00	241	0.15	-0.12	98.80	-2.91	98.85	358.32	30.30	-
7.00	242	0.15	-0.03	101.32	-2.19	101.35	358.76	28.80	-
6.00	243	0.15	0.08	104.02	-3.32	104.07	358.17	29.70	-
5.00	244	0.08	0.07	105.54	-4.29	105.63	357.67	30.50	-
4.00	245	0.01	0.03	105.83	-4.83	105.94	357.39	29.60	-
3.00	246	-0.05	0.06	105.13	-5.95	105.30	356.76	30.50	-
2.00	247	-0.02	0.11	105.12	-7.88	105.41	355.71	29.70	-
1.00	248	-0.02	0.15	105.34	-10.56	105.87	354.28	30.60	-
0.00	249	-0.04	0.02	104.79	-10.96	105.36	354.03	29.90	-

B. Data Events Class A

Seism (ID)	Time	Latitude	Longitude	Magnitude (MI)	Depth (km)	Depth error (km)	Major Axis of Ellipse (km)	Azimuth of Major Axis of Ellipse (°)	Minor Axis of Ellipse (km)	Azimuth of Minor Axis of Ellipse (°)
20240301-8	1/3/24 3.34 AM	-9,634894118	-35,74989631	-1,77	0,82	0,04	0,064	82,28723031	0,027	351,911
20240301-12	1/3/24 6.55 AM	-9,638615064	-35,74493123	-1,25	0,52	0,03	0,048	78,96248229	0,027	347,583
20240301-13	1/3/24 6.56 AM	-9,638377373	-35,74558228	-1,3	0,54	0,03	0,047	73,08036703	0,024	341,115
20240301-17	1/3/24 8.04 AM	-9,638920377	-35,74552138	-1,16	0,45	0,04	0,051	76,32531644	0,025	340,216
20240301-29	1/3/24 12.32 PM	-9,637242932	-35,75177631	-1,96	0,83	0,05	0,179	256,0643728	0,045	159,976
20240302-40	2/3/24 3.09 AM	-9,6340968	-35,74783302	-0,46	1,36	0,07	0,132	251,0824307	0,039	154,558
20240302-122	2/3/24 5.56 PM	-9,635212445	-35,74885415	-1,63	0,67	0,04	0,069	253,3111365	0,027	345,008
20240303-89	3/3/24 3.42 PM	-9,636371271	-35,74445601	-2,2	0,65	0,04	0,054	66,98331336	0,032	325,074
20240304-41	4/3/24 3.45 AM	-9,634132686	-35,74819244	-1,23	1,44	0,07	0,116	250,0166575	0,054	156,146
20240304-97	4/3/24 6.50 PM	-9,640540012	-35,74651395	-1,95	0,6	0,03	0,108	242,0767994	0,030	334,853
20240304-97	4/3/24 6.51 PM	-9,637150413	-35,74393993	-1,6	0,71	0,06	0,085	88,9216898	0,045	185,654
20240305-88	5/3/24 7.51 PM	-9,636951699	-35,74942326	-1,22	0,8	0,04	0,085	74,25629672	0,026	344,243
20240305-87	5/3/24 7.51 PM	-9,637035454	-35,74864038	-1,08	0,85	0,03	0,090	73,33517334	0,027	340,99
20240306-38	6/3/24 9.39 AM	-9,639150265	-35,74584973	-1,7	0,61	0,03	0,096	245,9635534	0,025	337,056
20240308-8	7/3/24 10.49 PM	-9,639271452	-35,74523038	-1,17	0,51	0,03	0,048	70,78782541	0,027	339,494
20240308-9	7/3/24 10.50 PM	-9,639160669	-35,74454386	-0,59	0,57	0,03	0,056	81,82088446	0,026	343,125
20240308-135	8/3/24 4.55 PM	-9,629700248	-35,74518563	-0,96	0,76	0,06	0,084	44,60098977	0,046	138,992
20240308-136	8/3/24 5.52 PM	-9,632856266	-35,75275283	-0,43	1,63	0,06	0,079	61,34498658	0,049	159,92
20240309-53	9/3/24 4.23 PM	-9,631493614	-35,74869345	-1,34	1,1	0,15	0,160	31,41462146	0,054	159,173
20240310-1	9/3/24 9.10 PM	-9,632006446	-35,74755493	-0,62	1,03	0,09	0,092	9,228299459	0,035	151,546
20240311-39	11/3/24 6.53 AM	-9,63579029	-35,74928326	-1,23	0,82	0,04	0,061	252,4824835	0,026	160,981
20240311-40	11/3/24 6.56 AM	-9,6352327	-35,75117234	-1,85	0,84	0,06	0,157	268,0168183	0,042	3,41048
20240311-41	11/3/24 6.58 AM	-9,636010275	-35,75085215	-1,21	0,8	0,04	0,083	83,27829237	0,029	352,129
20240312-4	11/3/24 11.24 PM	-9,635705492	-35,75019673	-1,25	1,08	0,11	0,120	260,0572074	0,037	168,302
20240312-6	11/3/24 11.29 PM	-9,634937814	-35,74927635	-1,52	0,86	0,04	0,063	261,3359805	0,031	170,835
20240312-15	12/3/24 1.36 AM	-9,637694458	-35,74374844	-1,49	0,81	0,05	0,078	82,83094568	0,032	348,748
20240312-16	12/3/24 1.36 AM	-9,638004963	-35,74368565	-1,59	0,81	0,04	0,069	88,26415583	0,028	346,199
20240312-39	12/3/24 6.54 PM	-9,638670704	-35,74767416	-1,72	0,33	0,02	0,043	237,2666473	0,023	145,263
20240313-10	12/3/24 11.09 PM	-9,63906288	-35,74708967	-2,07	0,31	0,03	0,045	243,5093311	0,022	336,403
20240313-42	13/3/24 2.45 AM	-9,636478387	-35,75046417	-1,94	0,55	0,05	0,087	89,30110914	0,030	343,992
20240313-74	13/3/24 4.20 PM	-9,638244662	-35,75250269	-1,5	0,72	0,04	0,097	246,8907626	0,037	337,798
20240313-78	13/3/24 6.17 PM	-9,638120845	-35,75344849	-1,62	0,8	0,04	0,094	246,4188435	0,038	339,301
20240316-4	16/3/24 12.44 AM	-9,635259262	-35,74784243	-1,22	1,08	0,06	0,061	231,0369975	0,030	334,093
20240316-5	16/3/24 1.09 AM	-9,63160231	-35,74964112	-1,92	0,75	0,04	0,056	250,8468319	0,026	147,029

Seism (ID)	Time	Latitude	Longitude	Magnitude (MI)	Depth (km)	Depth error (km)	Major Axis of Ellipse (km)	Azimuth of Major Axis of Ellipse (°)	Minor Axis of Ellipse (km)	Azimuth of Minor Axis of Ellipse (°)
20240316-8	16/3/24 4.42 AM	-9,637350126	-35,74805526	-1,62	0,75	0,04	0,091	76,90678937	0,033	343,753
20240316-21	16/3/24 9.25 AM	-9,636761882	-35,74406738	-2,19	0,88	0,06	0,123	86,08037191	0,047	327,07
20240316-29	16/3/24 2.32 PM	-9,634886861	-35,74594583	-1,93	0,4	0,08	0,088	208,3909246	0,029	350,891
20240318-2	17/3/24 9.30 PM	-9,630685349	-35,74800131	-0,63	0,9	0,05	0,066	355,9310177	0,026	159,276
20240318-3	17/3/24 9.31 PM	-9,631081163	-35,74695978	-1,47	1,32	0,1	0,118	30,72451005	0,082	135,515
20240318-7	18/3/24 3.09 AM	-9,639601197	-35,74761641	-2,48	0,32	0,05	0,133	241,3827489	0,032	151,314
20240318-8	18/3/24 4.16 AM	-9,638903722	-35,74761076	-2,32	0,3	0,04	0,069	241,0596203	0,028	150,373
20240318-10	18/3/24 4.37 AM	-9,637417206	-35,74936173	-2	0,86	0,04	0,089	76,08710871	0,026	341,017
20240319-41	18/3/24 11.53 PM	-9,636197553	-35,74680528	-1,23	1,06	0,06	0,064	84,14146074	0,029	333,063
20240321-130	21/3/24 6.39 PM	-9,638670183	-35,74773946	-1,15	0,91	0,03	0,090	67,54905681	0,028	336,019
20240322-33	22/3/24 2.42 AM	-9,64162602	-35,74639215	-1,67	0,68	0,04	0,077	67,29626705	0,026	330,649
20240322-35	22/3/24 3.39 AM	-9,632773621	-35,74854057	-1,7	0,89	0,07	0,074	346,1522167	0,029	151,611
20240323-44	23/3/24 2.41 AM	-9,639693268	-35,74578882	-2,07	0,57	0,04	0,158	242,7614284	0,030	333,167
20240323-94	23/3/24 12.41 PM	-9,639693789	-35,74572353	-2,06	0,48	0,05	0,120	244,0281914	0,031	334,514
20240323-126	23/3/24 8.31 PM	-9,635939581	-35,74513813	-2,16	0,39	0,05	0,066	75,43704747	0,034	340,966
20240323-131	23/3/24 8.38 PM	-9,636433173	-35,74641541	-2	0,2	0,02	0,052	84,88637713	0,020	196,504
20240324-75	24/3/24 6.18 AM	-9,638519876	-35,74715056	-2,23	0,34	0,04	0,068	237,6165319	0,025	147,091
20240324-127	24/3/24 8.42 PM	-9,640778756	-35,74573231	-1,99	0,69	0,04	0,153	241,1942874	0,035	335,711
20240325-1	24/3/24 9.12 PM	-9,638609342	-35,74564945	-1,29	0,52	0,04	0,045	82,9309524	0,023	346,346
20240327-1	26/3/24 11.30 PM	-9,638985904	-35,74702375	-2,01	0,3	0,04	0,076	239,4965488	0,023	330,173
20240327-3	27/3/24 12.05 AM	-9,63898226	-35,7474808	-2,08	0,32	0,05	0,102	57,12588617	0,031	147,471
20240327-9	27/3/24 4.31 AM	-9,634638242	-35,747968	-1,53	0,86	0,04	0,065	66,31369616	0,024	335,718
20240327-42	27/3/24 5.21 PM	-9,633333274	-35,74639033	-1,39	0,33	0,04	0,072	248,4722912	0,033	109,526
20240327-46	27/3/24 7.41 PM	-9,633855453	-35,74894111	-1,58	0,68	0,04	0,079	259,6188438	0,027	161,877
20240328-48	28/3/24 2.05 PM	-9,636213679	-35,74478122	-1,93	0,85	0,04	0,102	87,95709603	0,029	311,856
20240329-43	29/3/24 8.09 AM	-9,629820913	-35,74949611	-1,77	1,05	0,12	0,154	246,0254482	0,061	151,212
20240329-59	29/3/24 12.17 PM	-9,64083751	-35,7480835	-1,58	0,68	0,04	0,200	237,402946	0,036	334,948
20240329-78	29/3/24 7.05 PM	-9,638684237	-35,74597655	-2,35	0,65	0,03	0,058	69,50386917	0,031	166,369
20240330-41	30/3/24 12.21 AM	-9,63998972	-35,74748896	-1,8	0,45	0,05	0,067	61,41630388	0,030	331,211
20240330-100	30/3/24 3.32 PM	-9,631616884	-35,74781295	-1,26	0,95	0,06	0,078	11,80422684	0,048	190,58
20240330-126	30/3/24 8.34 PM	-9,637130649	-35,74642106	-2,44	0,47	0,05	0,062	136,7846458	0,040	20,814
20240330-131	30/3/24 8.45 PM	-9,637130129	-35,74648635	-2,01	0,71	0,04	0,064	74,8242823	0,033	343,787
20240331-105	31/3/24 9.34 AM	-9,641066352	-35,74854244	-1,3	0,49	0,05	0,107	60,6234612	0,032	328,098



TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company

RELATÓRIO TÉCNICO

Maceió, Área Norte

Atualização 2D SqueeSAR©
Fevereiro de 2024



Especificações do documento

Cliente

Nome: Braskem
Endereço: Nações Unidas, 4777
São Paulo, SP

Referência

Projeto: Atualização 2D SqueeSAR® Fevereiro de 2024, Maceió, Área de Interesse Norte
Ordem de trabalho TRE JO23-2216-ES
ALTAMIRA:
Referência TRE ALTAMIRA: ES7798A052S, ES7798A055E



Criado por TRE ALTAMIRA

Autor: Vinicius Mendes
Verificado por: Javier García Robles
Aprovado por: Stefano Cespa
Data: 22/03/2024
Versão: 1.0





Aviso de confidencialidade

Este documento contém informações confidenciais e está dirigido exclusivamente ao destinatário. O conteúdo desse documento, inclusive a informação relacionada à metodologia TRE ALTAMIRA, não podem ser revelados parcialmente, ou em sua totalidade, a qualquer terceiro, por qualquer meio utilizado para outro propósito sem a autorização expressa por escrito da TRE ALTAMIRA.



Índice

1. Introdução..... 6

2. Área de interesse e imagens processadas 7

3. Análise SqueeSAR® 9

3.1. Aceleração 13

3.2. Resultados na geometria 2D 16

3.2.1. Pinheiro – Mutange 16

3.2.2. Bom Parto – Levada..... 45

4. Conclusões 49

Apêndice A – Dados Entregues..... 51

Apêndice B – Descrições Técnicas..... 54



Acrônimos e abreviaturas

AOI	Área de interesse (<i>Area Of Interest</i>)
InSAR	Interferometria de radar de abertura sintética
DInSAR	Interferometria de radar de abertura sintética diferencial
LOS	<i>Line-of-sight</i> , linha de visada do satélite (vetor de medição)
SAR	Sensor radar de abertura sintética (<i>Synthetic Aperture Radar</i>)
SqueeSAR®	Algoritmo para o processamento DInSAR
TSX	Satélite TerraSAR-X
MP	Pontos de medição
PS	<i>Permanent Scatterer</i> ou Ponto Permanente
DS	<i>Distributed Scatterer</i> ou Ponto Distribuído
REF	Ponto de Referência
TS	<i>Time Series</i> ou Série Temporal
TREA	TRE ALTAMIRA

1. Introdução

A Braskem solicitou à TRE ALTAMIRA um estudo de monitoramento dos deslocamentos do terreno, englobando as áreas onde a Braskem operava na cidade de Maceió, através do processamento de imagens de radar de alta resolução, banda X, captadas pelo satélite TerraSAR-X, utilizando a técnica própria SqueeSAR®.

SqueeSAR® é uma técnica patenteada pela TRE ALTAMIRA que processa multi-interferogramas e consegue medições dos deslocamentos do terreno com alta precisão. Isto é possível através do processamento multi-temporal de imagens de satélite SAR adquiridas numa mesma área a longo do tempo. Trata-se de uma técnica que extrai informação estatística das imagens; SqueeSAR® identifica alvos no terreno (naturais ou antrópicos) e, para cada um, fornece séries temporais de deslocamento e a relação de deslocamento médio no período monitorado, com precisão milimétrica.

O projeto de monitoramento consiste nos seguintes pacotes de serviços:

- **Estudo da linha base inicial:** processamento SqueeSAR® de todas as imagens ascendentes adquiridas de julho de 2018 até maio 2019, com o objetivo de entregar à Braskem uma visão geral dos deslocamentos que afetam a área de interesse;
- **Estudo de monitoramento inicial:** cinco atualizações/entregas mensais dos dados de deslocamento usando imagens adquiridas na órbita ascendente (geometria simples) do satélite no período de julho de 2019 a dezembro de 2019;
- **Estudo da linha base ascendente + descendente:** processamento SqueeSAR® de todas as imagens adquiridas nas órbitas ascendentes e descendentes (dupla geometria) do satélite adquiridas até janeiro de 2020, mais a decomposição Vertical e Leste-Oeste do movimento;
- **Estudo de monitoramento:** sessenta e três (63) atualizações/entregas mensais em dupla geometria, mais a decomposição Vertical e Leste-Oeste do movimento, sendo as 17 primeiras realizadas até junho de 2021 (1º contrato), 24 realizadas até junho de 2023 (2º contrato) e as demais 22 a serem realizadas até abril de 2025 (3º contrato).

Este documento consiste no relatório técnico referente à atualização de fevereiro de 2024 dos resultados em geometrias ascendente e descendente e decomposição Vertical e Leste-Oeste. Para esta atualização, foram inclusas nos resultados produzidos as ortofotos disponibilizadas pela Braskem, a fim de melhorar a visualização das análises. Descrevem-se para a AOI Norte: imagens adquiridas, análises feitas e resultados obtidos.

2. Área de interesse e imagens processadas

A área de interesse - AOI Norte - cobre ~18,6 km² e inclui os bairros Pinheiro, Chã da Jaqueira, Mutange, Bebedouro etc. (Figura 1). As características do terreno e as instalações na área tornaram possível obter uma alta densidade de MPs.



Figura 1: AOI Norte da Braskem, Maceió.



O estudo foi realizado usando imagens de radar na banda X do satélite TerraSAR-X (TSX), caracterizado por adquirir imagens a cada 11 dias e por uma alta resolução espacial (3 x 3 metros).

Para esta atualização 2D, foram utilizadas 154 imagens do satélite TerraSAR-X em geometria ascendente e 159 imagens em geometria descendente, cobrindo o período de junho de 2019 a fevereiro de 2024. Os detalhes de aquisição das imagens incluídas no processamento de fevereiro estão destacada na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de aquisição do satélite e período de aquisição das imagens

Satélite	Geometria	Ângulo de LOS (θ)	# imagens	Período de Aquisição
TSX	Ascendente	28.40°	154	21 JUN 2019 – 20 FEV 2024
	Descendente	29.51°	159	18 JUN 2019 – 28 FEV 2024

3. Análise SqueeSAR®

A análise SqueeSAR® inclui o processamento em LOS das geometrias ascendente e descendente e a decomposição vetorial 2D do movimento nos pontos coincidentes em ambas as geometrias LOS. Os detalhes da técnica são descritos em detalhe e explicam as terminologias utilizadas no Apêndice B – Descrições Técnicas. A Tabela 2 mostra o número total de pontos de medição (MP) identificados na área de interesse (AOI) Norte e a respectiva densidade.

Vale ressaltar que o resultado na geometria ascendente apresenta desvio padrão menor que o da geometria descendente, apesar de o número de imagens nas duas geometrias ser muito próximo, 154 e 159, respectivamente, isto ocorre, muito provavelmente, devido à diferença no horário de aquisição das imagens, 17:38 (*local time*) em ascendente e 05:09 (*local time*) em descendente, dado que a atmosfera é mais estática durante à noite do que ao longo do dia (as condições atmosféricas mudam rapidamente com o tempo e as imagens podem ter APS – *Atmospheric Phase Screens* – completamente diferentes de uma passagem para outra do satélite). Sendo assim, a imagem adquirida nas primeiras horas da noite (passagem ascendente) sofre menos interferência das turbulências da atmosfera do que a imagem adquirida no início do dia e, desta forma, as medidas InSAR apresentam menos ruídos e, portanto, são mais precisas. Destaca-se, contudo, que o desvio padrão das medidas pode variar dentro de um intervalo de 0.1 a 5 mm/ano, sendo que, no caso destes resultados, ambas as geometrias se encontram com precisão inferior a 1 mm/ano, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Estatísticas do processamento obtidas da análise das imagens TSX em ascendente, descendente e 2D.

Satélite	Geometria	# imagens	# de MP	MP / KM ²	St. Dev. VEL (mm/ano)
TSX	Ascendente	154	921.318	59.494	0,30
TSX	Descendente	159	855.041	55.215	0,34
TSX	2D - VERT	311	97.729	6.311	0,24
TSX	2D – EAST-WEST	311	97.729	6.311	0,46

Vale destacar, ainda, que, mesmo com alta densidade de pontos, a presença de vegetação, áreas de agricultura ou dinâmicas que causem mudança na refletividade do terreno (tais como, obras, escavações, deposições, terraplanagens etc.), resultam na obtenção de menos pontos em algumas áreas. Na área da margem da lagoa e encosta, onde está ocorrendo atividades que ocasionam alteração da dinâmica do terreno, como demolição e terraplenagem, a TREA está realizando uma análise adicional para identificar os pontos que estão tendo a qualidade afetada



e estes são removidos dos resultados. Vale ressaltar que ainda há uma quantidade significativa de pontos de medição, dado que a área ainda não foi coberta de vegetação, e por esta razão o monitoramento da região ainda não foi comprometido.

Os deslocamentos obtidos são vinculados ao Ponto de Referência (REF), supondo que o ponto é completamente estável. A Tabela 3 descreve os códigos (CODE) e as coordenadas dos REF para o conjunto de dados ascendente, descendente e 2D localizadas na AOI Norte de Maceió.

Tabela 3: Código e localização geográfica do ponto de referência para a geometria ascendente, descendente e 2D.

	CODE	Longitude	Latitude
Ascendente	BM6J1S2	-35,73434	-9,62099
Descendente	BT9XYEQ	-35,73785	-9,62241
2D	A7IASVX	-35.73782	-9.62231

Nas imagens seguintes são mostrados os mapas de deslocamento anual nas órbitas ascendente e descendente (Figura 2 e Figura 3, respectivamente). Os MPs têm um código de cor conforme o deslocamento (mm) detectado, onde valores positivos indicam movimento de aproximação ao satélite na LOS e valores negativos indicam movimento de afastamento, ou distanciamento, em relação ao satélite na LOS. Áreas sem deslocamento significativo são representados na cor verde.

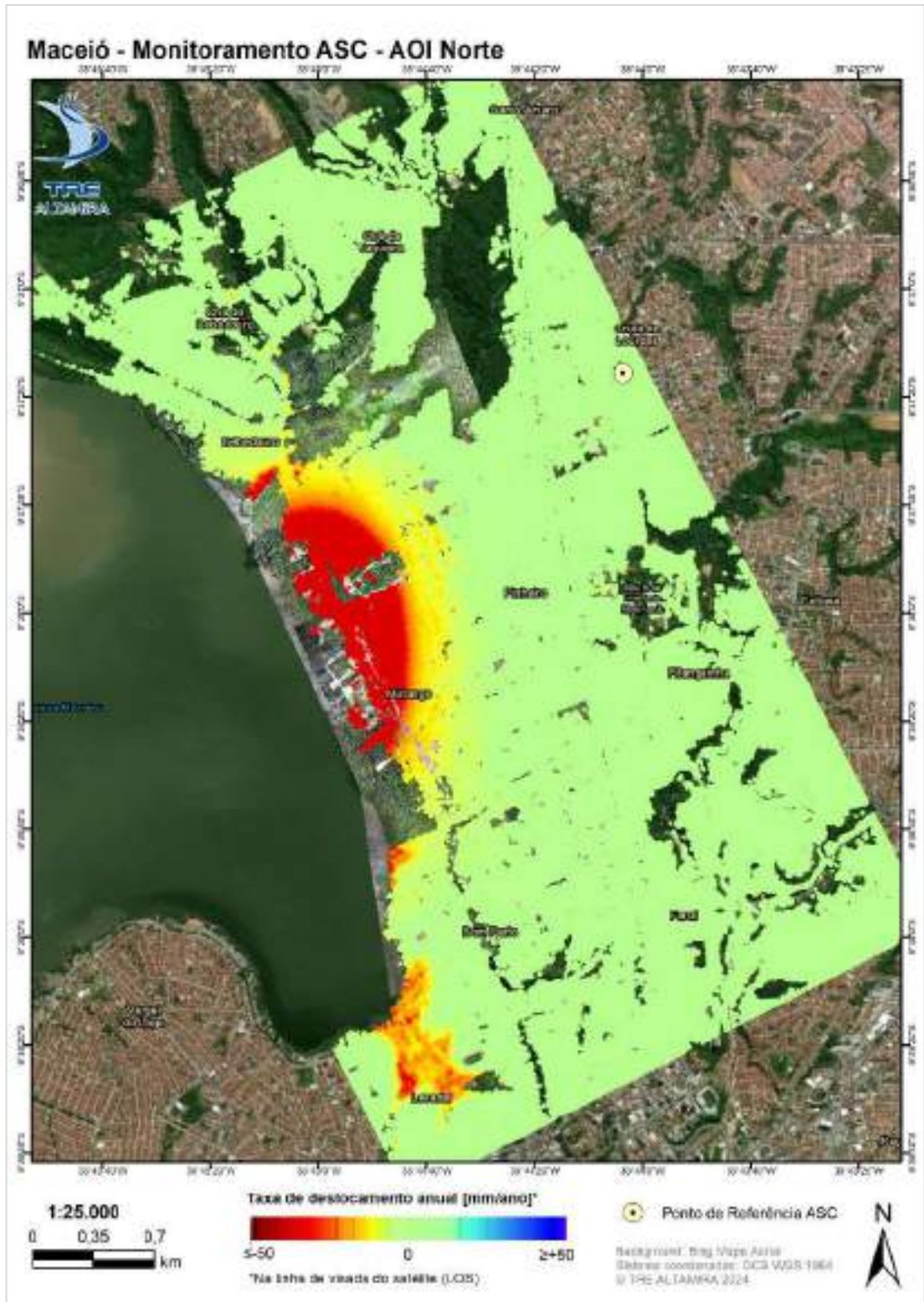


Figura 2: Atualização SqueeSAR® referente ao período de junho de 2019 a fevereiro de 2024. Mapa do deslocamento anual em Ascendente, AOI Norte.

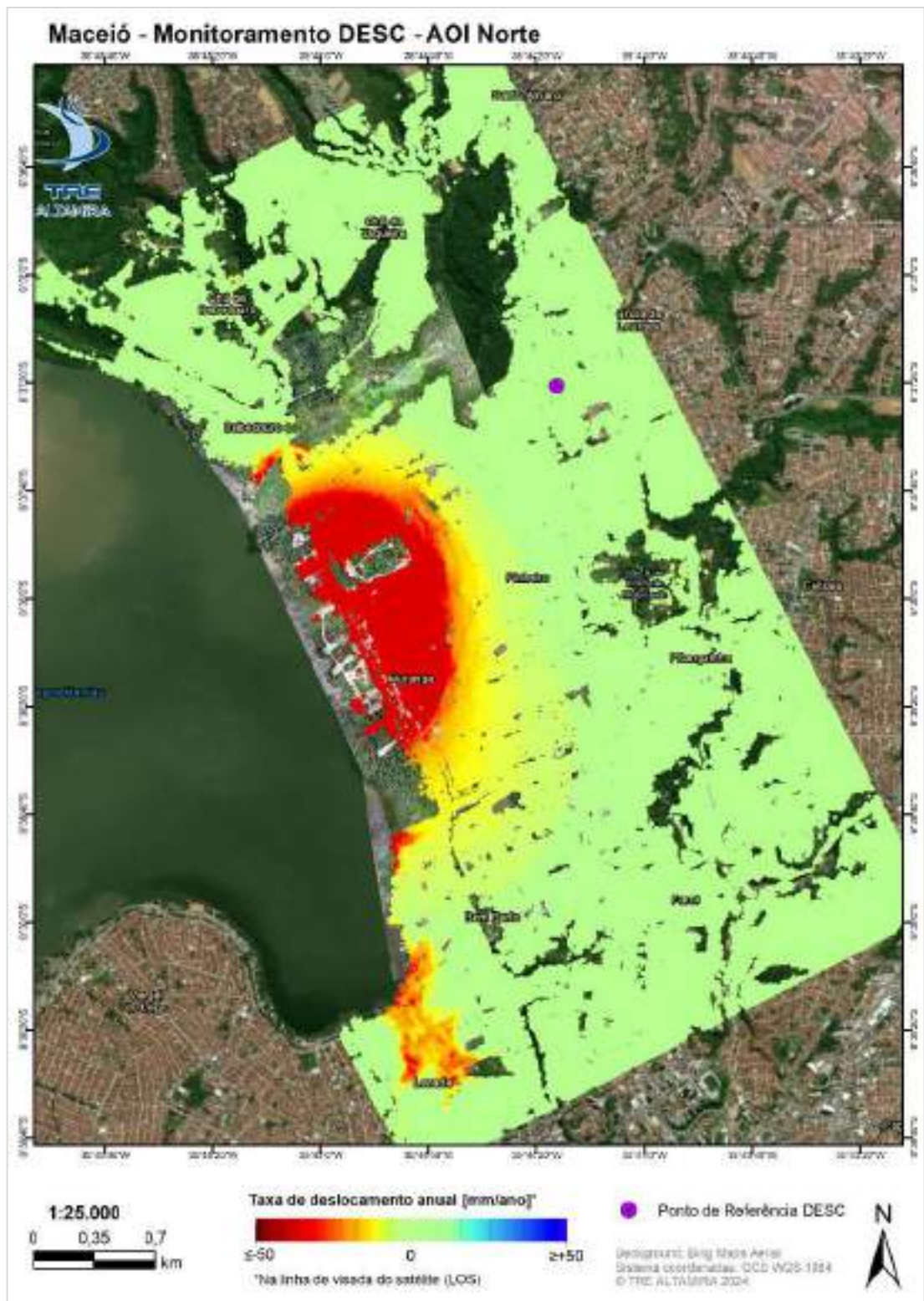


Figura 3: Atualização SqueeSAR® referente ao período de junho de 2019 a fevereiro de 2024. Mapa do deslocamento anual em Descendente, AOI Norte.



3.1. Aceleração

A análise da aceleração dos deslocamentos permite detectar áreas onde a tendência de deslocamento está mudando.

A Figura 4 e a Figura 5 mostram os mapas de aceleração Ascendente e Descendente, respectivamente, obtidos para a atualização deste mês.

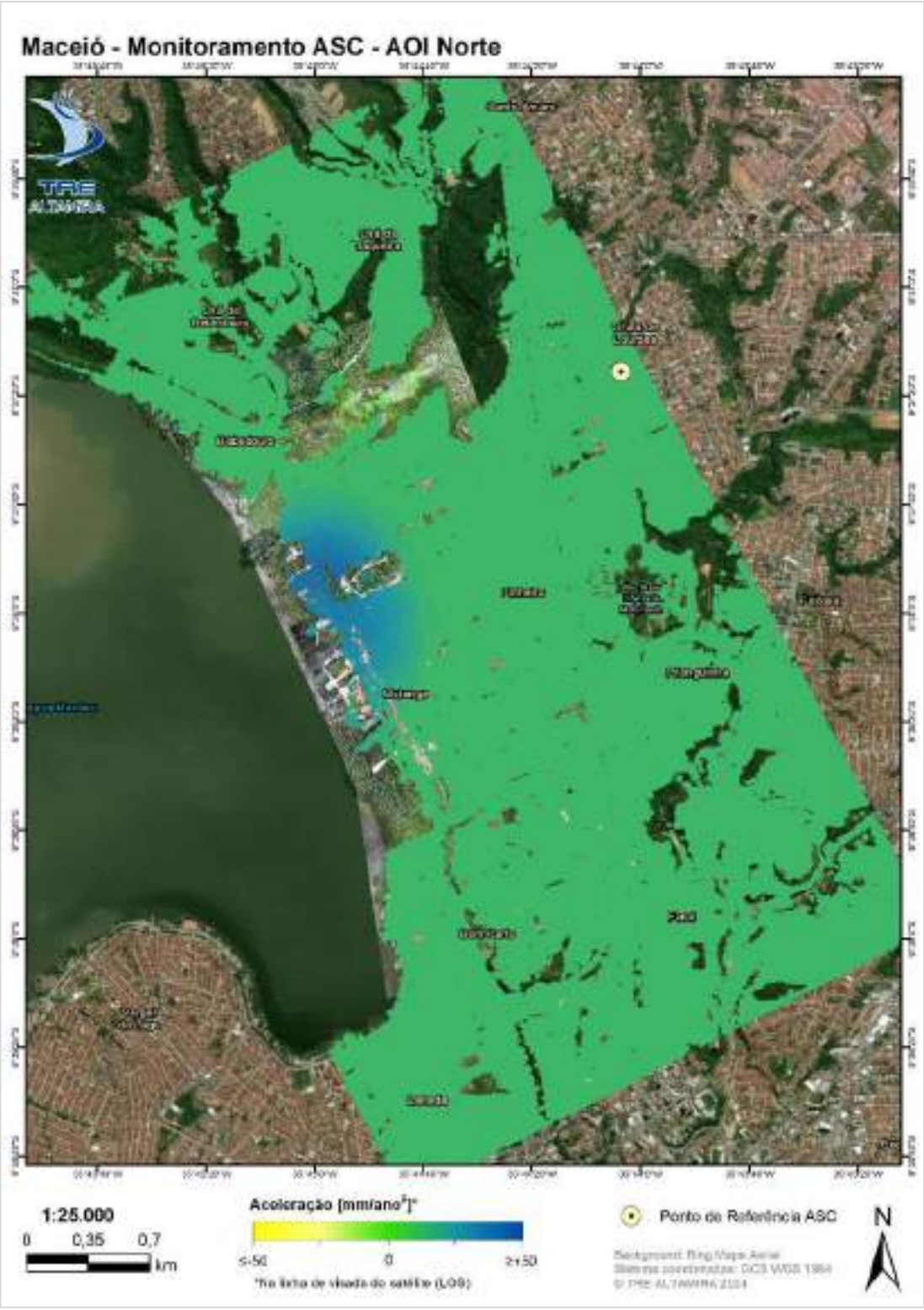


Figura 4: Atualização SqueeSAR® referente ao período de junho de 2019 a fevereiro de 2024. Mapa Ascendente de aceleração, AOI Norte.



Figura 5: Atualização SqueeSAR® referente ao período de junho de 2019 a fevereiro de 2024. Mapa Descendente de aceleração, AOI Norte.

3.2. Resultados na geometria 2D

Na AOI Norte, existem dois focos principais de movimento, sendo as áreas mais proeminentes a dos bairros Pinheiro e Mutange e suas adjacências (Farol e Flexal). Bom Parto e Levada também apresentam movimento significativo, porém de menor magnitude em relação a área anterior. Para a área de Pinheiro-Mutange, há movimentação significativa em ambas as componentes, vertical e horizontal, enquanto na área de Bom Parto-Levada há apenas movimentação significativa na componente vertical.

Como Pinheiro-Mutange apresenta maior variação e intensidade de movimentos, foram elaborados mapas de deslocamento cumulativo diferencial para as duas componentes (vertical, horizontal) que englobam períodos de um ano, três meses, e um mês, a fim de destacar áreas que tenham maior incremento no movimento nos períodos selecionados de maneira mais clara, como também detectar áreas que possam apresentar mudanças na tendência de movimentação. Para a região de Bom Parto-Levada, foram utilizados apenas o mapa anual de deslocamento acumulado, devido a sua baixa variação de tendência e intensidade de deslocamento.

Os dados de Pinheiro-Mutange acompanham suas respectivas séries temporais nos polígonos de monitoramento, assim como seções transversais detalhando a distribuição geométrica da deformação na área, em direções norte-sul e noroeste-sudeste.

3.2.1. Pinheiro – Mutange

Os bairros Pinheiro e Mutange compreendem a área com maior deslocamento geral na área de interesse. A Figura 11 mostra o detalhe sobre esta área e o deslocamento vertical em escala de cores. Este deslocamento é progressivo, sendo maior na margem da lagoa, incluindo a região onde a Braskem operava.

Na subseção 3.2.1.1, serão apresentados os mapas de deslocamento cumulativo diferenciais anuais, trimestrais, e mensais para a componente vertical, assim como o mapa de deslocamento cumulativo vertical para o período de um ano com os polígonos de monitoramento sobrepostos e as séries temporais para cada polígono apresentadas em seguida. A subseção 3.2.1.2 apresentará os mesmos mapas e séries temporais para a componente horizontal do movimento registrado na área.

3.2.1.1. Resultados – Geometria Vertical

A seguir, temos os mapas de deslocamento cumulativo anuais, trimestrais e mensais (Figura 6, Figura 7, e Figura 8) para a componente vertical.

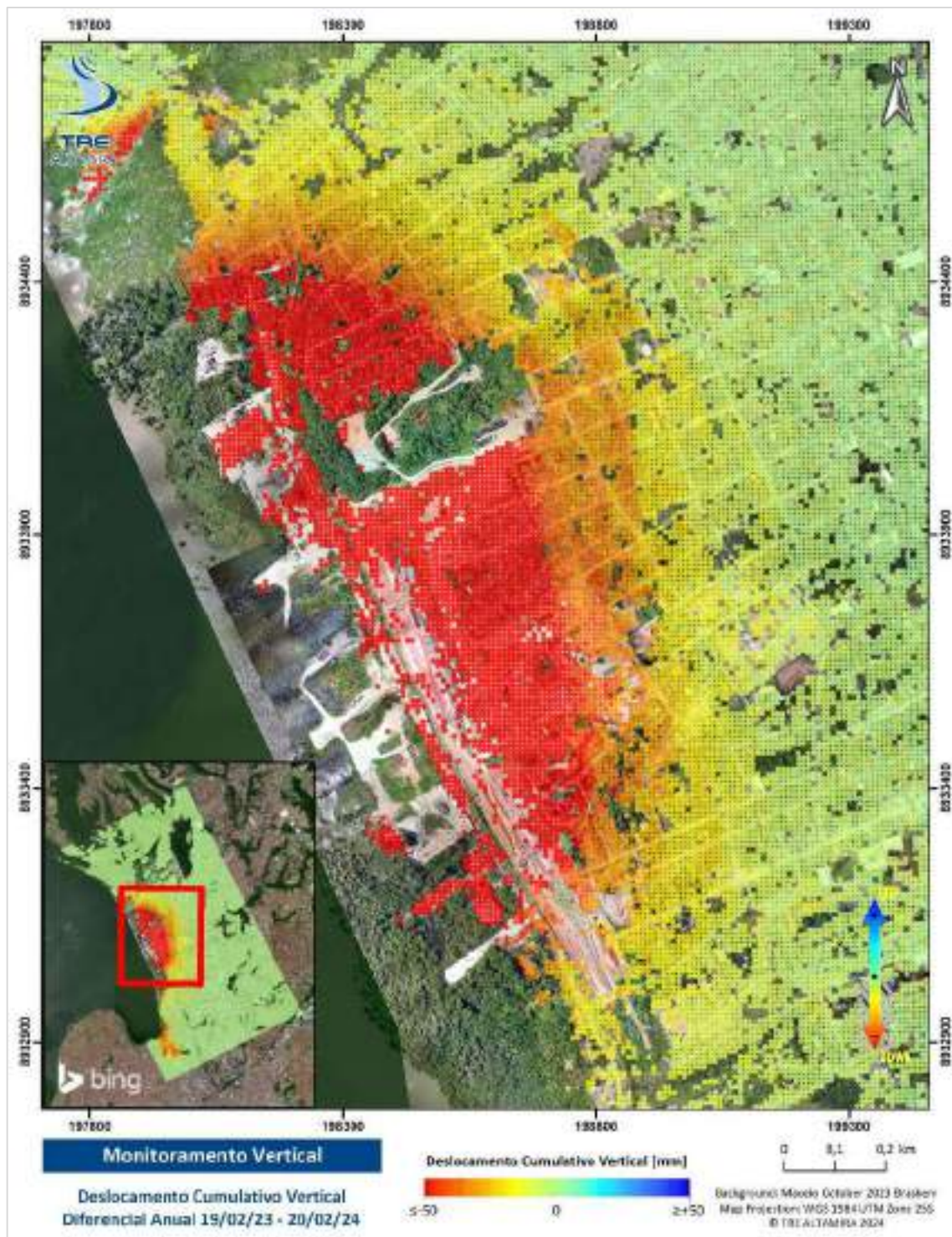


Figura 6: Mapa de deslocamento cumulativo anual [VERT] para a área de Pinheiro-Mutange; período de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024.

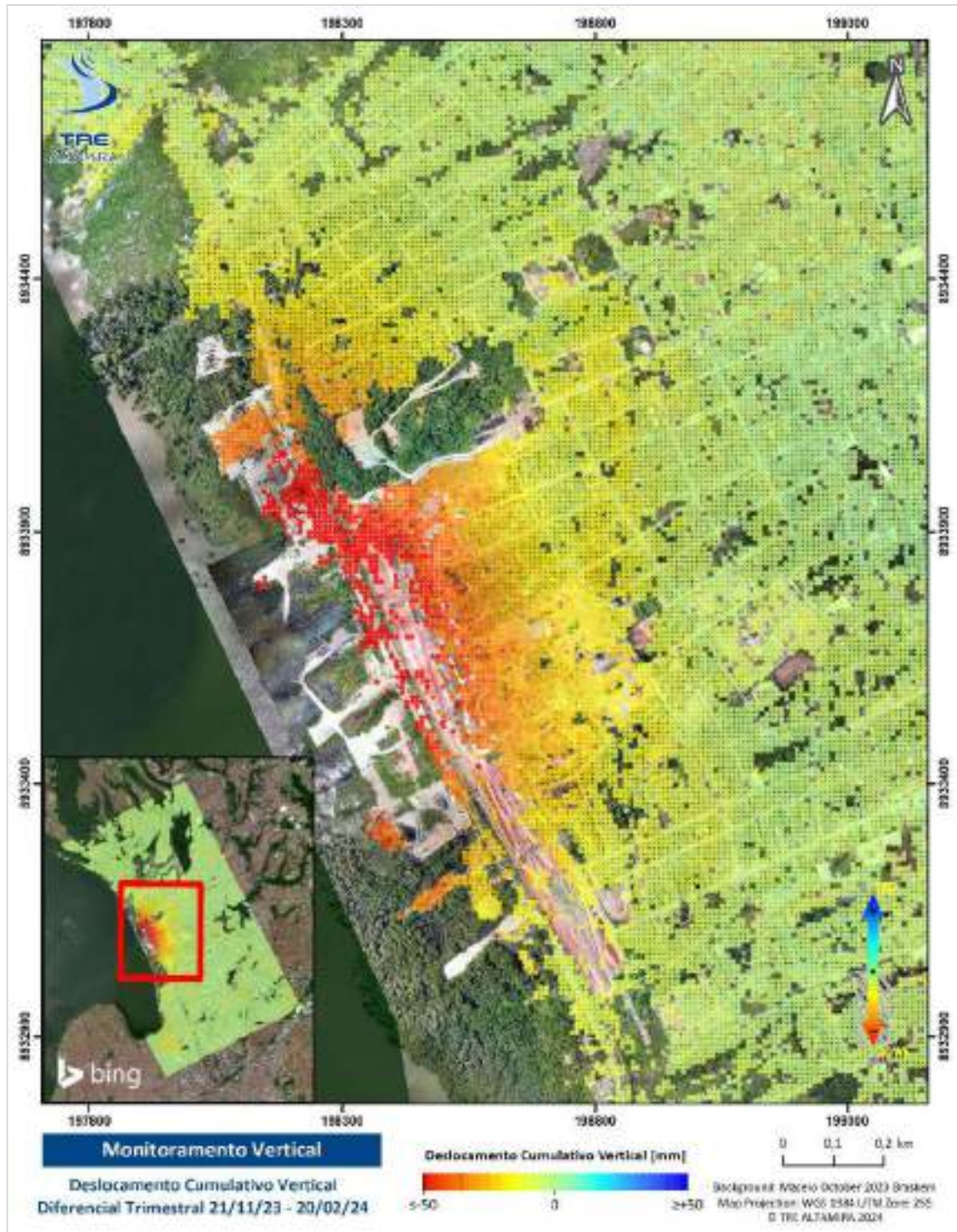


Figura 7: Mapa de deslocamento cumulativo trimestral [VERT] para a área de Pinheiro-Mutange; período de novembro de 2023 a fevereiro de 2024.

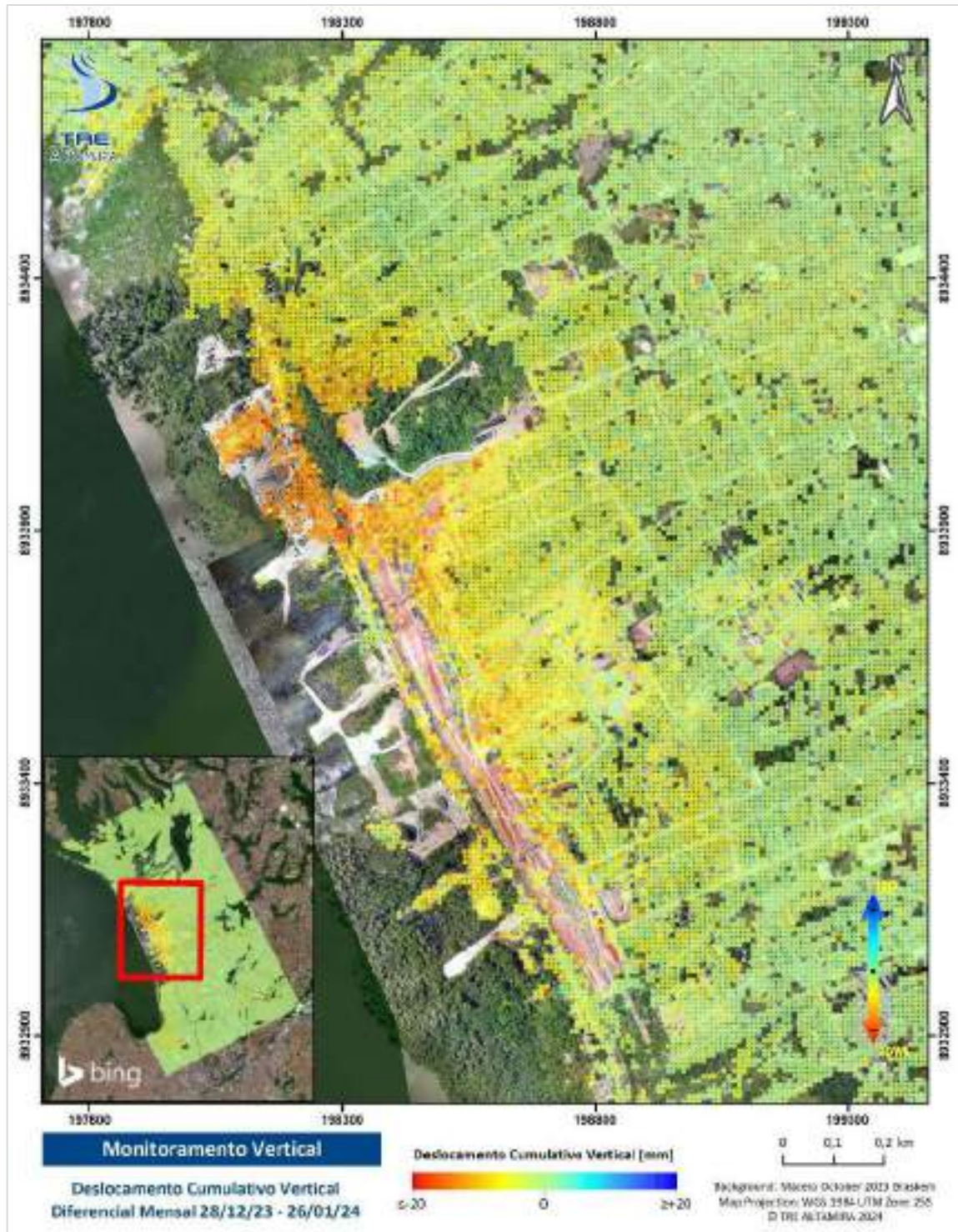


Figura 8: Mapa de deslocamento cumulativo mensal [VERT] para a área de Pinheiro-Mutange; período de janeiro de 2024 a fevereiro de 2024. Vale ressaltar que a escala para o mapa mensal é menor que a dos mapas anteriores visando destacar as mudanças em menor escala que ocorrem de um mês ao outro.

Nos mapas de deslocamento cumulativo podemos observar que no período de um ano há um gradiente de deformação significativo na região. A partir dos últimos três meses, o gradiente se



concentra nas margens da Lagoa Mundaú, sugerindo um máximo local de deslocamento neste período; para o mapa de deslocamento cumulativo diferencial mensal, a concentração de deslocamento encontra-se principalmente na porção superior da margem da lagoa, próximo ao polígono de monitoramento TS12N, sugerindo um máximo local do deslocamento cumulativo para este período.

Na Figura 9 e Figura 10 temos as seções transversais para a velocidade vertical na área do foco de deslocamento em Pinheiro-Mutange. As seções têm, aproximadamente, orientações norte-sul e noroeste-sudeste, respectivamente e comparam os períodos de estudo completo (junho de 2019 a fevereiro de 2024), trimestral (novembro de 2023 a fevereiro de 2024) e mensal (janeiro de 2024 a fevereiro de 2024). A concentração de deslocamento na margem da Lagoa Mundaú vai se reduzindo progressivamente conforme se distancia da margem, como visto na Figura 10.

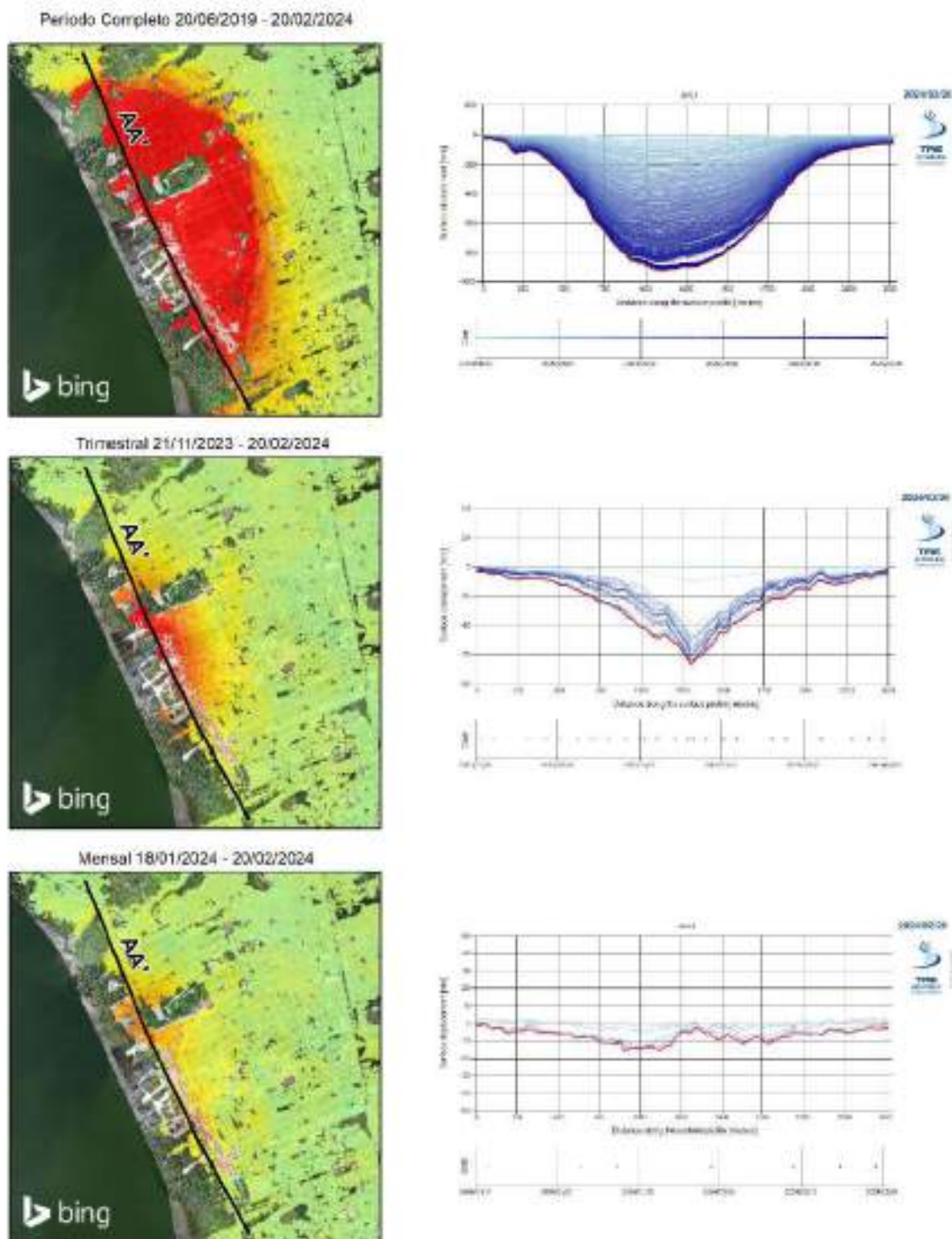


Figura 9: Seções transversais do deslocamento vertical (períodos anual, trimestral e mensal) traçadas sobre o foco central de deformação, na direção norte-sul, em Pinheiro-Mutange, AOI Norte. As linhas mais escuras representam atualizações mais recentes

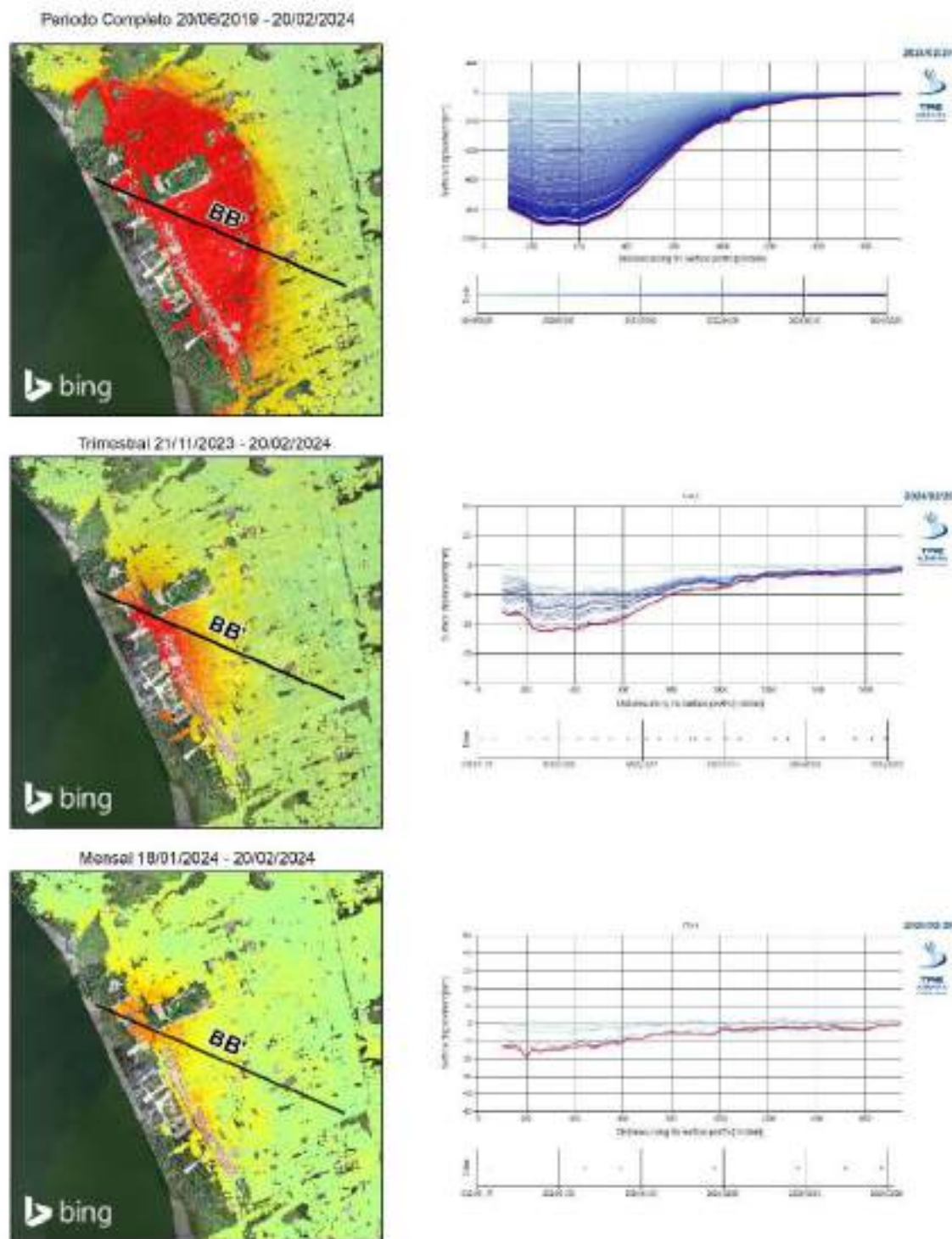


Figura 10: Seções transversais do deslocamento vertical (períodos anual, trimestral e mensal) traçadas sobre o foco central de deformação, na direção noroeste-sudeste, em Pinheiro-Mutange, AOI Norte. As linhas mais escuras representam atualizações mais recentes

A seguir, na Figura 11, a representação do mapa de velocidade, no período de um ano, com os polígonos de monitoramento da região e suas respectivas séries temporais. A Figura 12 mostra as TSs médias dos polígonos de monitoramento da área, para o período de um ano.

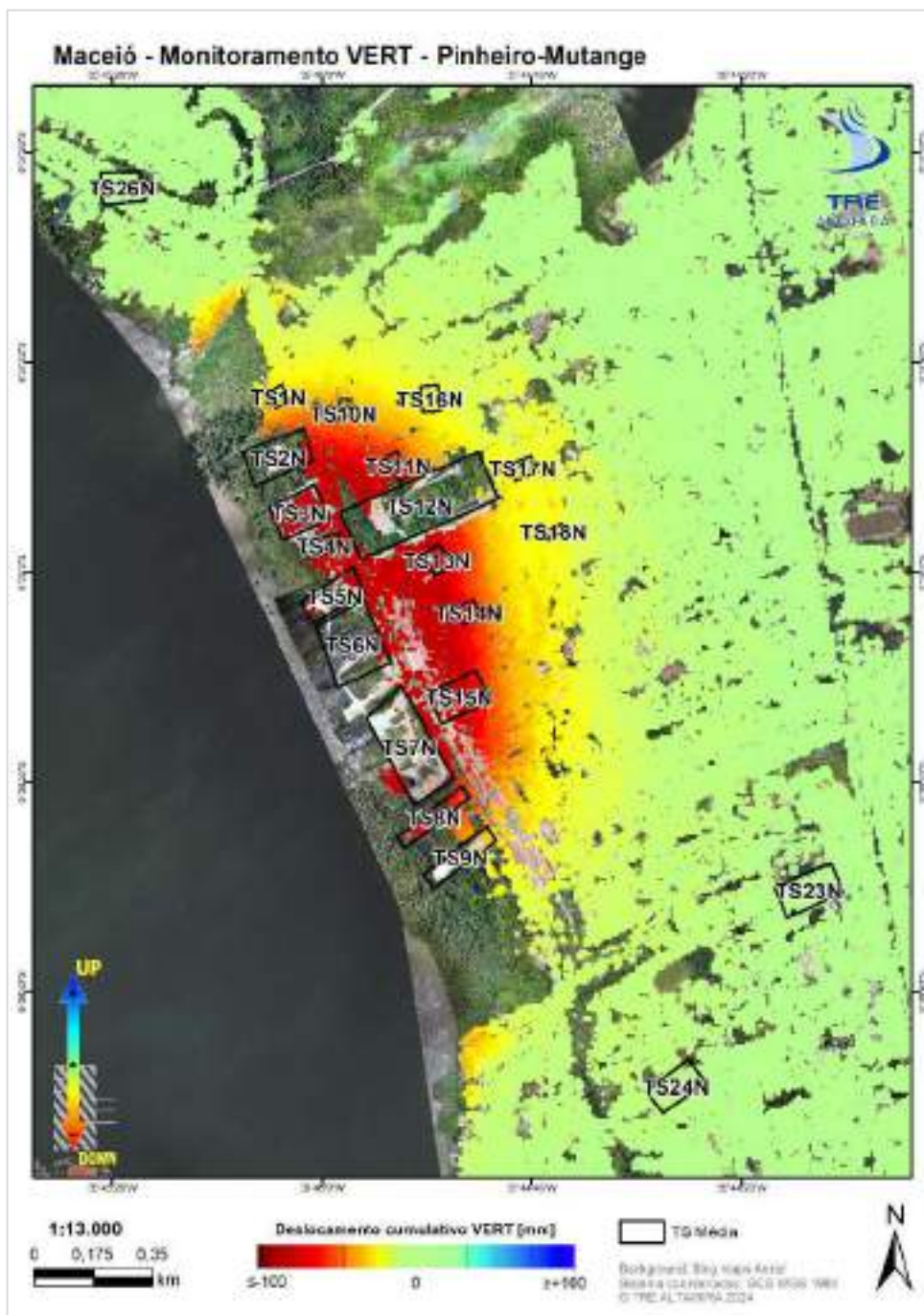
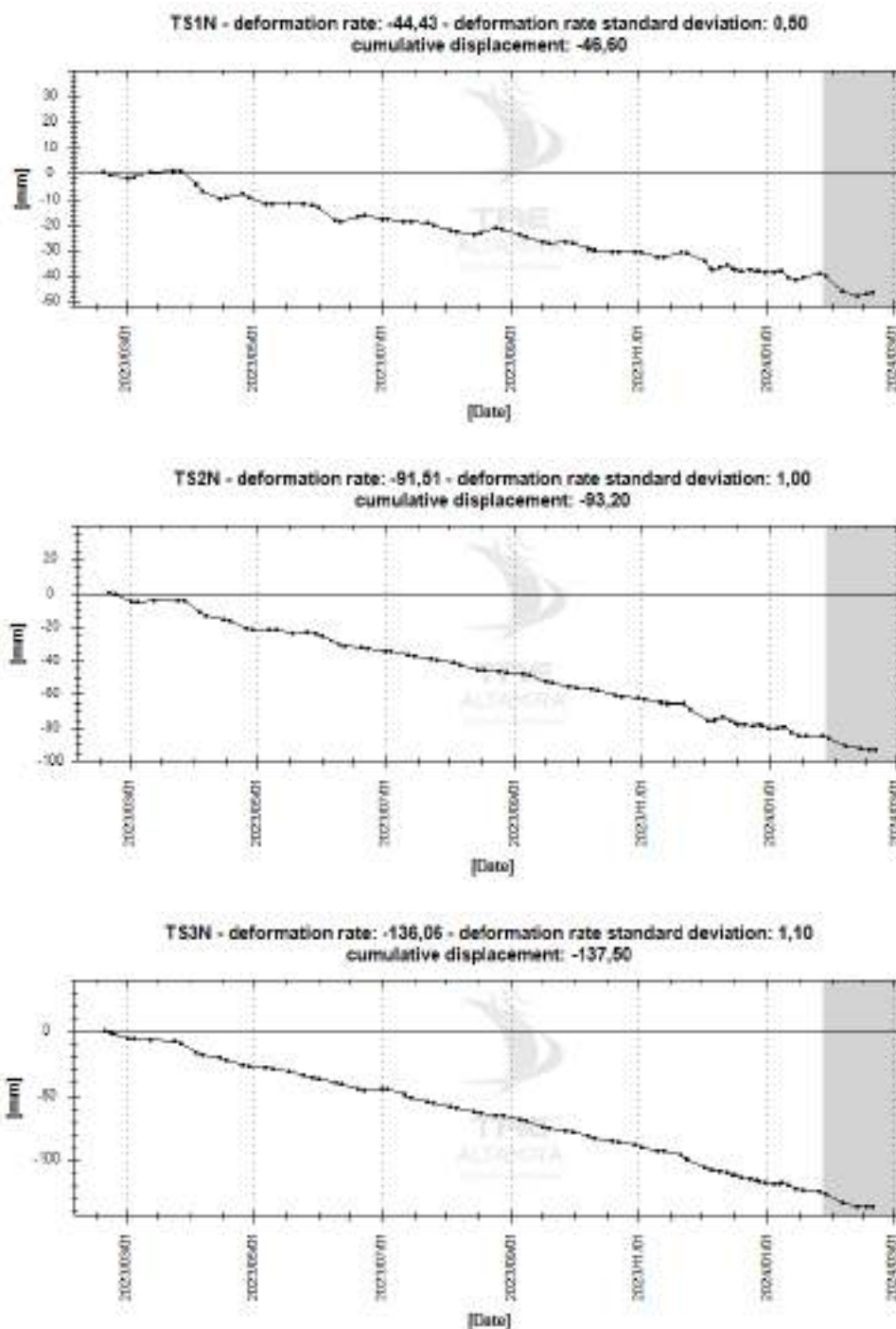
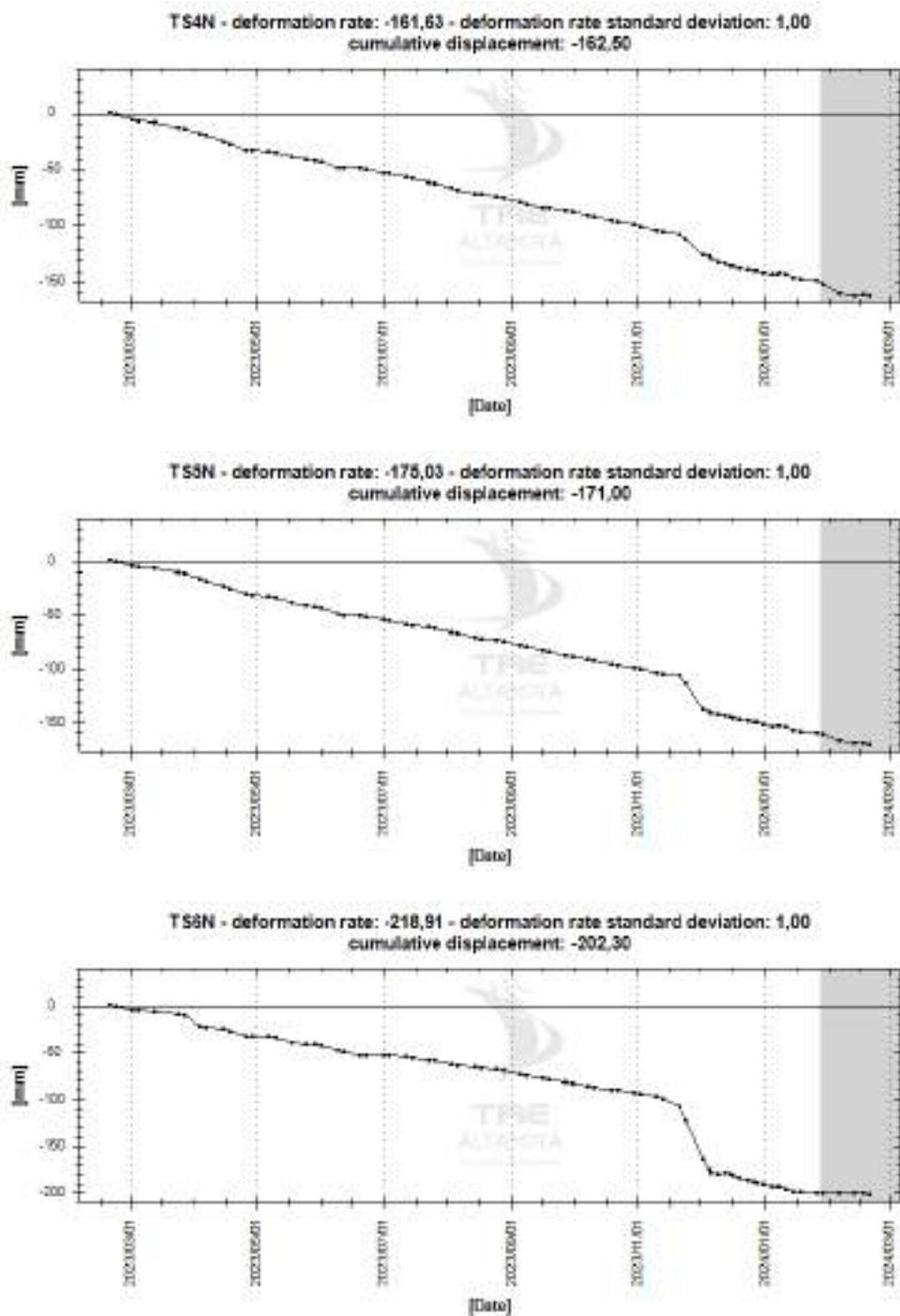


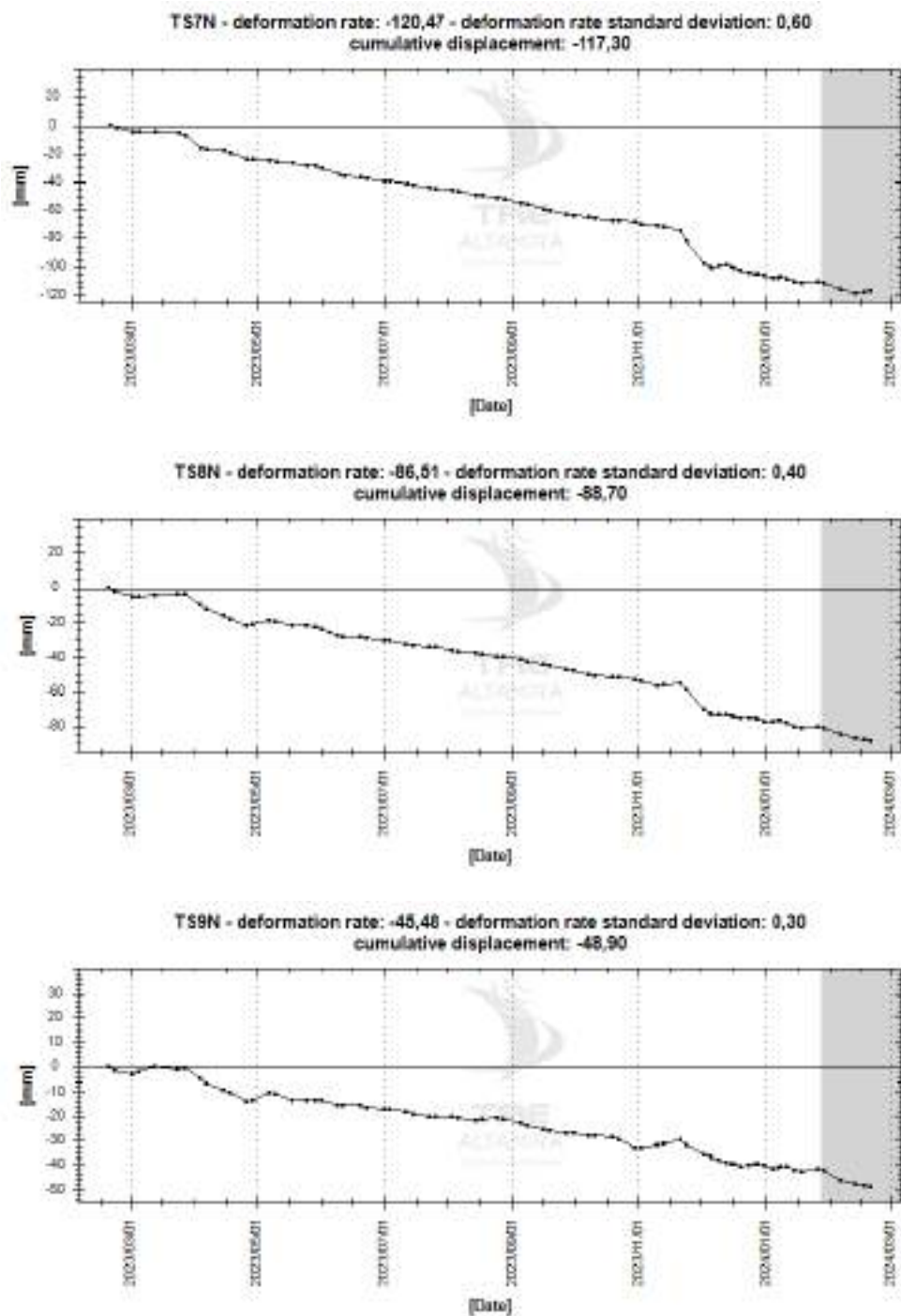
Figura 11: Detalhe de deslocamentos Verticais obtidos mediante à análise SqueeSAR® (fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024) sobre os bairros Pinheiro e Mutange, AOI Norte.

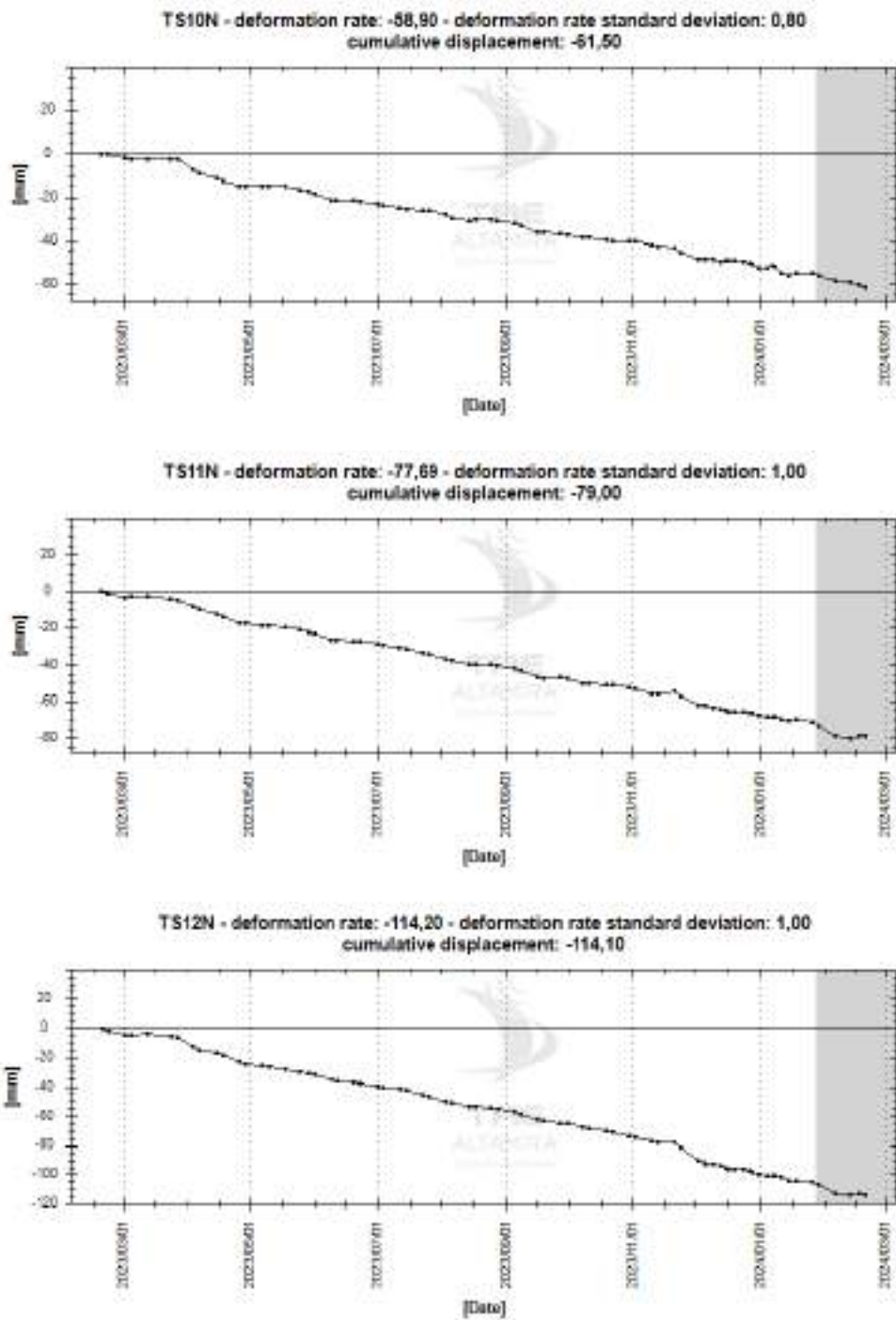
Neste período, TS1N a TS18N continuam a apresentar tendência linear de velocidade; os maiores valores médios registrados foram em TS6N, chegando a -202,30 mm de deslocamento

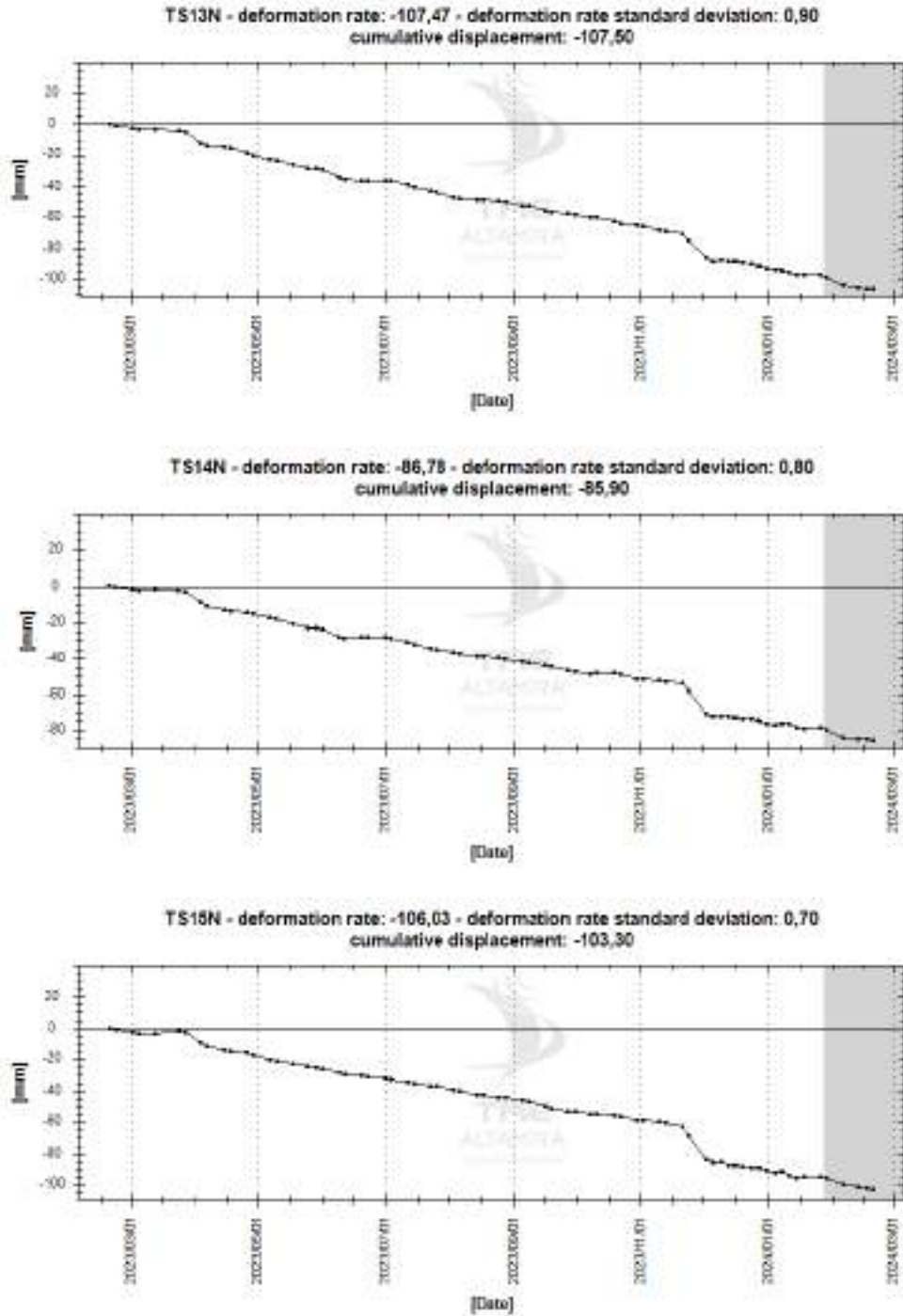
cumulativo e velocidade de -218,91 mm/ano; já os polígonos TS23N, TS24N e TS26N apresentam movimento de baixíssima magnitude, com o polígono TS24N tendo maior valor dentre os três, com velocidade -4,07 mm/ano. Tais tendências de movimentação na área continuarão a ser observadas nas atualizações seguintes.

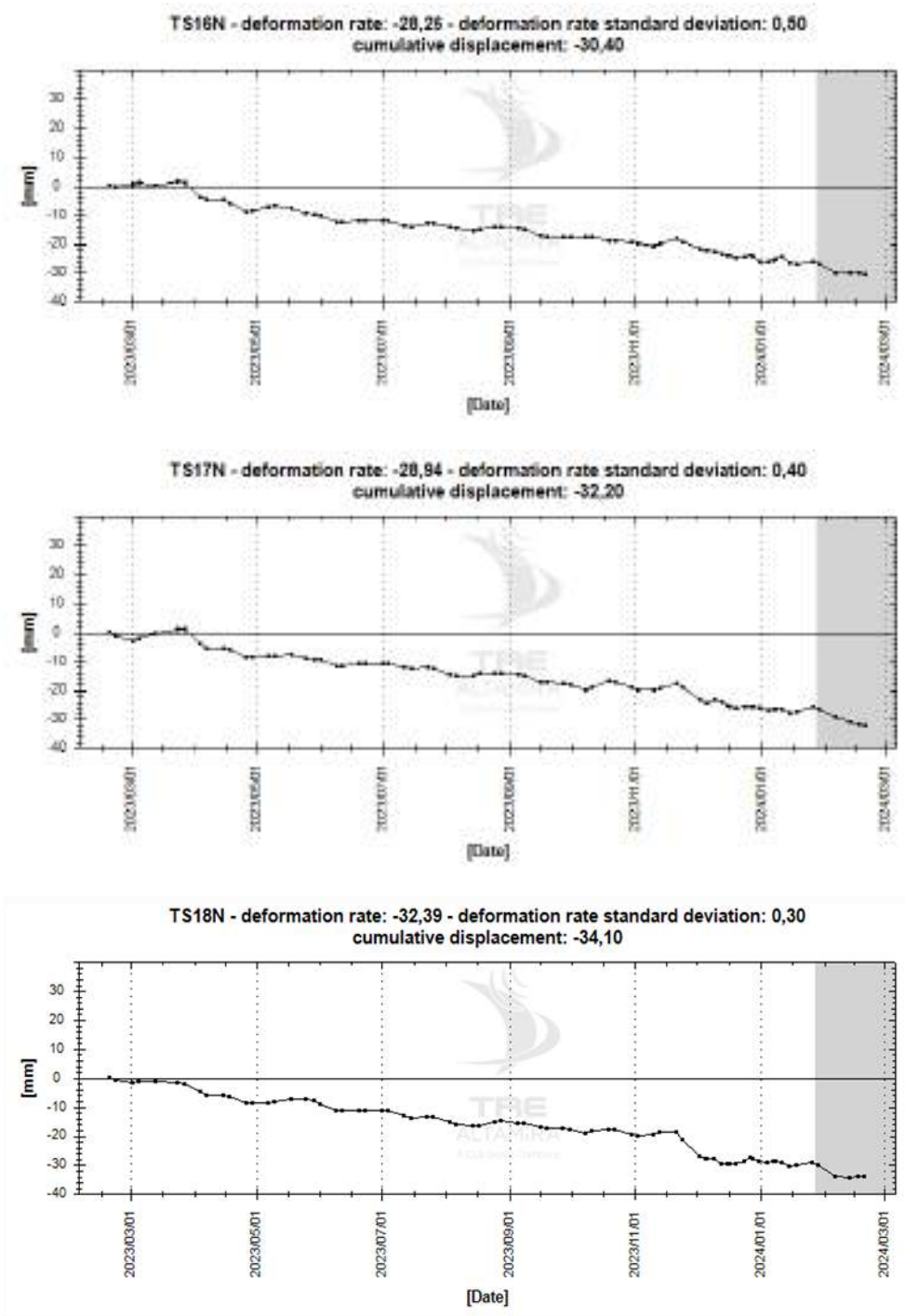












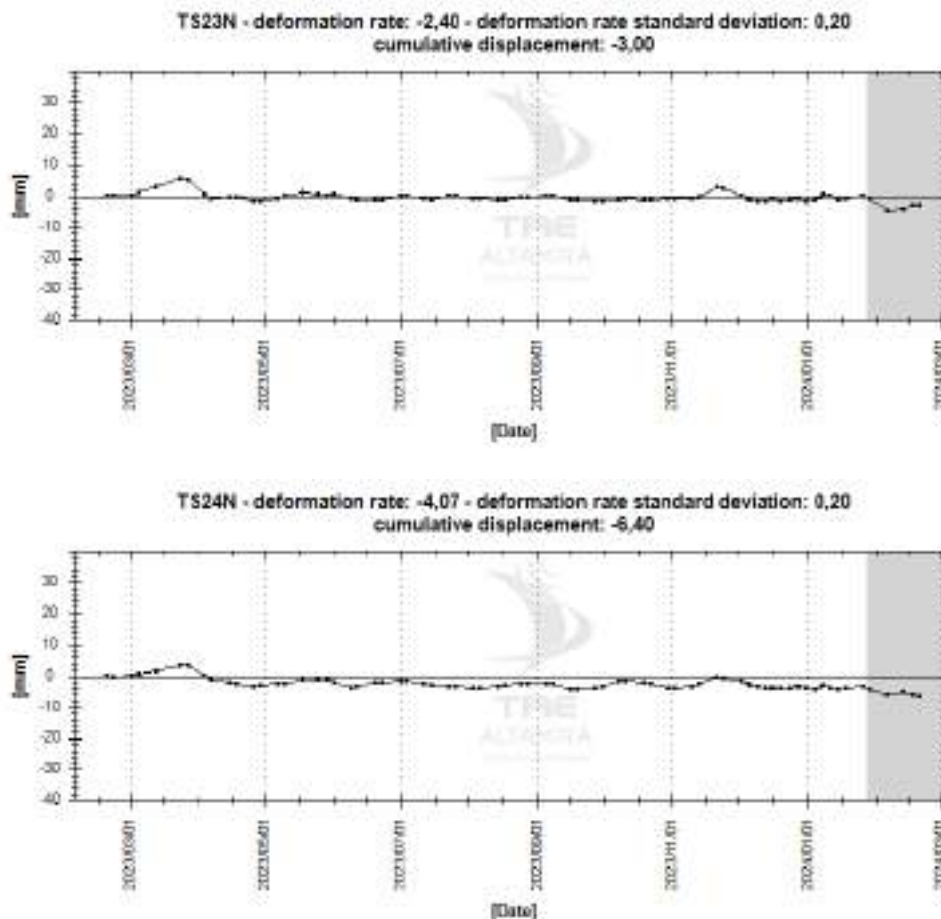


Figura 12: TS médias [VERT] dos polígonos de monitoramento (TS1N a TS26N) na área de Pinheiro-Mutange e imediações (Farol, Flexal)

3.2.1.2. Resultados - Geometria Horizontal

A seguir, as Figura 13, Figura 14 e Figura 15 mostram, respectivamente, os mapas de deslocamento cumulativo anuais, trimestrais, e mensais para a componente leste-oeste na região de deslocamento em Pinheiro-Mutange.

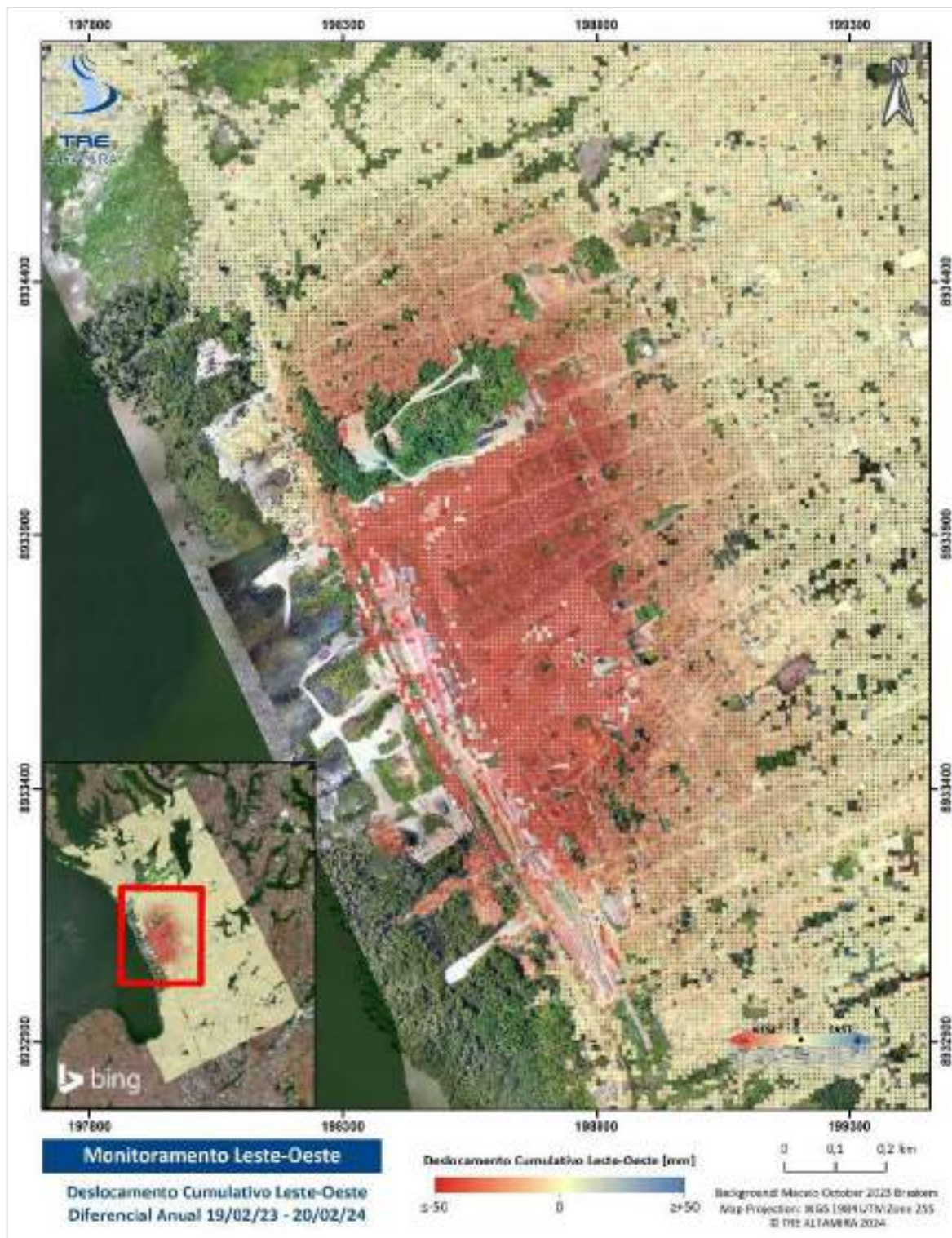


Figura 13: Mapa de deslocamento cumulativo anual [E-W] para a área de Pinheiro-Mutange; período de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024.



Figura 14: Mapa de deslocamento cumulativo trimestral [E-W] para a área de Pinheiro-Mutange; período de novembro de 2023 a fevereiro de 2024.



Figura 15: Mapa de deslocamento cumulativo mensal [E-W] para a área de Pinheiro-Mutange; período de janeiro de 2024 a fevereiro de 2024. Vale ressaltar que a escala para o mapa mensal é menor que a dos mapas anteriores visando destacar as mudanças em menor escala que ocorrem de um mês ao outro.

Tal como na componente vertical, podemos observar que no período de um ano há um gradiente de deformação significativo na região, sendo que nos últimos três meses há uma concentração de deslocamento às margens da lagoa, sugerindo um máximo local de



deformação neste período; para o mapa de deslocamento cumulativo diferencial mensal, a deformação continua a se mostrar de menor magnitude, o que sugere uma tendência de estabilização no movimento em direção a oeste presente na área.

A Figura 16 e Figura 17 mostram as seções transversais para a velocidade horizontal na área do foco de deslocamento em Pinheiro-Mutange. As seções têm, aproximadamente, orientações norte-sul e noroeste-sudeste respectivamente e comparam os períodos de estudo completo (junho de 2019 a janeiro de 2024), trimestral (novembro de 2023 a janeiro de 2024) e mensal (janeiro de 2024 a fevereiro de 2024). A concentração de deslocamento horizontal se dá principalmente na porção central da zona de deformação, reduzindo-se mais conforme se distancia da margem da lagoa.

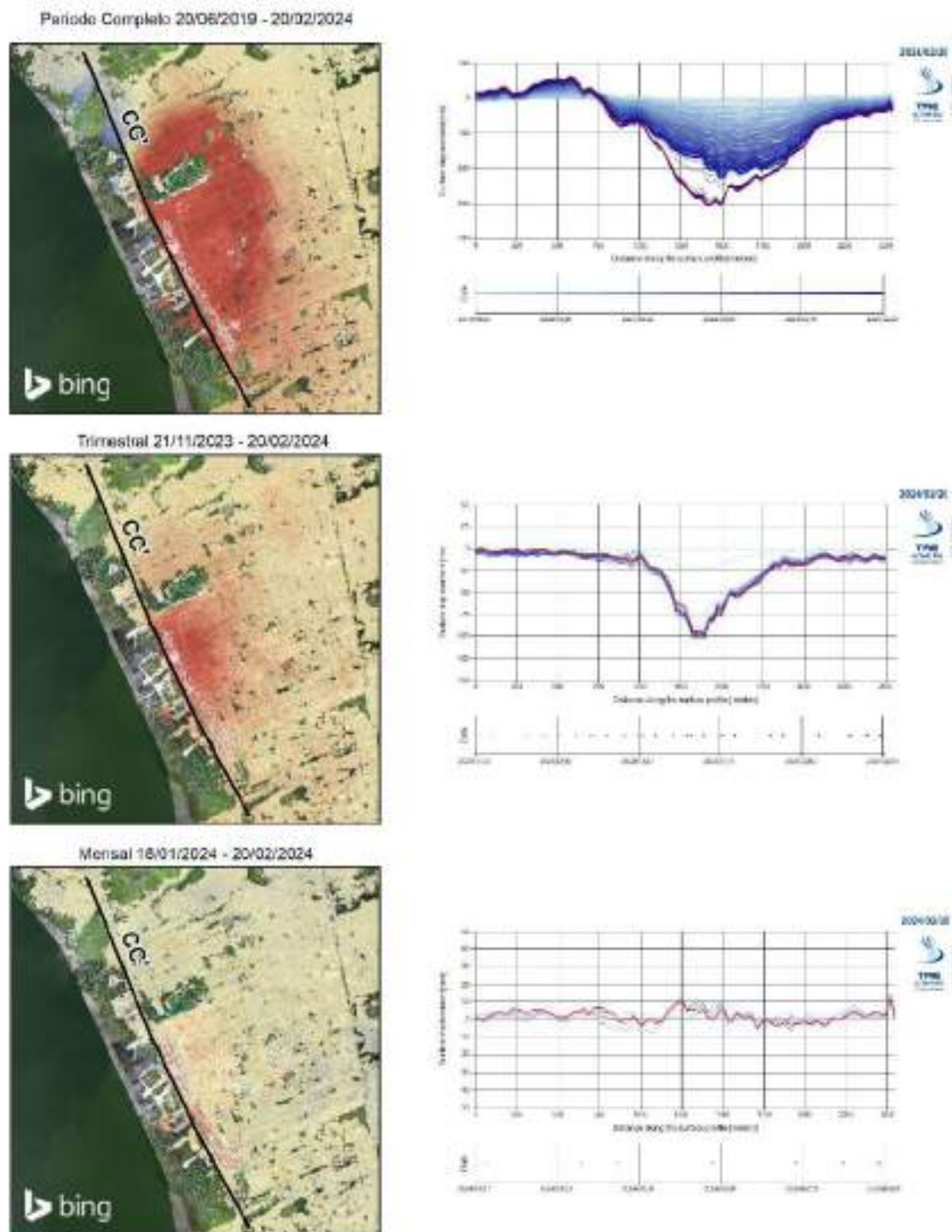


Figura 16: Seções transversais do deslocamento horizontal (períodos anual, trimestral e mensal) traçadas sobre o foco central de deformação, na direção norte-sul, em Pinheiro-Mutange, AOI Norte. As linhas mais escuras representam atualizações mais recentes

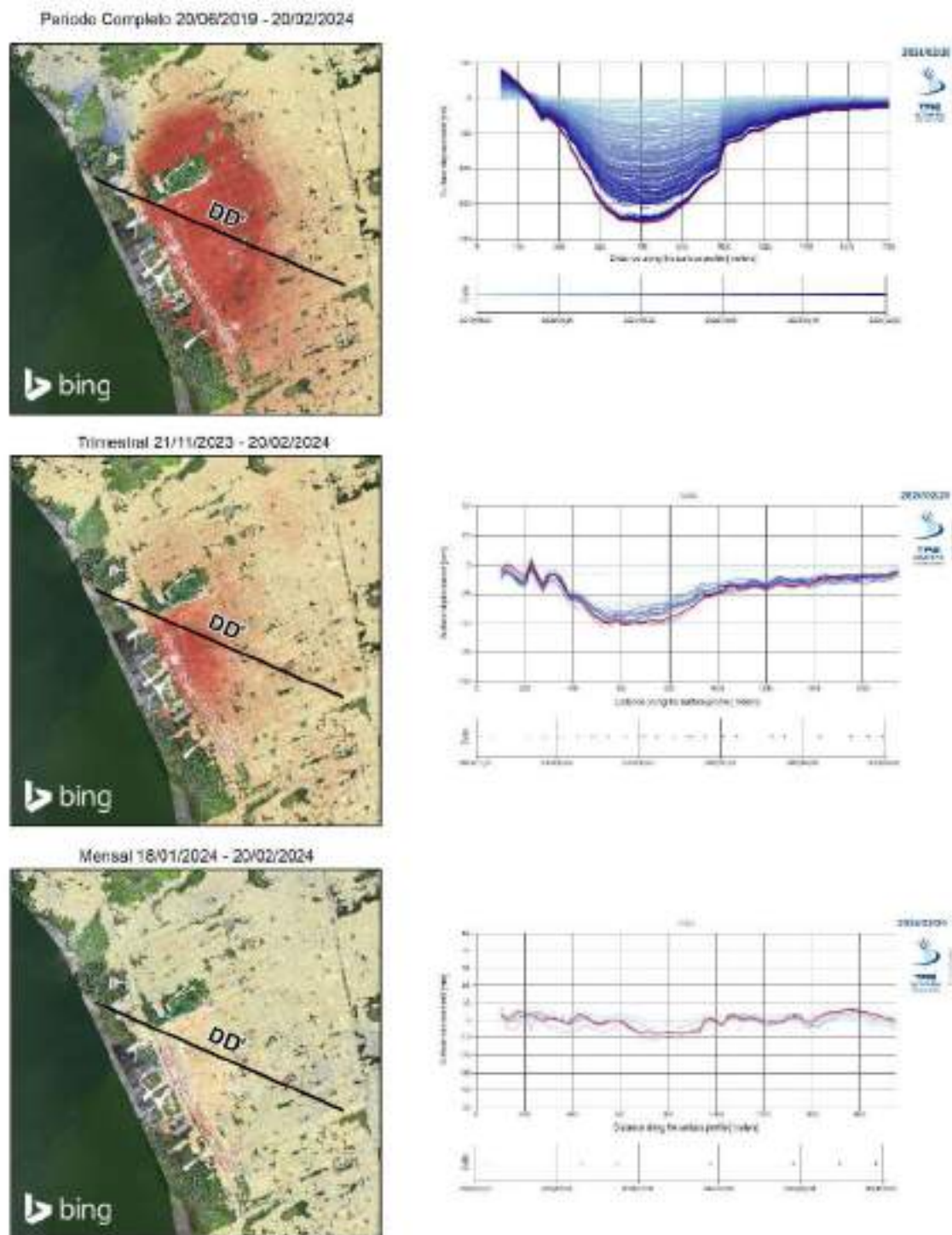


Figura 17: Seções transversais do deslocamento horizontal (períodos anual, trimestral e mensal) traçadas sobre o foco central de deformação, na direção noroeste-sudeste, em Pinheiro-Mutange, AOI Norte. As linhas mais escuras representam atualizações mais recentes

A seguir, na Figura 18, é apresentado o mapa de velocidade, usando o período de análise de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024, com os polígonos de monitoramento da região e suas

respectivas séries temporais. A Figura 19 mostra as TSs médias dos polígonos de monitoramento da área, para o período de um ano. Neste período, os maiores valores horizontais registrados foram na TS6N, chegando a -131,00 mm de deslocamento cumulativo e -158,97 mm/ano de velocidade.

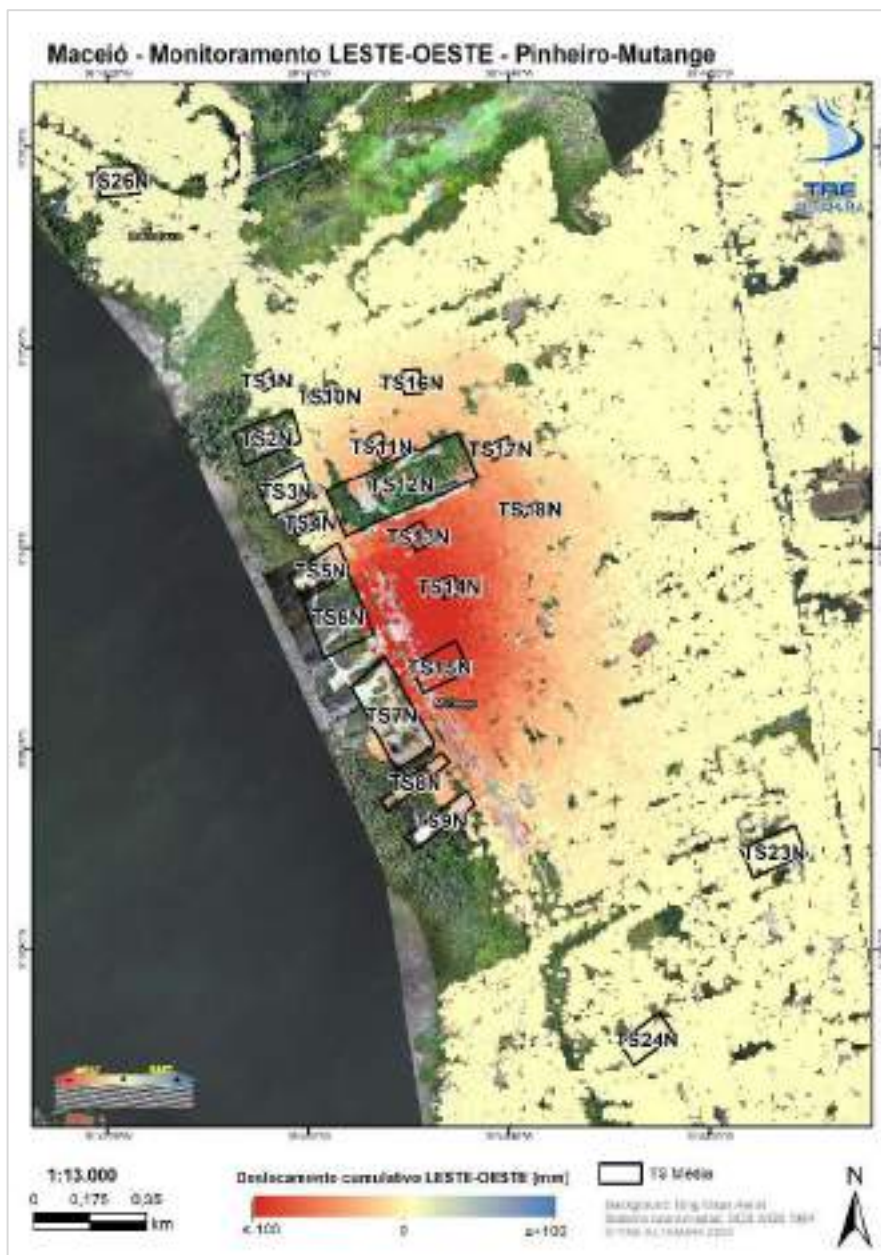
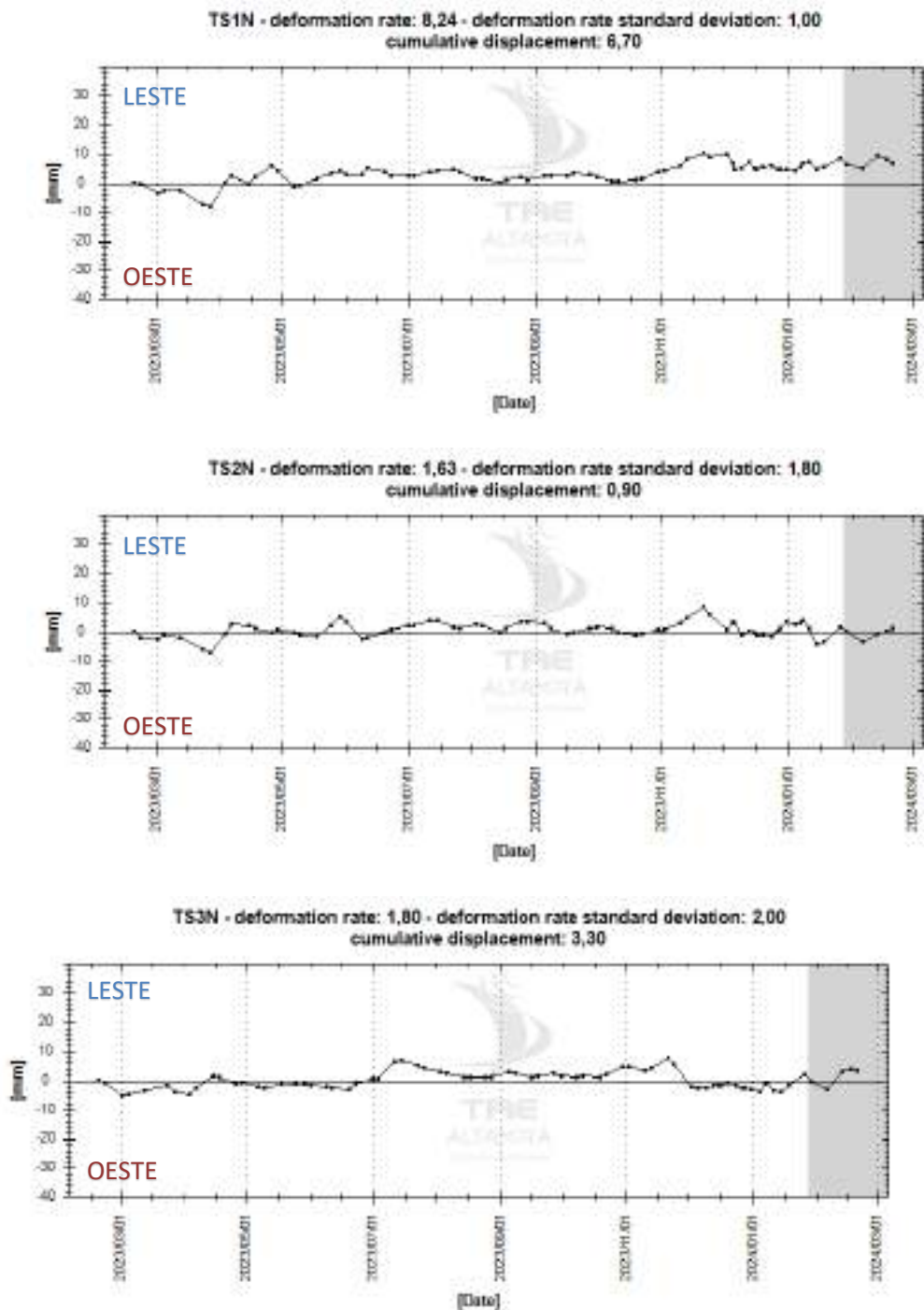
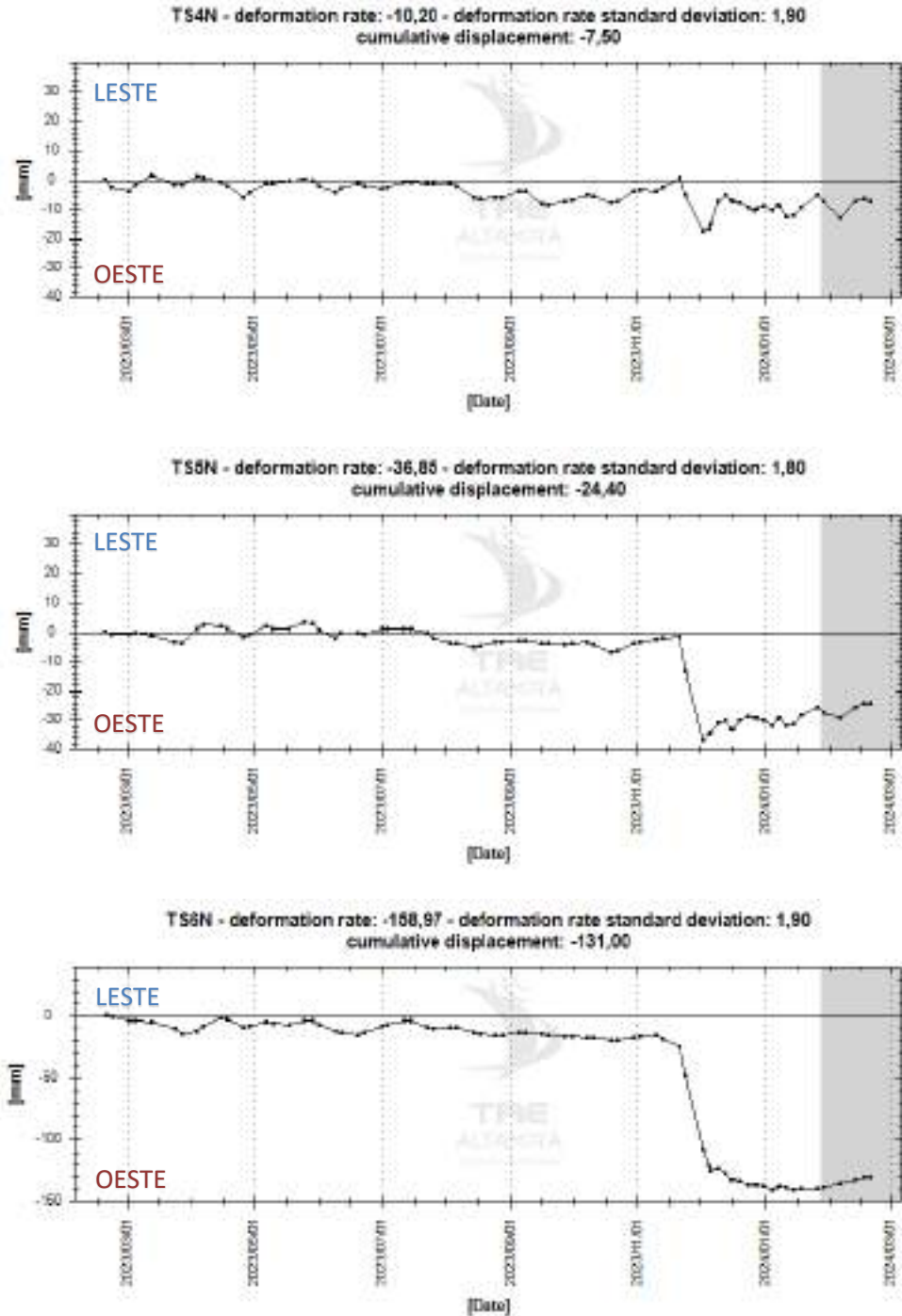


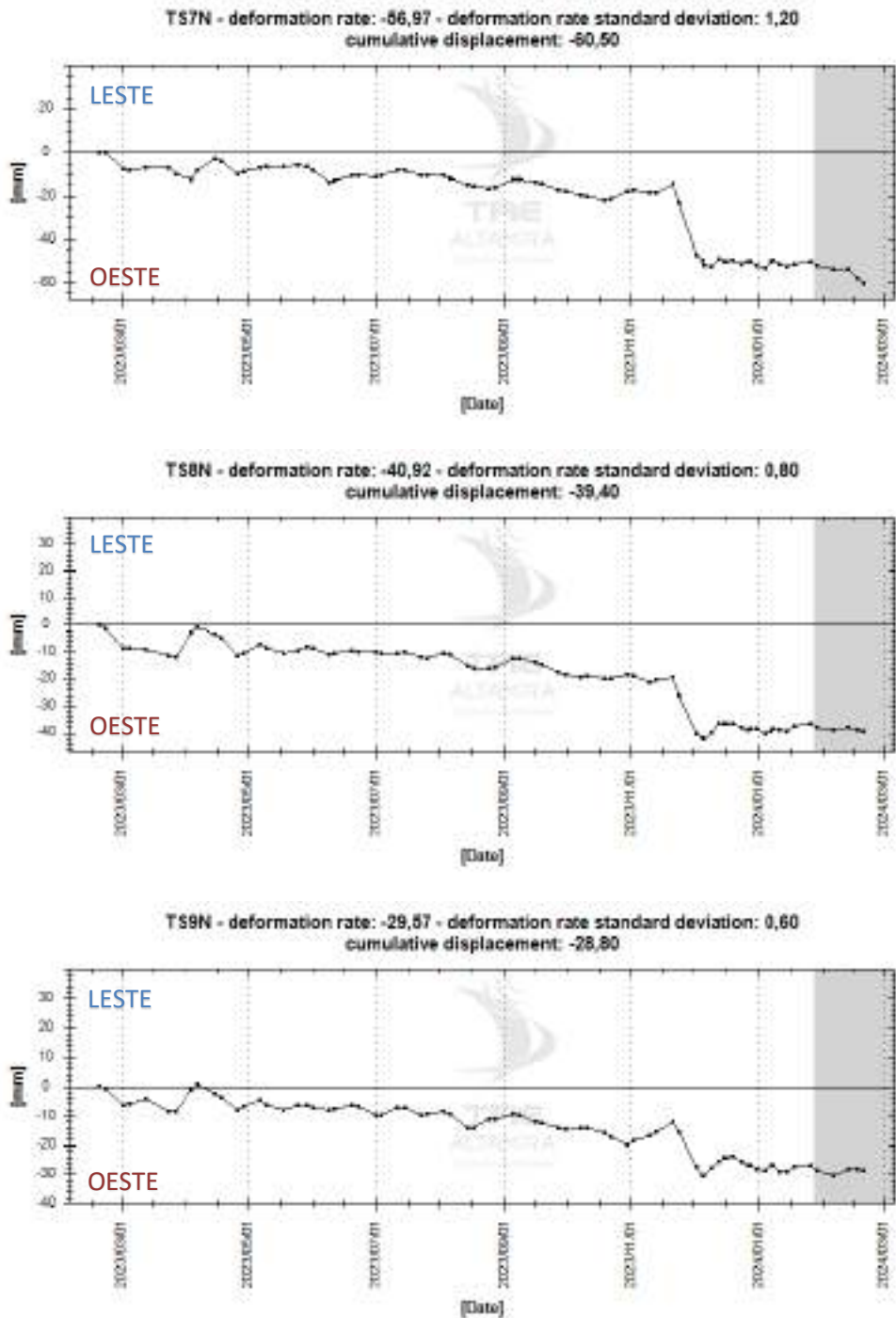
Figura 18: Detalhe de deslocamentos acumulados Leste-Oeste obtidos mediante a análise SqueeSAR® (janeiro de 2023 a janeiro de 2024) sobre Pinheiro e Mutange.

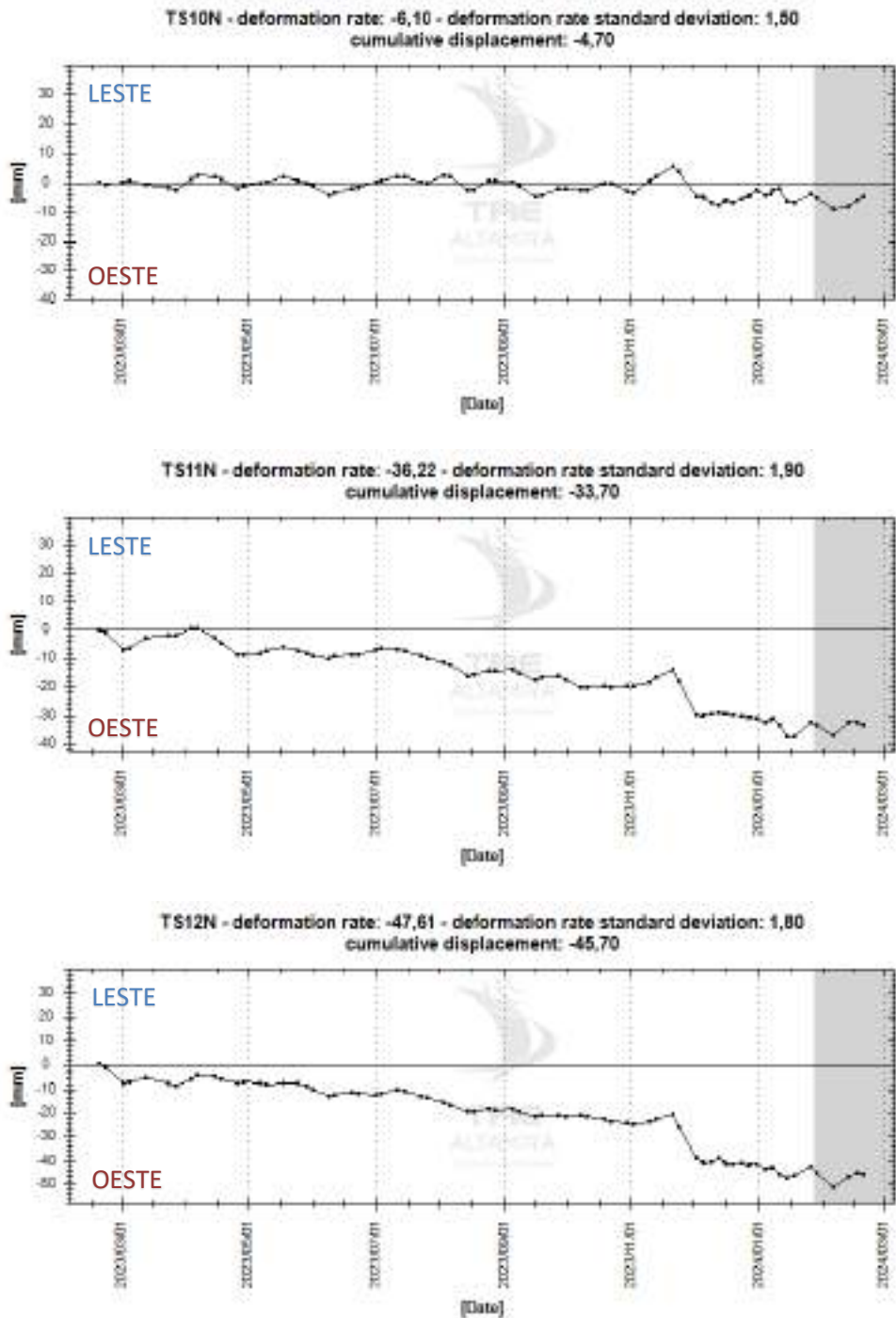
Para o período avaliado, as séries temporais dos polígonos apresentam tendência de movimentação linear. Esta tendência continuará a ser observada nas atualizações seguintes.

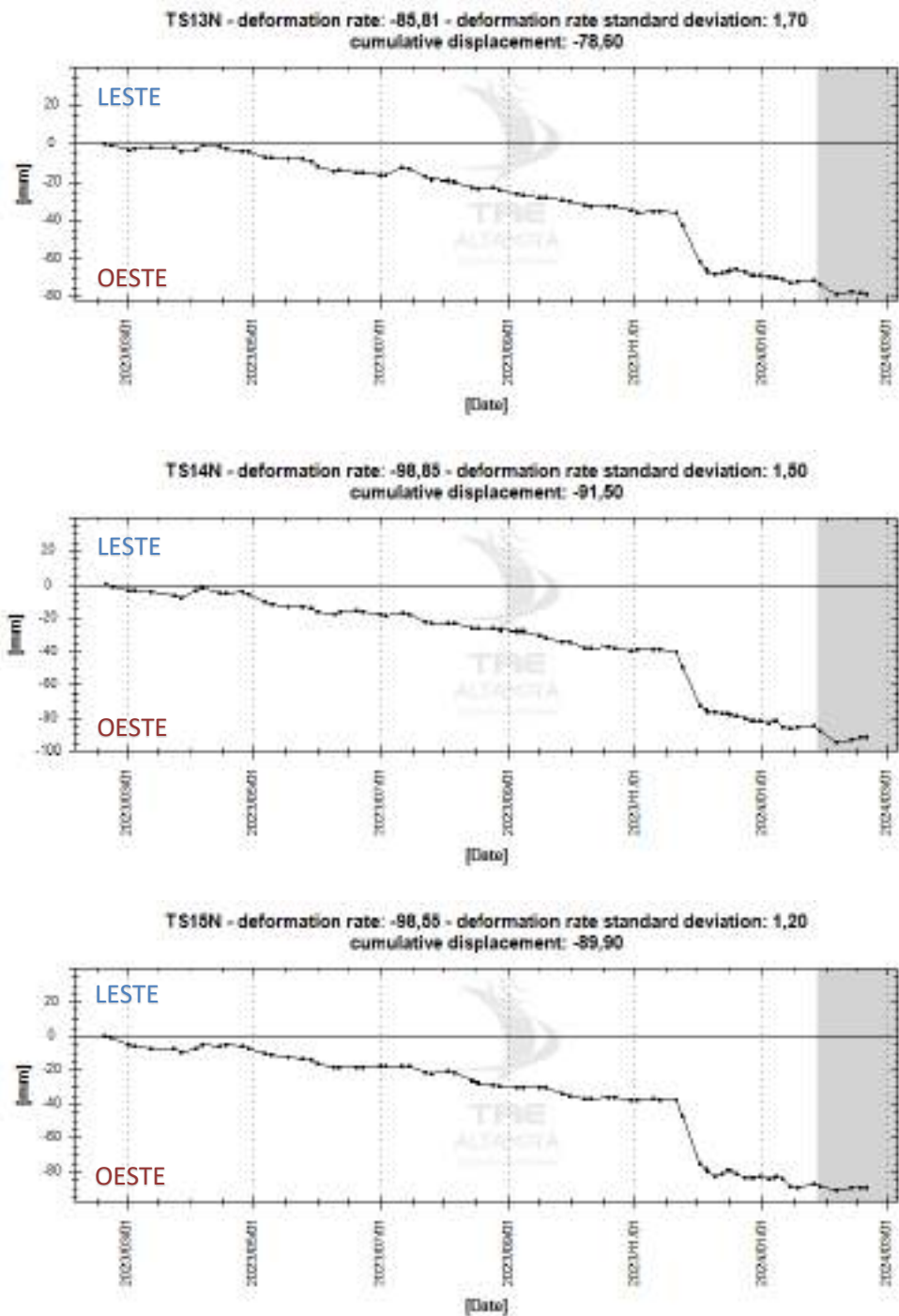
Os polígonos TS1N, TS23N, TS24N e TS26N apresentam tendência de movimentação a leste, porém com menor magnitude em comparação aos outros polígonos de monitoramento presentes na área.

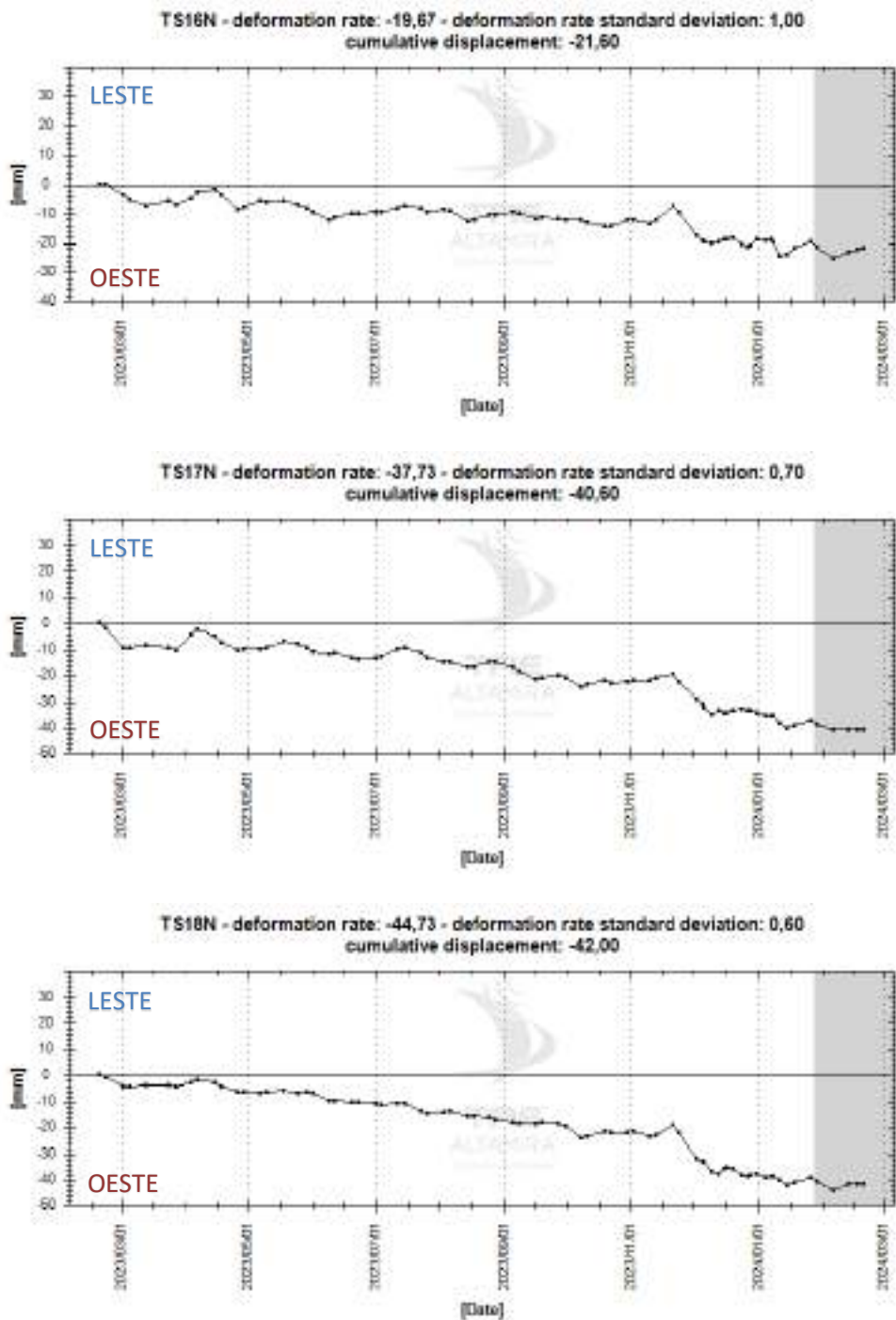












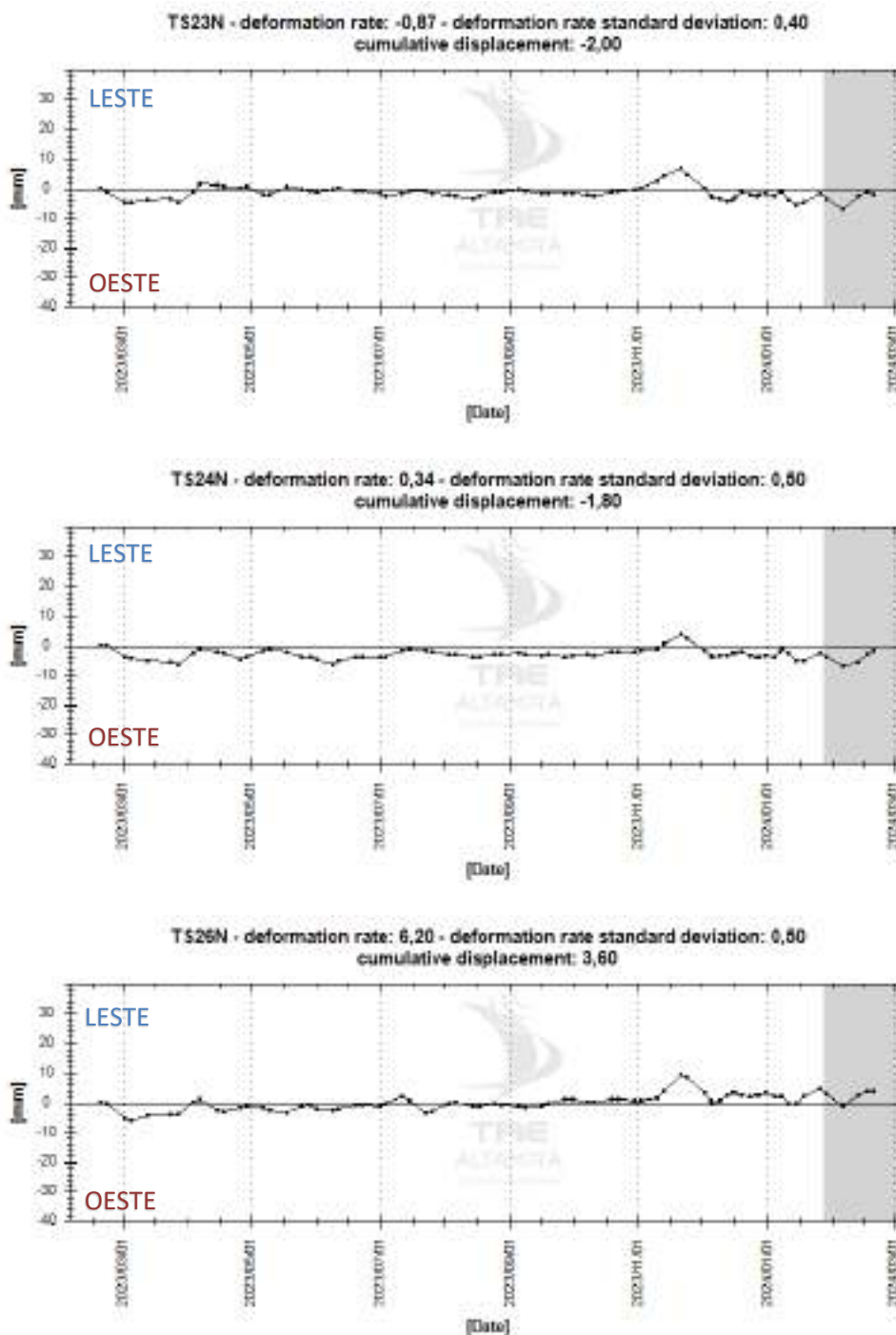


Figura 19: TSs médias [E-W] dos polígonos de monitoramento (TS1N a TS26N) na área de Pinheiro-Mutange e suas áreas nas imediações (Farol, Flexal).

3.2.2. Bom Parto – Levada

Em geral, Bom Parto-Levada é uma área com baixa magnitude, sendo a componente vertical a única componente de velocidade notável. A seguir, serão apresentados os resultados para esta componente na região – sua velocidade cumulativa no período de um ano e as respectivas TSs médias dos polígonos de monitoramento da área.

3.2.2.1. Resultados – Geometria Vertical

A Figura 20 mostra uma área de deslocamento nos bairros Bom Parto e Levada, no período de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024. O movimento observado na área destacada apresenta velocidade média de baixa magnitude, porém com algum nível de ruído na série temporal, e com tendência de estabilidade no último período de estudo para o período estudado; este comportamento continuará sendo observado nas próximas atualizações.

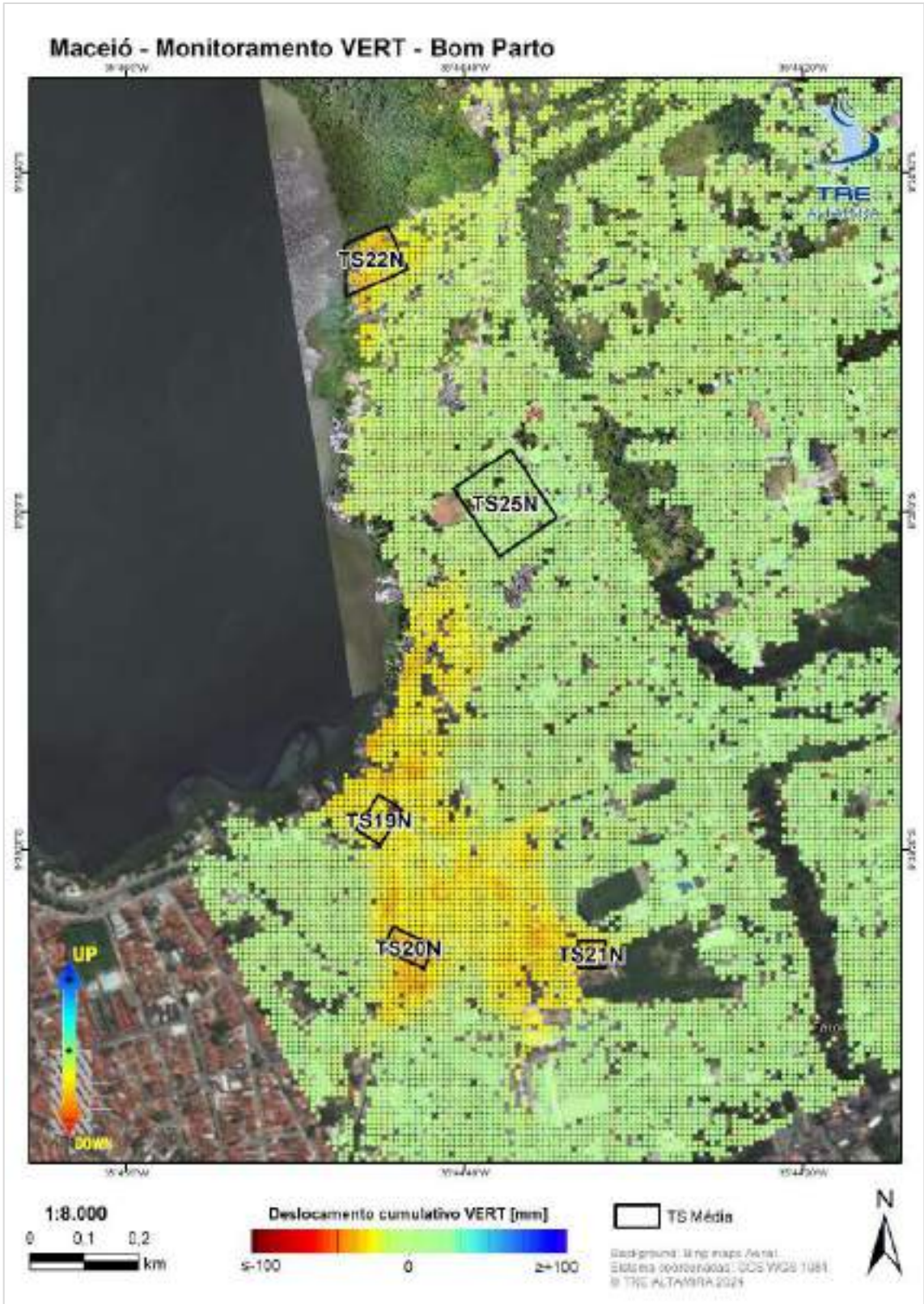
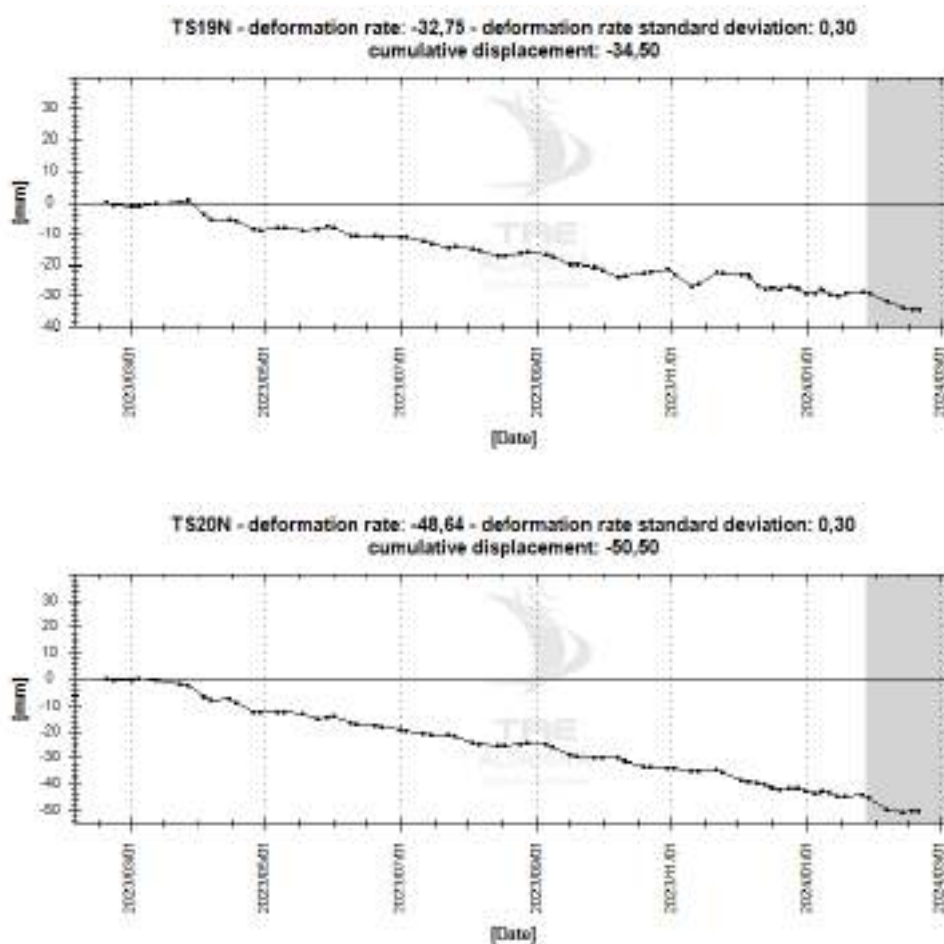


Figura 20: Taxa de deslocamento anual [VERT] SqueeSAR® sobre Bom Parto e Levada.

A Figura 21 mostra a evolução das TS médias sobre os bairros Bom Parto e Levada. O maior deslocamento médio apresentado foi na TS20N, apresentando deslocamento cumulativo de -50,50 mm e velocidade média anual de -48,64 mm/ano. A série temporal do polígono TS25N apresenta estabilidade no movimento e baixíssima magnitude no período analisado.



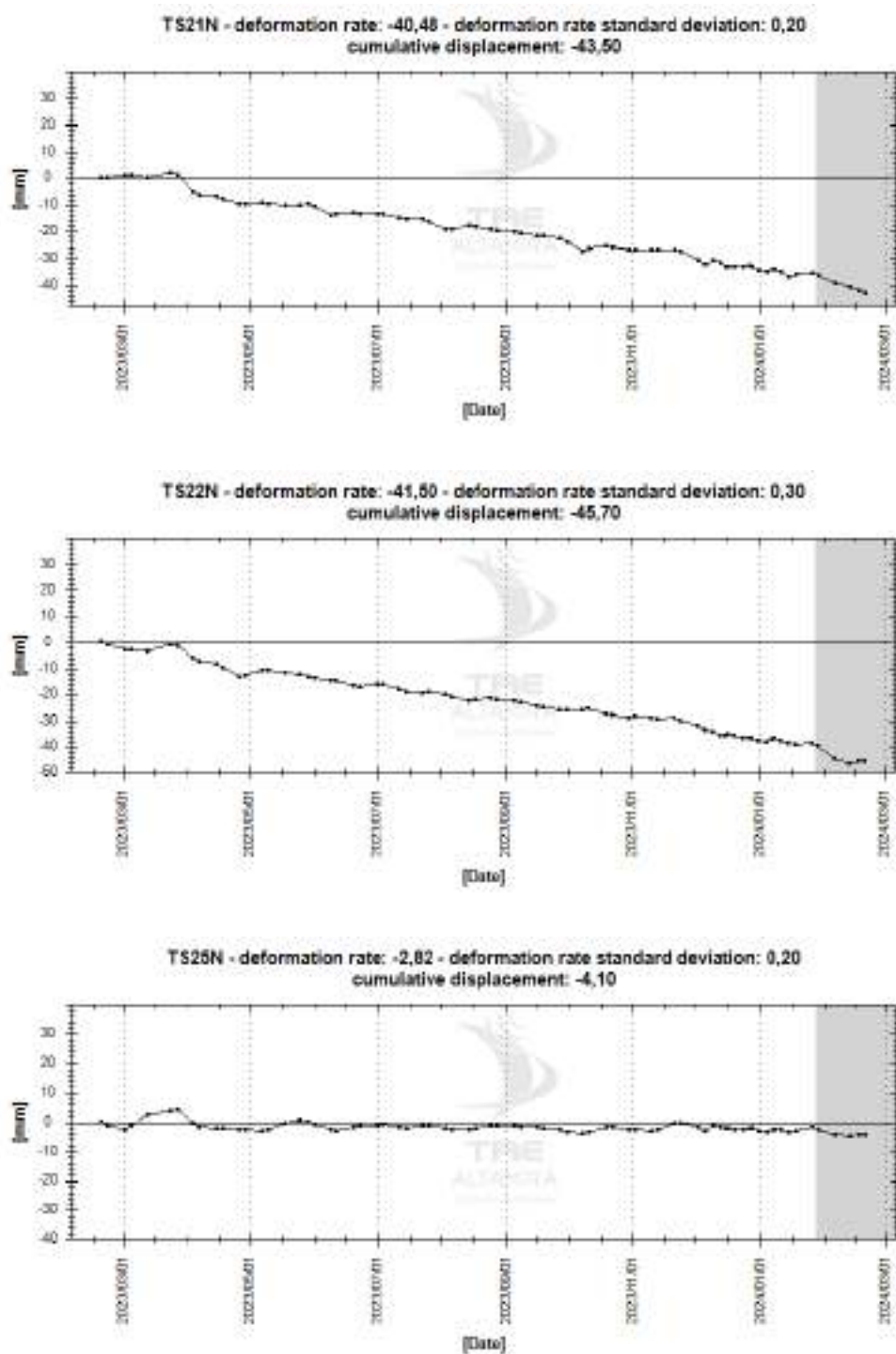


Figura 21: TSs Médias [VERT] sobre Bom Parto e Levada.



4. Conclusões

A atualização 2D SqueeSAR® de fevereiro de 2024 foi realizada com 154 imagens do satélite TerraSAR-X em geometria ascendente e 159 imagens em geometria descendente, cobrindo o período de junho de 2019 a fevereiro de 2024. Do mesmo modo, nos pontos coincidentes de ambas as geometrias LOS, foi obtida a decomposição 2D vetorial do movimento Vertical e Horizontal Leste-Oeste.

O número de MPs foi muito elevado, exceto nas áreas com vegetação densa. O estudo mostra um fenômeno de deslocamento importante afetando os bairros Mutange, Bebedouro, Pinheiro e Bom Parto, com um incremento progressivo na magnitude dos deslocamentos em direção à margem da lagoa Mundaú. Abaixo seguem os pontos principais:

- O número de MP (pontos de medição) identificados na AOI Norte é muito alto, conferindo uma densa cobertura da área, graças às características urbanas da área;

Satélite	Geometria	Entrega	# imagens	# de MP	MP / km ²
TSX	Asc	Fevereiro de 2024	154	921.318	59.494
TSX	Desc	Fevereiro de 2024	159	855.041	55.215
TSX	VERT / E-W	Fevereiro de 2024	311	97.729	6.311

- Em algumas áreas, não foi possível encontrar MP, possivelmente devido à presença de vegetação, áreas agrícolas ou áreas com dinâmica no terreno (obras, escavações, deposições, terraplanagens etc.) que ocasionam mudança na refletividade da superfície;
- Nesta atualização, não houve nenhuma falha de aquisição de imagens, todas foram adquiridas pelo satélite conforme programação; também não foi registrado nenhum efeito atmosférico anômalo que pudesse causar alguma mudança de comportamento nos resultados gerados;
- O estudo revela deslocamentos importantes nos bairros Mutange, Bebedouro, Pinheiro e Bom Parto; o deslocamento vertical mais intenso foi observado na região das margens da lagoa, incluindo a área onde a Braskem operava; os mapas de deslocamento cumulativo diferenciais sugerem uma tendência de estabilização do movimento em ambas as componentes (vertical, horizontal) no último mês, esta tendência será observada nas atualizações subsequentes;



- Na área de Pinheiro-Mutange, para o período que se estende de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024, o polígono que apresentou maior média de velocidade vertical foi o polígono TS6N, com -202,30 mm de deslocamento cumulativo e velocidade de -218,91 mm/ano;
- Também na área de Pinheiro-Mutange, o mesmo polígono, TS6N, apresentou a maior média de velocidade horizontal, chegando a -131,00 mm de deslocamento cumulativo e velocidade de -158,97 mm/ano;
- Pinheiro-Mutange apresenta tendência de estabilização da movimentação para as duas componentes. Esta tendência será monitorada e atualizada em cada atualização subsequente;
- Em Bom Parto-Levada, a maior média de velocidade vertical registrada foi em TS20N, apresentando deslocamento cumulativo de -50,50 mm e velocidade média anual de -48,64 mm/ano. A área como um todo apresenta movimentação de magnitude muito baixa;

O projeto continuará com as atualizações mensais das medidas de deslocamentos nas geometrias ascendente, descendente e 2D (Vertical e Leste-Oeste), com precisão estável, considerando que o conjunto de dados processado atingiu robustez capaz de garantir um desvio padrão das medidas < 1 mm/ano. As análises continuarão focadas nas mudanças das tendências das TSs com a finalidade de acompanhar a continuidade ou não da desaceleração dos movimentos observada nos últimos meses do estudo.

Apêndice A – Dados Entregues

Os dados SqueeSAR® foram entregues em formato shapefile, no sistema de coordenadas geográficas WGS84. Podem ser carregados e visualizados em qualquer sistema de informação geográfica (GIS).

O shapefile das análises ascendente, descendente e geometria vertical e horizontal Leste-Oeste, contém detalhes dos pontos identificados, incluindo relação de deslocamento, elevação, séries temporais de deslocamento e índices de qualidade (coerência e desvio padrão). A informação associada aos arquivos do banco de dados (dbf) está descrita na Tabela 4 (*single geometry data*) e na Tabela (geometria dupla 2D Vertical e Horizontal Leste-Oeste).

Um arquivo de metadado (.xml) e o relatório do processamento estão associados a cada shapefile e contém especificações técnicas do processamento das análises feitas. A lista completa dos dados entregues encontra-se no Tabela 3.

Todos os resultados SqueeSAR® foram carregados no portal online TREmaps®. O acesso aos dados é através de um usuário e senha seguros (somente usuários autorizados podem ter acesso aos resultados SqueeSAR®).

Tabela 4: Descrição dos valores na base de dados para a geometria ascendente e descendente

Campo	Descrição
CODE	Código de identificação do MP
HEIGHT	Elevação Topográfica [m] referidos em WGS84 elipsoide
H_STDEV	Desvio padrão da Altitude [m]
VEL	Relação de deslocamento do MP. Valores positivos representam deslocamentos de aproximação ao <i>satélite</i> ; valores negativos correspondem a deslocamentos de afastamento do <i>satélite</i> [mm/ano]
V_STDEV	Desvio padrão dos deslocamentos [mm/ano]
ACC	Aceleração [mm/ano ²]
A_STDEV	Desvio padrão da aceleração [mm/ano ²]
COHERENCE	Índice que varia entre 0 e 1, relacionado com a fase do MP (<i>phase noise</i>) e a capacidade de adaptação ao modelo adotado para lidar com o comportamento do MP.
STD_DEF	O valor da barra de erro para cada MP [mm]; representa o desvio padrão das medidas com relação ao modelo analítico de deformação.



EFF_AREA Representa a extensão efetiva da área [m²] coberta pelos *Distributed Scatterers* (DS). Para os *Permanent Scatterers* (PS), o valor é 0.

Dyyyymmdd Colunas que contém os valores de deslocamento das sucessivas imagens relativas a primeira imagem disponível. Os valores estão representados em [mm]

Tabela 5: Descrição dos valores na base de dados para a geometria vertical e horizontal.

Campo	Descrição
CODE	Código de identificação do MP
VEL_V	Relação de deslocamento vertical do MP. Valores positivos representam deslocamentos de elevação; valores negativos correspondem a deslocamentos de subsidência ou afundamento [mm/ano]
VEL_E	Relação de deslocamento horizontal do MP. Valores positivos representam deslocamentos na direção Leste; valores negativos correspondem a deslocamentos na direção Oeste [mm/ano]
V_STDEV_{V/E}	Desvio padrão dos deslocamentos em Vertical ou Leste-Oeste [mm/ano]
Dyyyymmdd	Colunas que contém os valores de deslocamento das sucessivas imagens relativas a primeira imagem disponível. Os valores estão representados em [mm]

Tabela 6: Dados entregues.

Análise	Nome do arquivo
TSX Ascendente	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S.shp
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S.dbf
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S.shx
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S.prj
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S.xml
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S_45.kmz
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S_50.kmz
	MACEIO_TSX_T11_A_FEB2024_ES7798A052S.pdf
TSX Descendente	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S.shp



Análise	Nome do arquivo
	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S.dbf
	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S.shx
	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S.prj
	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S.xml
	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S_65.kmz
	MACEIO_TSX_T125_D_FEB2024_ES7798A053S.pdf
TSX Vertical	MACEIO_TSX_VERT_FEB2024_ES7798A054V.shp
	MACEIO_TSX_VERT_FEB2024_ES7798A054V.dbf
	MACEIO_TSX_VERT_FEB2024_ES7798A054V.shx
	MACEIO_TSX_VERT_FEB2024_ES7798A054V.prj
	MACEIO_TSX_VERT_FEB2024_ES7798A054V.xml
	MACEIO_TSX_VERT_FEB2024_ES7798A054V_70.kmz
TSX Horizontal Leste-Oeste	MACEIO_TSX_EAST_FEB2024_ES7798A055E.shp
	MACEIO_TSX_EAST_FEB2024_ES7798A055E.dbf
	MACEIO_TSX_EAST_FEB2024_ES7798A055E.shx
	MACEIO_TSX_EAST_FEB2024_ES7798A055E.prj
	MACEIO_TSX_EAST_FEB2024_ES7798A055E.xml
	MACEIO_TSX_EAST_FEB2024_ES7798A055E_35.kmz
Relatório técnico	Relatório_técnico_PO23-2216-ES_Maceio-N_Atualização2D_Fev2024.pdf

Apêndice B – Descrições Técnicas

As aquisições na geometria ascendente e descendente são determinadas pela direção de voo do satélite: ascendente, de Sul para Norte, e descendente, de Norte para Sul (Figura 22). As imagens são adquiridas na linha de visada do satélite (*Line of Sight* - LOS), na direção entre sensor radar e o alvo (no terreno). O ângulo da LOS em relação ao terreno [ângulo de incidência (Θ)] varia dependendo do satélite e dos parâmetros de aquisição. Para este estudo, o ângulo (Θ) foi:

- configuração ascendente $\Theta = \sim 28,40^\circ$
- configuração descendente $\Theta = \sim 29,51^\circ$

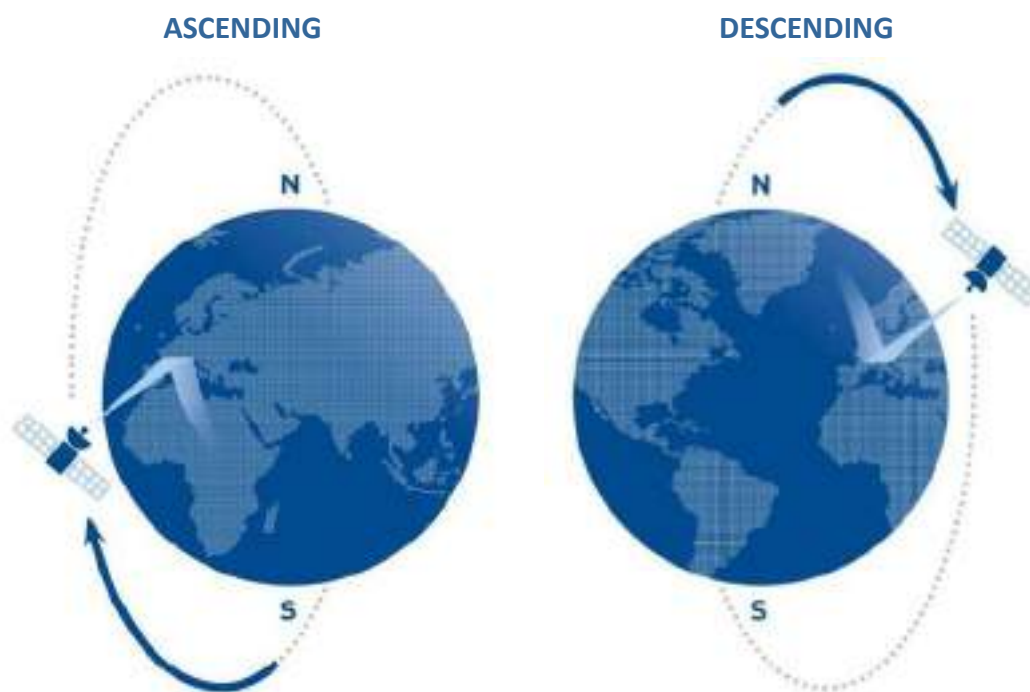


Figura 22: Órbitas Ascendente e Descendente dos satélites SAR, seguindo órbitas quase-polares.

A Figura 23 e Figura 24 mostram as geometrias ascendente e descendente de aquisição da imagem.



Figura 23: Geometria de aquisição das imagens em geometria ascendente.



Figura 24: Geometria de aquisição das imagens em geometria descendente.

Nas análises InSAR, as leituras do satélite são produzidas na linha de visada do satélite (LOS), sendo a medição tomada pelo satélite uma projeção do movimento na direção LOS do vetor real de deslocamento. Isto implica que a mesma deformação vai produzir diferentes leituras a partir de diferentes ângulos e geometrias.

A velocidade de deslocamento na LOS é calculada a partir da regressão linear do movimento medido ao longo do período completo de cobertura das imagens de satélite. Cada ponto de medição corresponde a um ponto (alvo) permanente (PS) ou ponto distribuído (DS), representado em uma escala de cor, conforme a taxa de deformação média anual medida e a direção (aproximação e afastamento do satélite). A Figura 25 mostra a geometria de aquisição na linha de visada do satélite (LOS) em voos ascendente e descendente, respectivamente. Na

mesma Figura, observa-se a projeção do movimento real em movimento LOS detectado pelo radar e processado para este estudo através da metodologia SqueeSAR®.

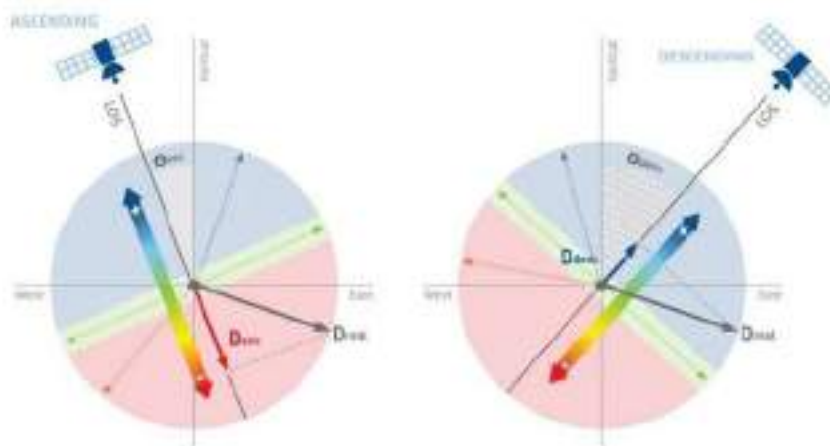


Figura 25: Geometria de aquisição e sensibilidade das órbitas ascendente (esquerda) e descendente (direita) mediante um recalque com componente na direção Leste (D_{real}).

As imagens ascendentes e descendentes são processadas separadamente, porém os resultados são combinados para estimar o Movimento 2D, o qual permite separar os componentes de movimento Vertical e Horizontal (Leste-Oeste).

A Figura 26 mostra um modelo teórico de um deslocamento com componente horizontal na direção Leste. A imagem mostra as medições obtidas nos dois modos de observação: ascendente (o movimento é de afastamento em relação ao satélite) e descendente (o movimento é de aproximação em relação ao satélite), e sua decomposição vetorial nos componentes vertical (D_v) e Leste-Oeste (D_{ew}).

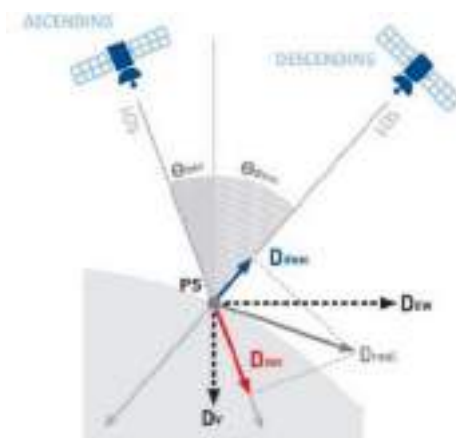


Figura 26: Decomposição do movimento LOS medido na órbita ascendente (D_{asc}) e órbita descendente (D_{desc}) em Deslocamento Vertical (D_v) e Deslocamento Leste-Oeste (D_{ew}).



In accordance with the provisions in article 5 of Spanish Statutory law 15/1999, of the 13th of December. Protection of Data of a Personal Nature (LOPD) and Royal Decree 1720/2007, of the 21st December, we inform the user that all personal data voluntarily provided at any time to our company or our employees, will be included in an automated data file created and maintained under the responsibility of TRE ALTAMIRA S.L. This personal data will be treated with confidentiality and will be used for the exclusive purpose of managing our client relations and transmitting information regarding our products and services. Furthermore, we wish to inform the user that personal data may be yielded to a third party for the purpose of company accounting or transportation of products. Personal data may be yielded to our branch offices in France for client management purposes. The aforementioned use of personal data meets the guidelines set out by the LOPD.

The user may, at any time, exercise his or her right to rectification, access, cancellation and opposition, by communicating in writing his or her full name and address. To: info.spain@tre-altamira.com or to TRE ALTAMIRA S.L., Còrsega, 381-387, 08037, Barcelona. All requests will be treated promptly and appropriately.



**TRE
ALTAMIRA**
A CLS Group Company

TRE ALTAMIRA s.r.l.
Ripa di Porta Ticinese, 79
20143 Milan Italy
Tel: +39 02 4343 121

TRE ALTAMIRA S.L.U.
Carrer de Còrsega, 381-387
08037 Barcelona Spain
Tel.: +34 93 183 57 50

TRE ALTAMIRA Inc.
Suite 410, 475 West Georgia Street
Vancouver, BC V6B 4M9 Canada
Tel: +1 604 331 2512

tre-altamira.com





BRAIN ENGENHARIA

RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO SUPERFICIAL

Resumo mensal dos valores de monitoramento contínuo
de vibração superficial na empresa Braskem S.A.

MACEIÓ/AL
MARÇO/2024

	Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial	
	Cliente: Braskem S/A	
	Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)	

OBJETIVO





Documento elaborado com o intuito de relatar os valores resultantes de vibrações de partícula de pico e frequência, oriundo do monitoramento realizado de forma contínua em áreas da empresa Braskem S.A, na cidade de Maceió/AL no mês de Março de 2024. Este Relatório envolve monitoramento de seis localidades, denominadas como:

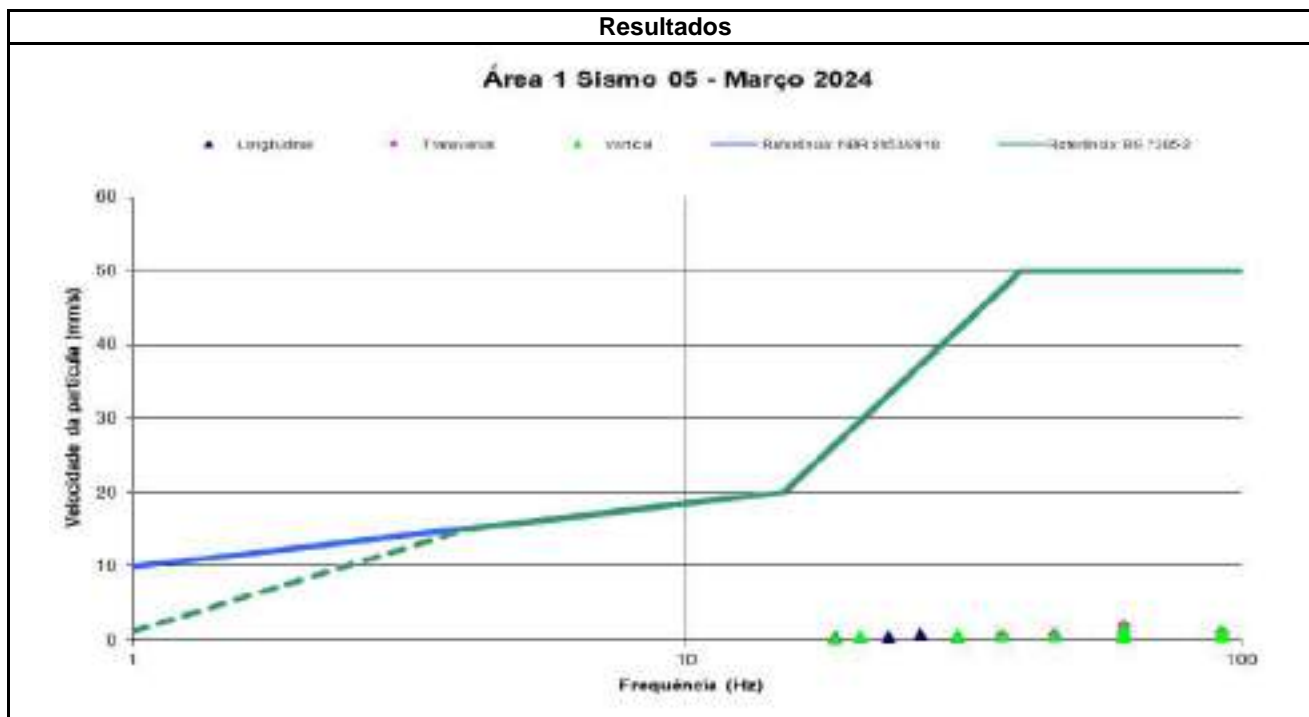
- Área 1 (SISMO-05 Serial 100016)
- Área 2 (SISMO-04 Serial 100010)
- Área 3 (SISMO-03 Serial 100009)
- Área 4 (SISMO-02 Serial 100004)
- Área 6 (SISMO-01 Serial 100008)
- Área 7 (SISMO-06 Serial 100007)

PARÂMETROS TÉCNICOS/LEGAIS

O monitoramento utiliza como parâmetro as recomendações das Normas NBR9653:2018 (Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas) e BS7385- 2:1993 (Guide to damage levels from groundborne vibration).

Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

		Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial							
		Cliente: Braskem S/A							
		Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)							
1 - Monitoramento - Área 1 (SISMO-05)									
Localização (Sirgas 2000)		Lat:		9° 38'24" S		Long:		35° 44'52" W	
Sismógrafo nº		100016				Marca:		Marahvib	
									
Resultados									
D_01.03.2024_H_08.14_a_04.03.2024_H_07.40		L	0,623 mm/s	T	1,145 mm/s	V	1,055 mm/s		
			61,5 Hz		61,5 Hz		92,2 Hz		
D_04.03.2024_H_07.44_a_05.03.2024_H_08.43		L	0,736 mm/s	T	2,021 mm/s	V	1,027 mm/s		
			92,2 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_05.03.2024_H_08.47_a_07.03.2024_H_07.53		L	0,736 mm/s	T	2,021 mm/s	V	1,027 mm/s		
			92,2 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_06.03.2024_H_7.57_a_07.03.2024_H_07.03		L	0,493 mm/s	T	0,755 mm/s	V	0,587 mm/s		
			30,8 Hz		92,2 Hz		30,8 Hz		
D_07.03.2024_H_07.06_a_08.03.2024_H_08.12		L	0,722 mm/s	T	0,595 mm/s	V	0,6 mm/s		
			36,9 Hz		92,2 Hz		20,5 Hz		
D_08.03.2024_H_08.19_a_11.03.2024_H_08.37		L	0,746 mm/s	T	0,734 mm/s	V	0,537 mm/s		
			61,5 Hz		46,1 Hz		92,2 Hz		
D_11.03.2024_H_08.40_a_12.03.2024_H_08.57		L	0,487 mm/s	T	1,175 mm/s	V	0,469 mm/s		
			61,5 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_12.03.2024_H_09.01a_13.03.2024_H_06.47		L	0,592 mm/s	T	0,572 mm/s	V	1,626 mm/s		
			61,5 Hz		46,1 Hz		61,5 Hz		
D_13.03.2024_H_06.51_a_14.03.2024_H_07.44		L	0,31 mm/s	T	0,751 mm/s	V	0,921 mm/s		
			23,1 Hz		36,9 Hz		92,2 Hz		
D_14.03.2024_H_07.48_a_15.03.2024_H_07.00		L	0,822 mm/s	T	1,044 mm/s	V	1,147 mm/s		
			61,5 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_15.03.2024_H_07.08_a_18.03.2024_H_08.10		L	0,775 mm/s	T	1,392 mm/s	V	1,392 mm/s		
			46,1 Hz		61,5 Hz		92,2 Hz		
D_18.03.2024_H_08.15_a_19.03.2024_H_07.27		L	0,435 mm/s	T	1,168 mm/s	V	0,551 mm/s		
			18,5 Hz		92,2 Hz		36,9 Hz		
D_19.03.2024_H_07.32_a_20.03.2024_H_07.42		L	0,6 mm/s	T	0,855 mm/s	V	0,77 mm/s		
			30,8 Hz		92,2 Hz		61,5 Hz		
D_20.03.2024_H_07.45_a_21.03.2024_H_07.13		L	0,657 mm/s	T	0,974 mm/s	V	0,591 mm/s		
			61,5 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_21.03.2024_H_07.16_a_22.03.2024_H_06.44		L	0,671 mm/s	T	0,834 mm/s	V	0,56 mm/s		
			30,8 Hz		61,5 Hz		46,1 Hz		
D_22.03.2024_H_06.49_a_25.03.2024_H_06.55		L	0,87 mm/s	T	1,095 mm/s	V	0,814 mm/s		
			26,4 Hz		61,5 Hz		30,8 Hz		
D_25.03.2024_H_06.58_a_26.03.2024_H_06.47		L	0,824 mm/s	T	0,755 mm/s	V	0,382 mm/s		
			46,1 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_26.03.2024_H_06.53_a_27.03.2024_H_06.59		L	0,506 mm/s	T	0,829 mm/s	V	0,743 mm/s		
			20,5 Hz		92,2 Hz		92,2 Hz		
D_27.03.2024_H_07.19_a_28.03.2024_H_05.41		L	0,618 mm/s	T	1,25 mm/s	V	1,005 mm/s		
			30,8 Hz		92,2 Hz		61,5 Hz		
D_28.03.2024_H_05.44_a_29.03.2024_H_06.47		L	0,564 mm/s	T	0,648 mm/s	V	0,266 mm/s		
			23,1 Hz		61,5 Hz		18,5 Hz		



Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

Comentários:





1) Registre-se, a título de fidelidade ao rigor formal do método de medição e equipamento de sismografia, que a escala de registros dos dados da frequência (Hz) dos eventos, está compreendida entre os valores de 250 Hz (superior) e 2Hz (mínimo registrado considerando imprecisão de medição do equipamento).

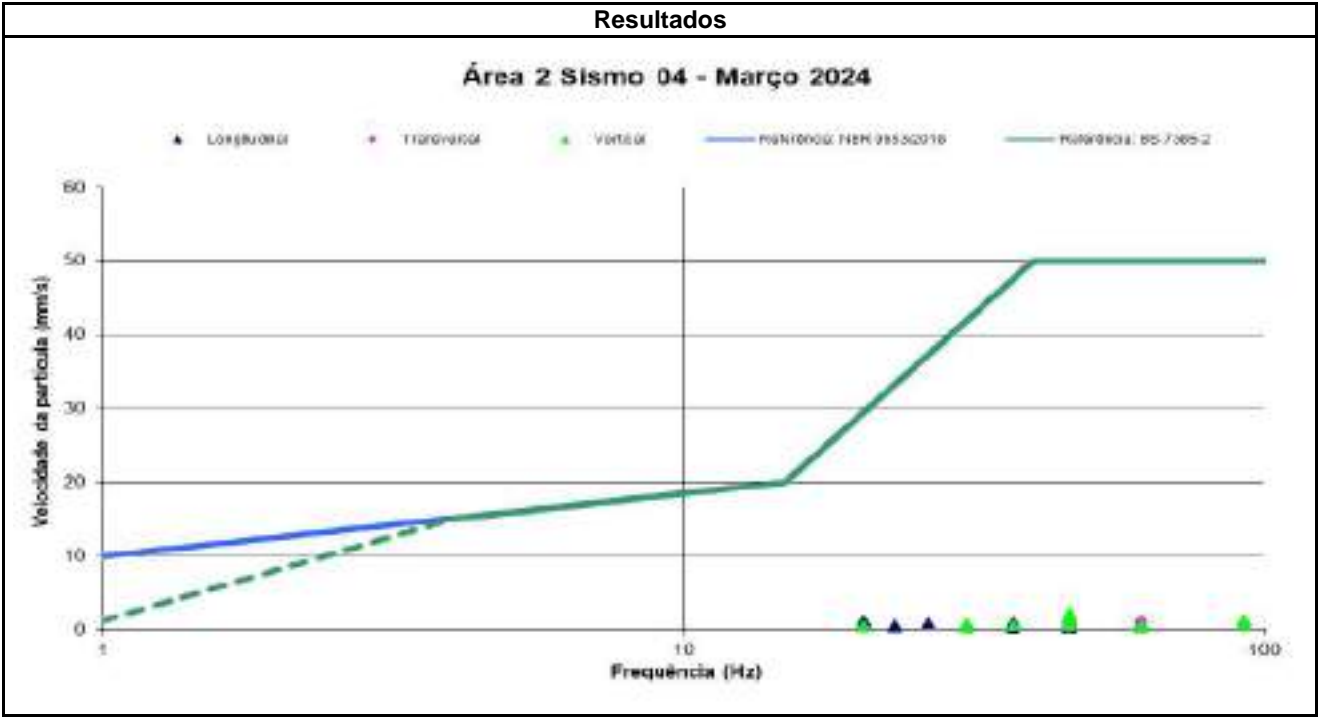
Assim, por imprecisão e pouca representatividade no conjunto de dados, os registros fora deste intervalo de frequência ($2\text{Hz} < \text{Freq} < 250\text{Hz}$) foram desconsiderados.

2) Segundo as normas balizadoras, para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

3) O referido ponto utilizou como parâmetro os limites estabelecidos pelas normas NBR9653:2018 e BS7385-2:1993, e conforme gráfico acima, os resultados não ultrapassaram os valores das normas.

Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

		Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial							
		Cliente: Braskem S/A							
		Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)							
2 - Monitoramento - Área 2 (SISMO-04)									
Localização (Sirgas 2000)		Lat:		9° 38'04" S		Long:		35° 44'54" W	
Sismógrafo nº		100010				Marca:		Marahvib	
									
Resultados									
D_01.03.2024_H_08.07_a_04.03.2024_H_07.38		L	0,598 mm/s	T	0,66 mm/s	V	0,954 mm/s		
			30,8 Hz		46,1 Hz		46,1 Hz		
D_04.03.2024_H_07.30_a_05.03.2024_H_07.25		L	0,637 mm/s	T	0,431 mm/s	V	0,766 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		30,8 Hz		
D_05.03.2024_H_08.45_a_07.03.2024_H_07.50		L	0,637 mm/s	T	0,431 mm/s	V	0,766 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		30,8 Hz		
D_06.03.2024_H_7.55_a_07.03.2024_H_07.02		L	0,671 mm/s	T	0,753 mm/s	V	0,778 mm/s		
			23,1 Hz		92,2 Hz		61,5 Hz		
D_07.03.2024_H_07.04_a_08.03.2024_H_08.09		L	0,903 mm/s	T	0,715 mm/s	V	1,316 mm/s		
			36,9 Hz		46,1 Hz		46,1 Hz		
D_08.03.2024_H_08.13_a_11.03.2024_H_08.34		L	1,256 mm/s	T	1,139 mm/s	V	2,104 mm/s		
			20,5 Hz		61,5 Hz		46,1 Hz		
D_11.03.2024_H_08.37_a_12.03.2024_H_08.54		L	0,562 mm/s	T	1,037 mm/s	V	1,276 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		92,2 Hz		
D_12.03.2024_H_08.57_a_13.03.2024_H_06.44		L	0,606 mm/s	T	0,539 mm/s	V	0,496 mm/s		
			20,5 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_13.03.2024_H_06.47_a_14.03.2024_H_07.39		L	0,251 mm/s	T	0,424 mm/s	V	0,605 mm/s		
			36,9 Hz		92,2 Hz		92,2 Hz		
D_14.03.2024_H_07.46_a_15.03.2024_H_06.56		L	0,452 mm/s	T	0,321 mm/s	V	0,467 mm/s		
			46,1 Hz		61,5 Hz		30,8 Hz		
D_15.03.2024_H_07.01_a_18.03.2024_H_08.08		L	0,556 mm/s	T	0,595 mm/s	V	0,57 mm/s		
			23,1 Hz		92,2 Hz		36,9 Hz		
D_18.03.2024_H_08.11_a_19.03.2024_H_07.26		L	0,427 mm/s	T	0,331 mm/s	V	0,336 mm/s		
			36,9 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_19.03.2024_H_07.28_a_20.03.2024_H_07.38		L	0,447 mm/s	T	0,909 mm/s	V	0,594 mm/s		
			46,1 Hz		61,5 Hz		46,1 Hz		
D_20.03.2024_H_07.42_a_21.03.2024_H_07.11		L	0,742 mm/s	T	0,413 mm/s	V	0,694 mm/s		
			30,8 Hz		46,1 Hz		30,8 Hz		
D_21.03.2024_H_07.15_a_22.03.2024_H_06.41		L	0,871 mm/s	T	0,495 mm/s	V	0,56 mm/s		
			26,4 Hz		46,1 Hz		30,8 Hz		
D_22.03.2024_H_06.45_a_25.03.2024_H_06.53		L	1,007 mm/s	T	1,092 mm/s	V	2,32 mm/s		
			36,9 Hz		46,1 Hz		46,1 Hz		
D_25.03.2024_H_06.56_a_26.03.2024_H_06.22		L	0,256 mm/s	T	0,491 mm/s	V	0,45 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		20,5 Hz		
D_26.03.2024_H_06.26_a_27.03.2024_H_06.57		L	0,423 mm/s	T	0,389 mm/s	V	0,364 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		61,5 Hz		
D_27.03.2024_H_07.01_a_28.03.2024_H_06.05		L	0,423 mm/s	T	0,389 mm/s	V	0,364 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		61,5 Hz		
D_28.03.2024_H_06.13_a_29.03.2024_H_06.40		L	0,333 mm/s	T	0,267 mm/s	V	0,414 mm/s		
			46,1 Hz		61,5 Hz		30,8 Hz		



Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

Comentários:

1) Registre-se, a título de fidelidade ao rigor formal do método de medição e equipamento de sismografia, que a escala de registros dos dados da frequência (Hz) dos eventos, está compreendida entre os valores de 250 Hz (superior) e 2Hz (mínimo registrado considerando imprecisão de medição do equipamento).

Assim, por imprecisão e pouca representatividade no conjunto de dados, os registros fora deste intervalo de frequência ($2\text{Hz} < \text{Freq} < 250\text{Hz}$) foram desconsiderados.

2) Segundo as normas balizadoras, para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

3) O referido ponto utilizou como parâmetro os limites estabelecidos pelas normas NBR9653:2018 e BS7385-2:1993, e conforme gráfico acima, os resultados não ultrapassaram os valores das normas.

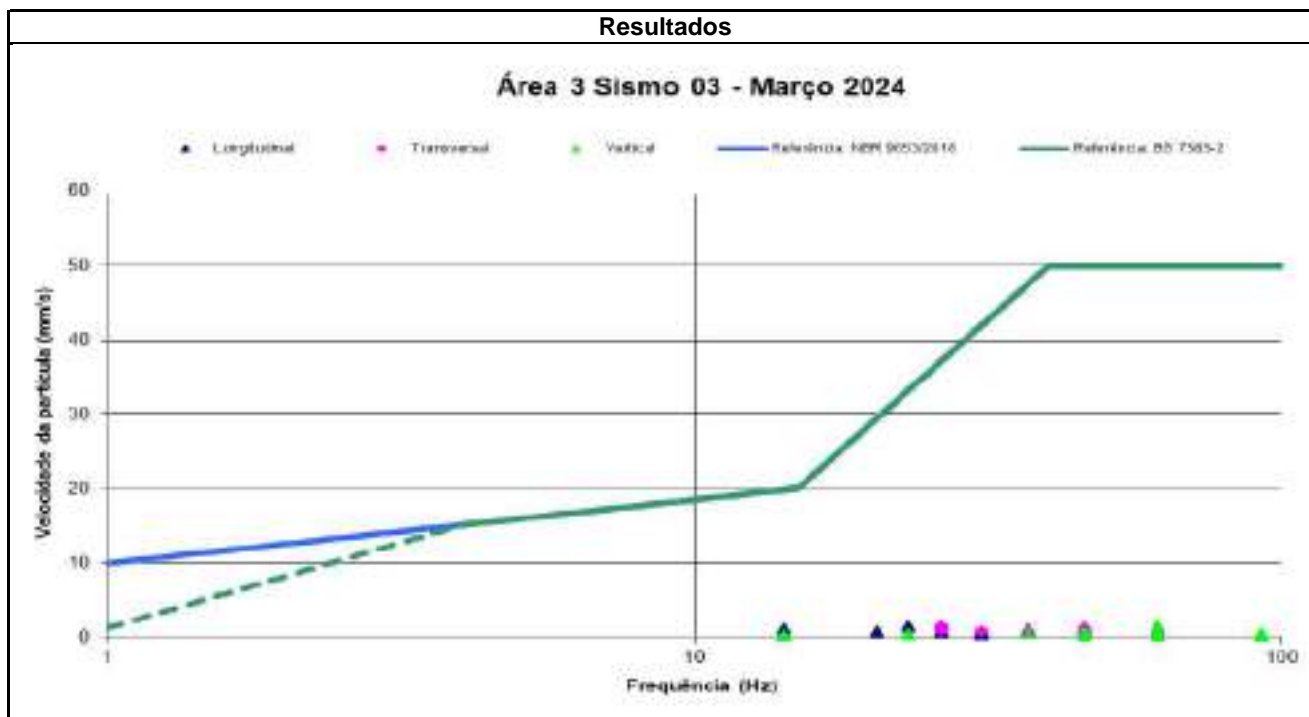
Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024



ID: 5891493

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.

		Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial							
		Cliente: Braskem S/A							
		Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)							
3 - Monitoramento - Área 3 (SISMO-03)									
Localização (Sirgas 2000)		Lat:	9° 37'53" S		Long:	35° 44'58" W			
Sismógrafo nº		100009			Marca:	Marahvib			
Resultados									
D_01.03.2024_H_08.00_a_04.03.2024_H_07.32	L	1,477 mm/s		T	1,491 mm/s		V	0,348 mm/s	
		23,1 Hz			26,4 Hz			14,2 Hz	
D_04.03.2024_H_07.36_a_05.03.2024_H_08.32	L	1,082 mm/s		T	1,121 mm/s		V	0,639 mm/s	
		14,2 Hz			46,1 Hz			0,2 Hz	
D_05.03.2024_H_08.36_a_07.03.2024_H_07.44	L	1,082 mm/s		T	1,121 mm/s		V	0,639 mm/s	
		14,2 Hz			46,1 Hz			0,2 Hz	
D_06.03.2024_H_7.48_a_07.03.2024_H_06.53	L	0,734 mm/s		T	0,855 mm/s		V	0,383 mm/s	
		46,1 Hz			30,8 Hz			61,5 Hz	
D_07.03.2024_H_06.59_a_08.03.2024_H_07.59	L	0,421 mm/s		T	1,243 mm/s		V	1,721 mm/s	
		30,8 Hz			46,1 Hz			61,5 Hz	
D_08.03.2024_H_08.06_a_11.03.2024_H_08.28	L	1,088 mm/s		T	0,969 mm/s		V	0,473 mm/s	
		36,9 Hz			26,4 Hz			61,5 Hz	
D_11.03.2024_H_08.32_a_12.03.2024_H_08.47	L	1,337 mm/s		T	1,094 mm/s		V	0,536 mm/s	
		46,1 Hz			46,1 Hz			46,1 Hz	
D_12.03.2024_H_08.51_a_13.03.2024_H_06.37	L	0,818 mm/s		T	0,58 mm/s		V	0,289 mm/s	
		20,5 Hz			46,1 Hz			92,2 Hz	
D_13.03.2024_H_06.41_a_14.03.2024_H_07.33	L	0,986 mm/s		T	0,606 mm/s		V	0,639 mm/s	
		61,5 Hz			46,1 Hz			92,2 Hz	
D_14.03.2024_H_07.37_a_15.03.2024_H_06.49	L	0,942 mm/s		T	0,912 mm/s		V	0,513 mm/s	
		36,9 Hz			61,5 Hz			36,9 Hz	
D_15.03.2024_H_06.53_a_18.03.2024_H_07.43	L	1,197 mm/s		T	1,141 mm/s		V	0,644 mm/s	
		46,1 Hz			46,1 Hz			46,1 Hz	
D_18.03.2024_H_07.59_a_19.03.2024_H_07.18	L	0,96 mm/s		T	1,141 mm/s		V	0,326 mm/s	
		46,1 Hz			46,1 Hz			46,1 Hz	
D_19.03.2024_H_07.23_a_20.03.2024_H_07.32	L	0,829 mm/s		T	0,773 mm/s		V	0,36 mm/s	
		46,1 Hz			46,1 Hz			61,5 Hz	
D_20.03.2024_H_07.35_a_21.03.2024_H_07.00	L	0,822 mm/s		T	0,657 mm/s		V	0,272 mm/s	
		26,4 Hz			46,1 Hz			92,2 Hz	
D_21.03.2024_H_07.08_a_22.03.2024_H_06.33	L	1,2 mm/s		T	0,671 mm/s		V	0,278 mm/s	
		46,1 Hz			46,1 Hz			61,5 Hz	
D_22.03.2024_H_06.38_a_25.03.2024_H_06.47	L	0,72 mm/s		T	0,61 mm/s		V	0,445 mm/s	
		30,8 Hz			46,1 Hz			23,1 Hz	
D_25.03.2024_H_06.50_a_26.03.2024_H_06.15	L	0,875 mm/s		T	0,79 mm/s		V	0,518 mm/s	
		36,9 Hz			61,5 Hz			92,2 Hz	
D_26.03.2024_H_06.19_a_27.03.2024_H_06.48	L	0,559 mm/s		T	0,45 mm/s		V	0,423 mm/s	
		36,9 Hz			46,1 Hz			61,5 Hz	
D_27.03.2024_H_06.53_a_28.03.2024_H_06.03	L	0,988 mm/s		T	1,456 mm/s		V	0,643 mm/s	
		46,1 Hz			26,4 Hz			61,5 Hz	
D_28.03.2024_H_06.07_a_29.03.2024_H_06.32	L	0,879 mm/s		T	0,786 mm/s		V	0,411 mm/s	
		46,1 Hz			36,9 Hz			46,1 Hz	



Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

Comentários:





1) Registre-se, a título de fidelidade ao rigor formal do método de medição e equipamento de sismografia, que a escala de registros dos dados da frequência (Hz) dos eventos, está compreendida entre os valores de 250 Hz (superior) e 2Hz (mínimo registrado considerando imprecisão de medição do equipamento).

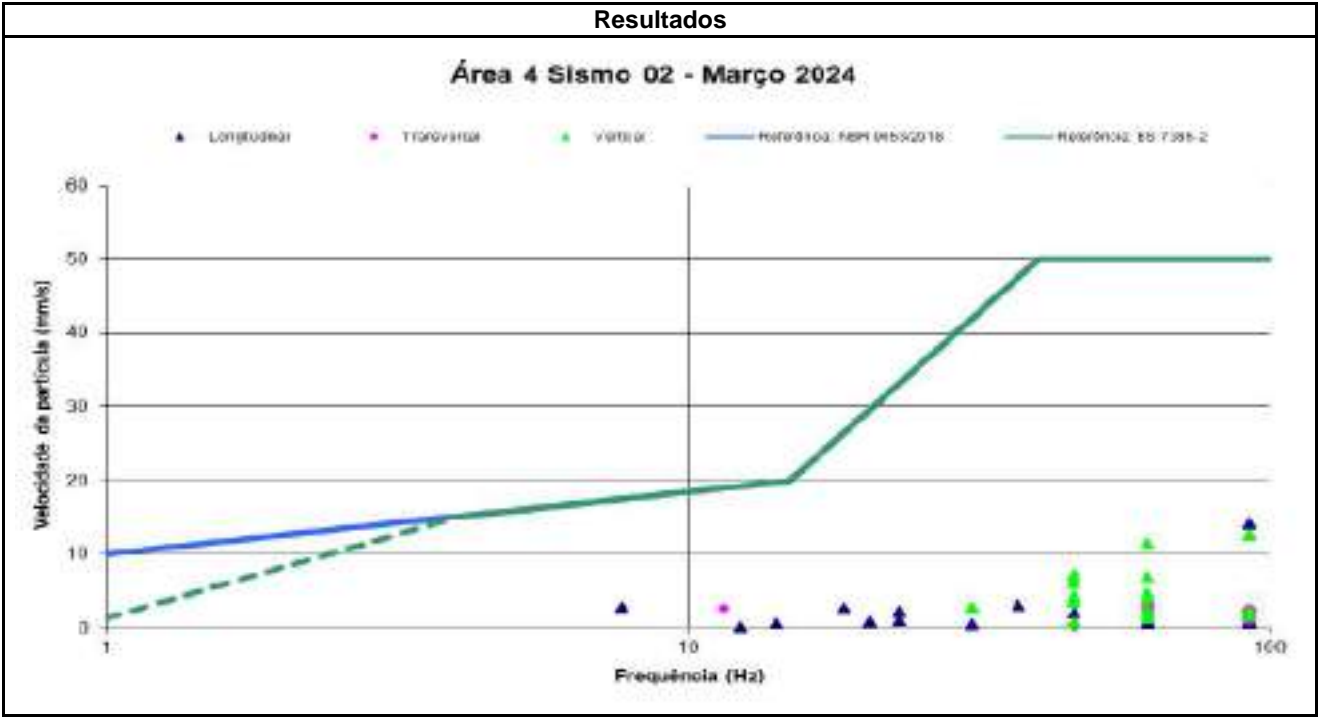
Assim, por imprecisão e pouca representatividade no conjunto de dados, os registros fora deste intervalo de frequência ($2\text{Hz} < \text{Freq} < 250\text{Hz}$) foram desconsiderados.

2) Segundo as normas balizadoras, para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

3) O referido ponto utilizou como parâmetro os limites estabelecidos pelas normas NBR9653:2018 e BS7385-2:1993, e conforme gráfico acima, os resultados não ultrapassaram os valores das normas.

Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

		Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial								
		Cliente: Braskem S/A								
		Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)								
4 - Monitoramento - Área 4 (SISMO-02)										
Localização (Sirgas 2000)		Lat:		9° 37'57" S		Long:		35° 44'59" W		
Sismógrafo nº		100004				Marca:		Marahvib		
										
Resultados										
D_01.03.2024_H_07.51_a_04.03.2024_H_07.28		L	0,702 mm/s		T	3,392 mm/s		V	4,778 mm/s	
			92,2 Hz			61,5 Hz			61,5 Hz	
D_04.03.2024_H_07.30_a_05.03.2024_H_07.25		L	0,879 mm/s		T	1,015 mm/s		V	0,774 mm/s	
			20,5 Hz			92,2 Hz			46,1 Hz	
D_05.03.2024_H_08.30_a_07.03.2024_H_07.38		L	0,879 mm/s		T	1,015 mm/s		V	0,744 mm/s	
			20,5 Hz			92,2 Hz			46,1 Hz	
D_06.03.2024_H_7.41_a_07.03.2024_H_06.47		L	1,374 mm/s		T	2,04 mm/s		V	11,551 mm/s	
			61,5 Hz			92,2 Hz			61,5 Hz	
D_07.03.2024_H_06.51_a_08.03.2024_H_07.45		L	2,778 mm/s		T	2,693 mm/s		V	2,764 mm/s	
			7,7 Hz			11,5 Hz			30,8 Hz	
D_08.03.2024_H_07.52_a_11.03.2024_H_08.23		L	0,775 mm/s		T	3,368 mm/s		V	6,102 mm/s	
			61,5 Hz			61,5 Hz			46,1 Hz	
D_11.03.2024_H_08.26_a_12.03.2024_H_08.39		L	0,44 mm/s		T	1,021 mm/s		V	2,324 mm/s	
			30,8 Hz			92,2 Hz			92,2 Hz	
D_12.03.2024_H_08.14_a_13.03.2024_H_06.31		L	0,249 mm/s		T	0,37 mm/s		V	1,649 mm/s	
			12,3 Hz			46,1 Hz			92,2 Hz	
D_13.03.2024_H_06.34_a_14.03.2024_H_07.25		L	0,905 mm/s		T	2,841 mm/s		V	7,184 mm/s	
			61,5 Hz			61,5 Hz			46,1 Hz	
D_14.03.2024_H_07.31_a_15.03.2024_H_06.41		L	3,108 mm/s		T	3,578 mm/s		V	12,621 mm/s	
			36,9 Hz			61,5 Hz			92,2 Hz	
D_15.03.2024_H_06.46_a_18.03.2024_H_07.33		L	1,928 mm/s		T	1,91 mm/s		V	6,93 mm/s	
			46,1 Hz			61,5 Hz			46,1 Hz	
D_18.03.2024_H_07.40_a_19.03.2024_H_07.12		L	14,2 mm/s		T	3,082 mm/s		V	6,959 mm/s	
			92,2 Hz			61,5 Hz			61,5 Hz	
D_19.03.2024_H_07.17_a_20.03.2024_H_07.25		L	0,89 mm/s		T	1,466 mm/s		V	4 mm/s	
			61,5 Hz			61,5 Hz			61,5 Hz	
D_20.03.2024_H_07.29_a_21.03.2024_H_06.56		L	0,665 mm/s		T	2,244 mm/s		V	1,955 mm/s	
			61,5 Hz			61,5 Hz			61,5 Hz	
D_21.03.2024_H_06.59_a_22.03.2024_H_06.23		L	2,742 mm/s		T	2,826 mm/s		V	3,612 mm/s	
			18,5 Hz			61,5 Hz			46,1 Hz	
D_22.03.2024_H_06.30_a_25.03.2024_H_06.35		L	1,036 mm/s		T	2,262 mm/s		V	1,573 mm/s	
			23,1 Hz			61,5 Hz			61,5 Hz	
D_25.03.2024_H_06.44_a_26.03.2024_H_02.48		L	2,237 mm/s		T	2,352 mm/s		V	4,275 mm/s	
			23,1 Hz			92,2 Hz			46,1 Hz	
D_26.03.2024_H_06.12_a_27.03.2024_H_06.41		L	0,648 mm/s		T	2,512 mm/s		V	2,323 mm/s	
			61,5 Hz			92,2 Hz			92,2 Hz	
D_27.03.2024_H_06.46_a_28.03.2024_H_05.58		L	0,612 mm/s		T	1,464 mm/s		V	2,592 mm/s	
			14,2 Hz			92,2 Hz			61,5 Hz	
D_28.03.2024_H_06.01_a_29.03.2024_H_06.27		L	0,626 mm/s		T	0,33 mm/s		V	1,328 mm/s	
			92,2 Hz			46,1 Hz			61,5 Hz	



Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

Comentários:





1) Registre-se, a título de fidelidade ao rigor formal do método de medição e equipamento de sismografia, que a escala de registros dos dados da frequência (Hz) dos eventos, está compreendida entre os valores de 250 Hz (superior) e 2Hz (mínimo registrado considerando imprecisão de medição do equipamento).

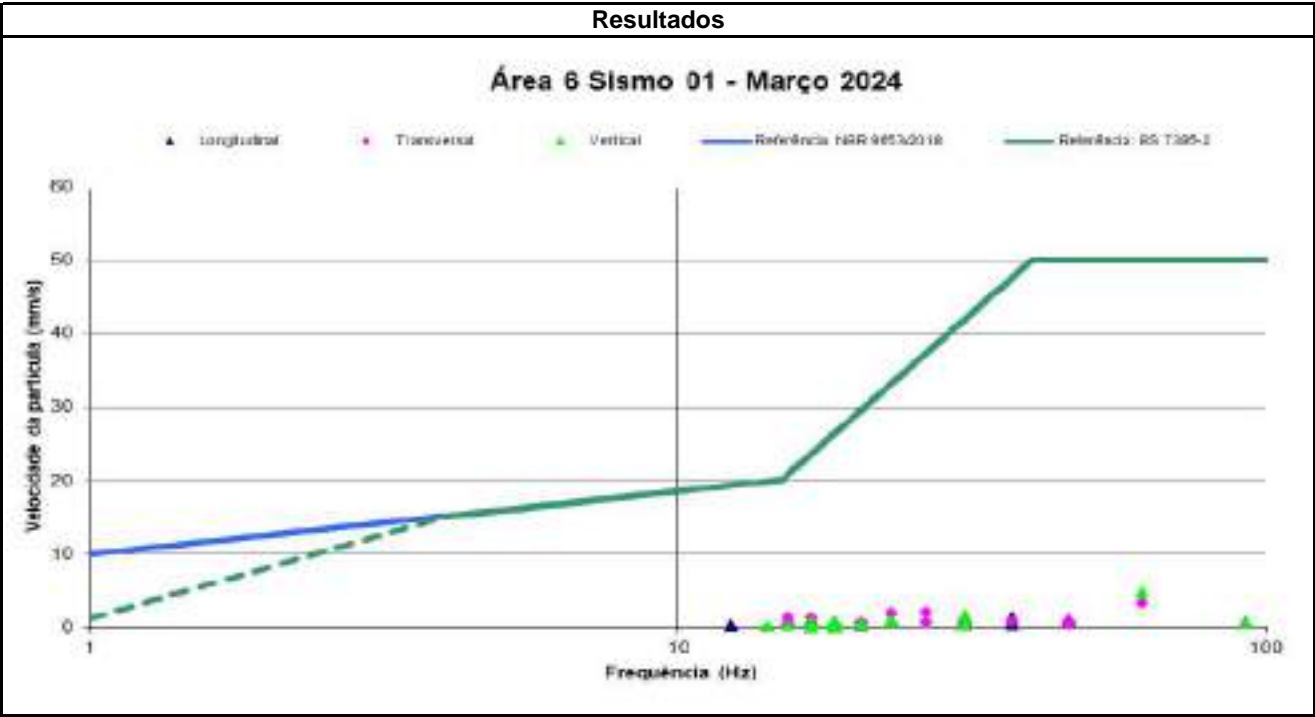
Assim, por imprecisão e pouca representatividade no conjunto de dados, os registros fora deste intervalo de frequência ($2\text{Hz} < \text{Freq} < 250\text{Hz}$) foram desconsiderados.

2) Segundo as normas balizadoras, para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

3) O referido ponto utilizou como parâmetro os limites estabelecidos pelas normas NBR9653:2018 e BS7385-2:1993, e conforme gráfico acima, os resultados não ultrapassaram os valores das normas.

Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

		Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial							
		Cliente: Braskem S/A							
		Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)							
5 - Monitoramento - Área 6 (SISMO-01)									
Localização (Sirgas 2000)		Lat:		9° 37'52" S		Long:		35° 44'58" W	
Sismógrafo nº		100008				Marca:		Marahvib	
									
Resultados									
D_01.03.2024_H_08.03_a_04.03.2024_H_07.42		L	0,702 mm/s	T	3,392 mm/s	V	4,778 mm/s		
			92,2 Hz		61,5 Hz		61,5 Hz		
D_04.03.2024_H_07.24_a_05.03.2024_H_08.14		L	0,396 mm/s	T	0,227 mm/s	V	234 mm/s		
			30,8 Hz		15,4 Hz		16,8 Hz		
D_05.03.2024_H_08.21_a_07.03.2024_H_07.30		L	0,396 mm/s	T	0,227 mm/s	V	0,234 mm/s		
			30,8 Hz		15,4		16,8 Hz		
D_06.03.2024_H_7.33_a_07.03.2024_H_06.39		L	0,281 mm/s	T	0,354 mm/s	V	0,17 mm/s		
			12,3 Hz		30,8 Hz		18,5 Hz		
D_07.03.2024_H_06.42_a_08.03.2024_H_07.38		L	0,67 mm/s	T	0,314 mm/s	V	0,444 mm/s		
			30,8 Hz		18,5 Hz		30,8 Hz		
D_08.03.2024_H_07.41_a_11.03.2024_H_08.17		L	1,386 mm/s	T	0,861 mm/s	V	1,695 mm/s		
			36,9 Hz		36,9 Hz		30,8 Hz		
D_11.03.2024_H_08.19_a_12.03.2024_H_08.31		L	0,72 mm/s	T	0,581 mm/s	V	0,917 mm/s		
			30,8 Hz		30,8 Hz		23,1 Hz		
D_12.03.2024_H_08.35_a_13.03.2024_H_06.25		L	0,624 mm/s	T	0,672 mm/s	V	0,456 mm/s		
			46,1 Hz		46,1 Hz		30,8 Hz		
D_13.03.2024_H_06.28_a_14.03.2024_H_07.05		L	0,44 mm/s	T	0,663 mm/s	V	0,486 mm/s		
			20,5 Hz		26,4 Hz		16,8 Hz		
D_14.03.2024_H_07.08_a_15.03.2024_H_06.33		L	1,118 mm/s	T	1,465 mm/s	V	0,653 mm/s		
			46,1 Hz		15,4 Hz		16,8 Hz		
D_15.03.2024_H_06.38_a_18.03.2024_H_07.27		L	0,434 mm/s	T	0,57 mm/s	V	0,564 mm/s		
			18,5 Hz		20,5 Hz		20,5 Hz		
D_18.03.2024_H_07.30_a_19.03.2024_H_07.02		L	0,401 mm/s	T	0,886 mm/s	V	0,259 mm/s		
			36,9 Hz		15,4 Hz		14,2 Hz		
D_19.03.2024_H_07.08_a_20.03.2024_H_07.17		L	0,951 mm/s	T	2 mm/s	V	0,601 mm/s		
			23,1 Hz		23,1 Hz		30,8 Hz		
D_20.03.2024_H_07.22_a_21.03.2024_H_06.49		L	1,318 mm/s	T	2,117 mm/s	V	0,595 mm/s		
			36,9 Hz		26,4 Hz		92,2 Hz		
D_21.03.2024_H_06.52_a_22.03.2024_H_06.11		L	0,508 mm/s	T	0,618 mm/s	V	0,465 mm/s		
			30,8 Hz		20,5 Hz		18,5 Hz		
D_22.03.2024_H_06.18_a_25.03.2024_H_06.27		L	0,921 mm/s	T	1,427 mm/s	V	0,861 mm/s		
			16,8 Hz		16,8 Hz		18,5 Hz		
D_25.03.2024_H_06.28_a_26.03.2024_H_05.55		L	0,428 mm/s	T	0,345 mm/s	V	0,178 mm/s		
			36,9 Hz		46,1		16,8 Hz		
D_26.03.2024_H_06.00_a_27.03.2024_H_06.32		L	0,248 mm/s	T	0,57 mm/s	V	0,23 mm/s		
			18,5 Hz		20,5 Hz		18,5 Hz		
D_27.03.2024_H_06.37_a_28.03.2024_H_05.51		L	0,619 mm/s	T	0,756 mm/s	V	0,335 mm/s		
			30,8 Hz		46,1 Hz		15,4 Hz		
D_28.03.2024_H_05.55_a_29.03.2024_H_06.19		L	0,62 mm/s	T	0,769 mm/s	V	0,335 mm/s		
			36,9 Hz		30,8 Hz		18,5 Hz		



Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

Comentários:





1) Registre-se, a título de fidelidade ao rigor formal do método de medição e equipamento de sismografia, que a escala de registros dos dados da frequência (Hz) dos eventos, está compreendida entre os valores de 250 Hz (superior) e 2Hz (mínimo registrado considerando imprecisão de medição do equipamento).

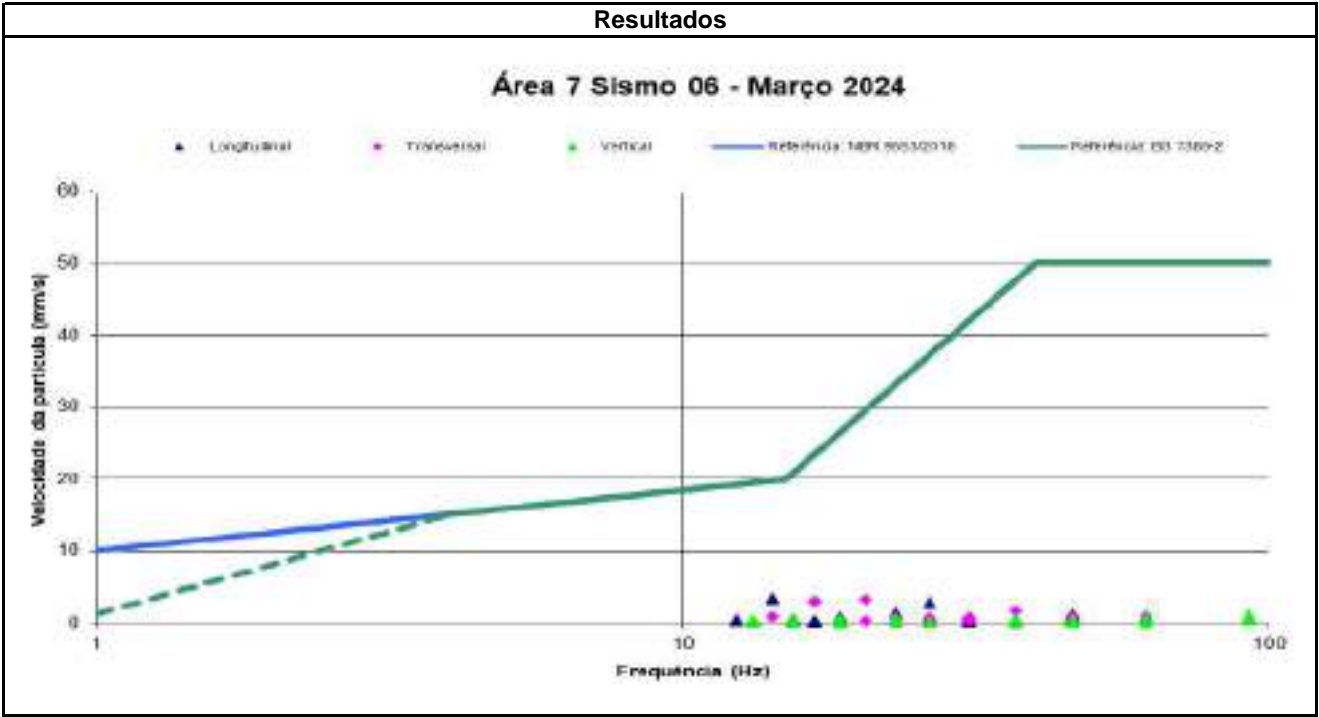
Assim, por imprecisão e pouca representatividade no conjunto de dados, os registros fora deste intervalo de frequência ($2\text{Hz} < \text{Freq} < 250\text{Hz}$) foram desconsiderados.

2) Segundo as normas balizadoras, para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

3) O referido ponto utilizou como parâmetro os limites estabelecidos pelas normas NBR9653:2018 e BS7385-2:1993, e conforme gráfico acima, os resultados não ultrapassaram os valores das normas.

Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

		Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial								
		Cliente: Braskem S/A								
		Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)								
6 - Monitoramento - Área 7 (SISMO-06)										
Localização (Sirgas 2000)		Lat:		9° 37'57" S		Long:		35° 44'51" W		
Sismógrafo nº		100007				Marca:		Marahvib		
										
Resultados										
D_01.03.2024_H_07.22_a_04.03.2024_H_07.07		L	0,632 mm/s		T	0,485 mm/s		V	0,231 mm/s	
			18,5 Hz			23,1 Hz			26,4 Hz	
D_04.03.2024_H_07.10_a_05.03.2024_H_07.58		L	0,32 mm/s		T	0,418 mm/s		V	0,147 mm/s	
			46,1 Hz			30,8 Hz			18,5 Hz	
D_05.03.2024_H_08.02_a_07.03.2024_H_07.12		L	0,32 mm/s		T	0,418 mm/s		V	0,147 mm/s	
			46,1 Hz			30,8 Hz			18,5 Hz	
D_06.03.2024_H_7.16_a_07.03.2024_H_06.19		L	298 mm/s		T	0,378 mm/s		V	0,209 mm/s	
			30,8 Hz			26,4 Hz			13,2 Hz	
D_07.03.2024_H_06.24_a_08.03.2024_H_07.22		L	0,279 mm/s		T	0,231 mm/s		V	0,226 mm/s	
			16,8 Hz			20,5 Hz			15,4 Hz	
D_08.03.2024_H_07.26_a_11.03.2024_H_07.58		L	0,746 mm/s		T	0,734 mm/s		V	0,537 mm/s	
			61,5 Hz			46,1 Hz			92,2 Hz	
D_11.03.2024_H_08.02_a_12.03.2024_H_08.16		L	3,438 mm/s		T	2,976 mm/s		V	1,122 mm/s	
			14,2 Hz			16,8 Hz			92,2 Hz	
D_12.03.2024_H_08.20_a_13.03.2024_H_06.10		L	0,513 mm/s		T	0,554 mm/s		V	0,481 mm/s	
			92,2 Hz			30,8 Hz			92,2 Hz	
D_13.03.2024_H_06.14_a_14.03.2024_H_06.51		L	0,742 mm/s		T	0,628 mm/s		V	0,181 mm/s	
			26,4 Hz			26,4 Hz			26,4 Hz	
D_14.03.2024_H_06.55_a_15.03.2024_H_06.17		L	0,7 mm/s		T	0,674 mm/s		V	0,394 mm/s	
			30,8 Hz			30,8 Hz			23,1 Hz	
D_15.03.2024_H_06.22_a_18.03.2024_H_07.10		L	0,462 mm/s		T	0,331 mm/s		V	0,375 mm/s	
			46,1 Hz			30,8 Hz			46,1 Hz	
D_18.03.2024_H_07.14_a_19.03.2024_H_06.42		L	0,23 mm/s		T	0,302 mm/s		V	0,114 mm/s	
			30,8 Hz			30,8 Hz			61,5 Hz	
D_19.03.2024_H_06.46_a_20.03.2024_H_07.02		L	1,115 mm/s		T	0,807 mm/s		V	0,546 mm/s	
			46,1 Hz			61,5 Hz			61,5 Hz	
D_20.03.2024_H_07.06_a_21.03.2024_H_06.36		L	0,367 mm/s		T	0,378 mm/s		V	0,183 mm/s	
			12,3 Hz			23,1 Hz			46,1 Hz	
D_21.03.2024_H_06.40_a_22.03.2024_H_05.53		L	0,717 mm/s		T	0,573 mm/s		V	0,368 mm/s	
			30,8 Hz			30,8 Hz			36,9 Hz	
D_22.03.2024_H_05.58_a_25.03.2024_H_06.10		L	2,77 mm/s		T	1,629 mm/s		V	0,291 mm/s	
			26,4 Hz			36,9 Hz			46,1 Hz	
D_25.03.2024_H_06.14_a_26.03.2024_H_05.40		L	0,363 mm/s		T	0,587 mm/s		V	0,12 mm/s	
			15,4 Hz			23,1 Hz			36,9 Hz	
D_26.03.2024_H_05.44_a_27.03.2024_H_06.14		L	1,427 mm/s		T	3,254 mm/s		V	0,565 mm/s	
			23,1 Hz			20,5 Hz			23,1 Hz	
D_27.03.2024_H_06.17_a_28.03.2024_H_05.32		L	0,496 mm/s		T	0,762 mm/s		V	0,304 mm/s	
			26,4 Hz			14,2 Hz			18,5 Hz	
D_28.03.2024_H_05.36_a_29.03.2024_H_06.04		L	0,348 mm/s		T	0,414 mm/s		V	0,149 mm/s	
			36,9 Hz			26,4 Hz			23,1 Hz	



Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

Comentários:



1) Registre-se, a título de fidelidade ao rigor formal do método de medição e equipamento de sismografia, que a escala de registros dos dados da frequência (Hz) dos eventos, está compreendida entre os valores de 250 Hz (superior) e 2Hz (mínimo registrado considerando imprecisão de medição do equipamento).

Assim, por imprecisão e pouca representatividade no conjunto de dados, os registros fora deste intervalo de frequência ($2\text{Hz} < \text{Freq} < 250\text{Hz}$) foram desconsiderados.

2) Segundo as normas balizadoras, para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

3) O referido ponto utilizou como parâmetro os limites estabelecidos pelas normas NBR9653:2018 e BS7385-2:1993, e conforme gráfico acima, os resultados não ultrapassaram os valores das normas.

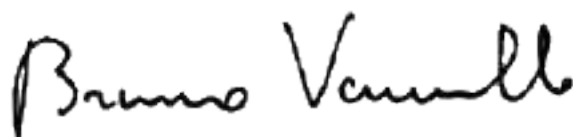
Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024

	Relatório de Monitoramento de Vibração Superficial	
	Cliente: Braskem S/A	
	Mês Março - (01.03 a 31.03.2024)	

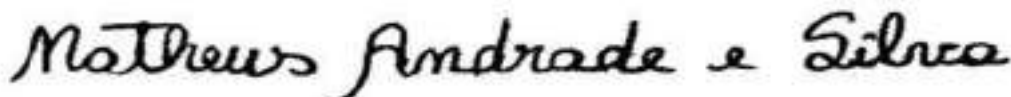
CONCLUSÃO

Conforme ilustrado nos gráficos, os resultados não ultrapassaram os limites estabelecidos pelas normas: NBR9653:2018 e BS7385-2:1993.

Maceio/AL, 02 de Abril de 2024



Dr. Bruno Vassallo - Geofísico
Emissor do relatório



Matheus Andrade e Silva
Aprovador do relatório

Elaborado para: BRASKEM S.A.
Relatório de Monitoramento de Vibrações Superficiais
Maceió/AL - Março/2024



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-AL

ART OBRA / SERVIÇO
Nº AL20230337022

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Alagoas

INICIAL

1. Responsável Técnico

CARLOS ERYMA DA SILVA OLIVEIRA
Título profissional: **ENGENHEIRO CML**

RNP: 0206611141
Registro: 0206611161AL

Empresa contratada: **BRAIN ENGENHARIA LTDA**

Registro: 000654894-AL

2. Dados do Contrato

Contratante: **BRASKEM S.A.**

CPF/CNPJ: 42.150.391/0001-70
Nº: 1981

RUA ETENO

Bairro: **PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI**

Complemento:

UF: **BA**

Cidade: **CAMAÇARI**

CEP: 42916260

Contrato: 480091129

Contratado em:

Valor: **R\$ 2.166.828,20**

Tipo de contratante: **Pessoa Jurídica de Direito Privado**

Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

AVENIDA MAJOR CICERO DE GÓES MONTEIRO

Nº: 2039

Complemento:

Bairro: **MUTANGE**

Cidade: **MACEIÓ**

UF: **AL**

CEP: 57017516

Data de início: 28/04/2023

Previsão de término: 31/12/2024

Coordenadas Geográficas: 0, 0

Finalidade:

Código: **Não Especificado**

Proprietária: **BRASKEM S.A.**

CPF/CNPJ: 42.150.391/0001-70

4. Atividade Técnica

10 - Execução

Quantidade

Unidade

10 - Monitoramento = AGRIMENSURA = MONITORAMENTO DE OBRAS CIVIS = DE
MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS > #36.8.1.1 - DE OBRAS CIVIS

1,00

m

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Monitoramento do nível de vibração superficial emitido durante os trabalhos de campo (perfuração de poços, serviços de piscaria em poços, movimentação de cargas pesadas, serviços de terraplenagem e nivelamento de solo, entre outros), com intuito de monitorar a amplitude e frequência das componentes (longitudinal, transversal e vertical) levando em considerações normas nacionais e internacionais, utilizando para tal, alômetro de engenharia com utilização de geofones com o intuito de cumprir os parâmetros estabelecidos nas normas NBR 3653:2018 (Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas mineração em áreas urbanas), BS 7385-1:1990 (Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings) e BS 7385-2:1993 (Guide to damage levels from groundborne vibration) e Monitoramento de deslocamento de obras civis.

6. Declarações

- Declaro que estou cumprindo as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.

7. Entidade de Classe

CLUBE DE ENGENHARIA

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

CARLOS ERYMA DA SILVA OLIVEIRA - CPF: 499.353.504-34

Local

Data

BRASKEM S.A. - CNPJ: 42.150.391/0001-70

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento da conferência no site do Crea.

10. Valor

Valor da ART: **R\$ 254,59**

Registrada em: **11/06/2023**

Valor pago: **R\$ 254,59**

Nosso Número: **8302344449**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <http://crea-al.org.br/validar> com o código: 44552
registrada em 18/06/2023 às 19:58:33 por: p. 170.82.175.11

www.crea-al.org.br
Tel: (35) 2123.0884

crea-al@crea-al.org.br
Fax: (35) 2123.0884

CREA-AL
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Alagoas



**VERIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE MONITORAMENTO DE SUPERFÍCIE:
REDE GEODÉSICA GNSS**

Autores:

Juciela Cristina dos Santos (Coordenadora)

Andréa de Seixas, Cláudia Pereira Krueger, Michelle Adelino Cerqueira, Silvio Jacks dos Anjos
Garnés, Arthur Melo Mattos, Jessilany Machado dos Santos, João Victor Ramos Pires de Lima,
Marcelo Henrique César Souza Filho, Viviane Maria Padilha Barbosa, Viviele Barbosa da Silva,
Wesley Oliveira de Assis



Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharia e Ciências Agrárias

Maceió, março de 2024

Conteúdo

APRESENTAÇÃO	1
RESUMO	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO 2: CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS	7
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DO MOVIMENTO DA PLACA TECTÔNICA SUL-AMERICANA NAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS SITUADOS NA ÁREA DE ESTUDO DO PROJETO.	21
CAPÍTULO 4: ANÁLISE DO EFEITO DA TROPOSFERA NO POSICIONAMENTO DAS ESTAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO.....	28
CAPÍTULO 5: ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO EM ESTAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO.....	39
5.1 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO DA BASE PVC COM A ESTAÇÃO DG17.	61
5.2 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO DA BASE PVC COM A ESTAÇÃO DG18.	63
5.3 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO DA BASE PVC COM A ESTAÇÃO DG21.	64
5.4 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO DA BASE PVC COM A ESTAÇÃO MINA 07.	66
5.5 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO DA BASE PVC COM A ESTAÇÃO MINA 09.	66
5.6 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO DA BASE PVC COM A ESTAÇÃO MINA 16.	68
5.7 ANÁLISE CONJUNTA DAS SOLUÇÕES COM ALGUMAS INFORMAÇÕES DE ALERTAS PARA O DIA EM ANÁLISE.	69
CAPÍTULO 6: ANÁLISE DA PRESENÇA DE EFEITO IONOSFÉRICO.	72
6.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG15) EM 25/06/2021 E 25/01/2022.....	83
6.2 ANÁLISE DA PRESENÇA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NOS DADOS BRUTOS DAS ESTAÇÕES BASE PVC E DG15 EM 26/06/2021 E 26/01/2022	84
6.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG15) EM 26/06/2021 E 26/01/2022.....	87
6.4 ANÁLISE DA PRESENÇA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NOS DADOS BRUTOS DAS ESTAÇÕES BASE PVC E DG15 EM 27/06/2021 E 27/01/2022	87
6.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG15) EM 27/06/2021 E 27/01/2022.....	90
6.6 ANÁLISE DA PRESENÇA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NOS DADOS BRUTOS DAS ESTAÇÕES BASE PVC E DG15 EM 28/06/2021 E 28/01/2022	90
6.7 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG15) EM 28/06/2021 E 28/01/2022.....	93
6.8 ANÁLISE DA PRESENÇA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NOS DADOS BRUTOS DAS ESTAÇÕES BASE PVC E DG15 EM 29/06/2021 E 29/01/2022	93
6.9 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG15) EM 29/06/2021 E 29/01/2022.....	96
6.10 ANÁLISE DA PRESENÇA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NOS DADOS BRUTOS DAS ESTAÇÕES BASE PVC E DG15 EM 30/06/2021 E 30/01/2022	97
6.11 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG15) EM 30/06/2021 E 30/01/2022.....	99

6.12 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG16) EM 30/06/2021 E 30/01/2022.....	101
6.13 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG16) EM 29/06/2021 E 29/01/2022.....	101
6.14 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG16) EM 28/06/2021 E 28/01/2022.....	102
6.15 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG16) EM 27/06/2021 E 27/01/2022.....	103
6.16 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG16) EM 26/06/2021 E 26/01/2022.....	103
6.17 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG16) EM 25/06/2021 E 25/01/2022.....	104
6.18 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG18) EM 30/06/20221 E 30/01/2022	105
6.20 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG18) EM 29/06/20221 E 29/01/2022	106
6.21 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG18) EM 28/06/20221 E 28/01/2022	106
6.22 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG18) EM 27/06/20221 E 27/01/2022	107
6.23 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG18) EM 26/06/20221 E 26/01/2022	108
6.24 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE EFEITOS IONOSFÉRICOS NA SOLUÇÃO DAS COORDENADAS (BASE PVC x DG18) EM 25/06/20221 E 25/01/2022	108
CAPÍTULO 7: ANÁLISE DA REDE PROCESSADA, VELOCIDADES E CARGAS	114
7.1 VELOCIDADES DAS ESTAÇÕES.....	128
7.2 ANÁLISE DAS CARGAS.....	130
CAPÍTULO 8: SÍNTESE DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS, CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE MELHORIAS NA REDE DGNSS.	135
REFERÊNCIAS	140
APÊNDICE 01: INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DAS ESTAÇÕES REFERENTES AO ITEM 2 - MAPAS AZIMUTAL	144
APÊNDICE 02: INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DAS ESTAÇÕES REFERENTES AO ITEM 4	219
DADOS AVALIADOS DO DIA 24/01/2022	219
APÊNDICE 03: INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES REFERENTES AO ITEM 7.....	57

Apresentação

O presente documento refere-se ao projeto de pesquisa intitulado Análise da Qualidade dos Dados dos Métodos de Monitoramento de Deslocamento de Superfície, o qual teve sua contratação realizada em 03 de janeiro de 2022, com duração prevista de 18 meses. As informações gerais de identificação do projeto são apresentadas a seguir:

DADOS GERAIS DAS INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS	
Concedente:	Braskem S.A.
Conveniente:	Fundação Universitária de Desenvolvimento de Extensão e Pesquisa - FUNDEPES
Proponente:	Universidade Federal de Alagoas - UFAL

DADOS GERAIS DO PROJETO	
Título do projeto: Análise da Qualidade dos Dados dos Métodos de Monitoramento de Deslocamento de Superfície	
Início do projeto: 03 de janeiro de 2022	Período de execução: 18 meses
Coordenador: Juciela Cristina dos Santos	SIAPE: 1054436
Função: Professor Adjunto	Coordenador: Dedicação exclusiva
Instituição: Universidade Federal de Alagoas - UFAL	Departamento: Campus de Engenharia e Ciências Agrárias

Resumo

Este documento parcial 02 é o resultado da pesquisa intitulada “ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS DOS MÉTODOS DE MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTO DE SUPERFÍCIE tendo como partes autoras a Fundação Universitária de Desenvolvimento de Extensão e Pesquisa - FUNDEPES e a UFAL. Onde se avaliam a qualidade dos dados coletados do monitoramento em execução, especificamente para esta sugestão técnica parcial, a **ANÁLISE DA REDE DGNSS**, localizada em área apresentada no mapa de linhas de ações prioritárias V4 (versão 4), confeccionado pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Maceió – AL e áreas adjacentes, monitorada pelo COMITÊ TÉCNICO. Os órgãos e instituições envolvidas são os pesquisadores da UFAL e seus respectivos laboratórios. A etapa aqui abordada, alcança o objetivo de avaliação e análise dos dados geodésicos, especificamente da rede DGNSS. Sendo assim, são apresentados os resultados das análises feitas por meio dos dados fornecidos pela concedente, bem como sugestões de melhorias aos métodos empregados, como forma de acurácia dos dados e possibilitar a aprimorar a aquisição de dados futuros.

Glossário

Acurácia - proximidade entre o resultado de um instrumento de medida e o verdadeiro valor que foi medido.

Altitude elipsoidal - distância vertical entre um ponto na terra e uma forma elipsoidal idealizada, usada para cálculos geodésicos.

Ambiguidade: é um vetor de números reais, presente nas equações de observação da fase de batimento da portadora. Sua solução é dada através de uma estimativa como vetor de número inteiro, conhecida como solução fixa, na busca por determinar o numero inteiro de ciclos decorridos entre a época de transmissão e a época de início do registros da onda.

Ângulo zenital - medida do desvio vertical em relação a linha reta que aponta para cima a partir de um ponto na superfície da terra.

Azimute - medida do desvio horizontal em relação ao norte verdadeiro a partir de um ponto de referência.

Centro de fase da antena - é o ponto virtual onde as medidas dos sinais são referenciadas, porém, além de ser diferente para cada portadora o centro de fase não é estável e varia com a intensidade e a direção dos sinais (MONICO, 2008).

Cintilação ionosférica - refere-se às flutuações rápidas e irregulares na fase e na amplitude de sinais de rádio ou micro-ondas à medida que eles passam pela ionosfera.

Degradação do sinal: são fontes de erros diretos e indiretos do sistema GNSS que implicam na diminuição da precisão do posicionamento.

Efemérides - técnica que utiliza informações de posição transmitidas por satélites para calcular a localização exata de um receptor na Terra.

Erros de atraso atmosféricos - perturbações causadas pela interação da atmosfera terrestre com sinais eletromagnéticos.

Erros orbitais - imprecisões nas posições reais dos satélites em órbita em relação às posições calculadas idealmente.

Erros sistemáticos nas antenas – tipo de erro que ocorre de maneira consistente e previsível em medições. Esse tipo de erro não varia de forma imprevisível, mas sim segue um padrão ou tendência

específica.

Estratosfera - região da atmosfera que é caracterizada por uma variação específica da temperatura com a altitude.

Global Navigation Satellite System (GLONASS) - é um sistema global de navegação por satélite desenvolvido pela Rússia, projetado para fornecer serviços de posicionamento, navegação e cronometragem em todo o mundo, utilizando uma constelação de satélite em órbita.

Global Navigation Satellite System (GNSS) – é um sistema que permite determinar a posição, velocidade e tempo com alta precisão em qualquer lugar do mundo, através da utilização de sinais transmitidos por uma rede de satélites em órbita da Terra.

Global Positioning System (GPS) - sistema de navegação por satélite desenvolvido e operado pelos Estados Unidos, ele permite determinar com precisão a posição, velocidade e tempo em qualquer ponto da terra ou próximo a ela, utilizando uma rede de satélites em órbita.

Ionosfera - região eletricamente carregada na atmosfera da terra, fundamental para a comunicação de rádio de longa distância e outras atividades relacionadas a sinais eletromagnéticos.

Máscaras de elevação - ângulo a partir do horizonte no qual os satélites não são rastreados.

Mesosfera - camada da atmosfera localizada acima da estratosfera e abaixo da termosfera. Nessa camada a temperatura geralmente diminui com o aumento da altitude, atingindo temperaturas extremamente baixas.

Multicaminho: são interferências mútuas de dois ou mais sinais, emitidos por uma fonte comum, que percorrem trajetos de diferentes comprimentos, devido a reflexões.

Perda de ciclos: é uma descontinuidade de um número inteiro de ciclos na fase da onda portadora, causada por uma perda temporária de rastreamento do sinal pelo receptor.

Pseudodistância - distância calculada entre um satélite e o receptor do usuário.

Subducção das placas - processo geológico que acontece quando duas placas tectônicas se movem uma em direção à outra.

Total Electron Content (TEC) - é uma medida usada na atmosfera para quantificar a quantidade total de elétrons livres presentes na ionosfera.

Tropopause - é uma região de transição entre a troposfera e a estratosfera.

Troposfera - camada mais baixa da atmosfera e é a região onde ocorre a maioria dos fenômenos meteorológicos e climáticos que afetam a superfície da terra.

Valores de GDOP - diluição da precisão geométrica.

Valores de PDOP - diluição da precisão de posição.

Zênite - posição vertical no céu diretamente acima de um observador ou de um ponto específico na superfície da terra.

Capítulo 1: Introdução

A análise da qualidade dos dados geodésicos e as possíveis fontes de degradação do sinal GNSS nas estações se dá com base inicialmente na calibração de antenas GNSS, escolhendo-se dois tipos de antenas instaladas na rede GNSS. Com base neste estudo são indicadas sugestões. Em seguida é efetuada uma análise do movimento da placa tectônica sul-americana nas coordenadas geodésicas das estações da rede GNSS, escolhendo-se duas estações DG10 e DG50. O efeito da troposfera é analisado a partir de diferentes modelos da refratividade, considerando-se uma base e um marco da rede GNSS com menores efeitos de multicaminho, empregando-se dois softwares: Topcon Tools 8.2 e RTKLiB. Neste estudo escolheu-se a estação Base PVC e a estação DG32. Alterando-se também as máscaras de elevações.

Para analisar o efeito de multicaminho em estações da rede GNSS, ou seja, o efeito ocasionado quando o receptor está localizado próximo de superfícies ou objetos refletoras e que pode interferir no percurso do sinal, foram escolhidas algumas estações da rede: Base PVC, DG21, Mina 09, Mina 16, Mina 17 e utilizou-se os *softwares* BKG Ntrip Client (BNC), versão 2.12.18, módulo RINEX Editing & QC; e RTKLIB, versão 2.4.2, módulo RTKPLOT e AstGeoTop para a geração dos gráficos para as observações coletadas pelos satélites GPS e pelos satélites GLONASS. Ilustrando-se também a elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo, assim como os valores de PDOP; os respectivos valores de multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2; os valores de sinal/ruído para as ondas portadoras L1 e L2; além do gráfico com o número de satélites e valores de GDOP para os satélites observados. Ao todo foram analisadas as estações DG16 a DG23, DG25 a DG29 e as estações Mina 01, Mina 04, Mina 06, Mina 07, Mina 11, Mina 16, Mina 17, Mina 32 e Mina 35. Em seguida, para analisar o efeito de multicaminho nas coordenadas geodésicas foram escolhidas a Base PVC e as estações DG17, DG18, DG21, Mina 07, Mina 09 e Mina 16. Uma análise conjunta das soluções com algumas informações de alertas também é efetuada, envolvendo as estações: DG18, DG17, DG21, Mina 09 e Mina 16. Finalizando-se com sugestões sobre os multicaminhos.

A análise da presença de efeito ionosférico se dá nos dados com o objetivo de investigar dados coletados nos anos de 2021 e 2022 sob as estações Base PVC, DG15, DG16 e DG18. Para isso foi utilizado o programa TEQC e o programa RTKLiB. Em seguida para analisar o efeito da ionosfera nas coordenadas geodésicas e nos dados brutos foram escolhidas a Base PVC e as estações DG15, DG16 e DG18 nas respectivas datas investigadas. Seguidas as sugestões em forma de conclusões.

Considerando-se seis estações pertencentes à rede SIRGAS-CON (BRFT, SAVO, SALU, CHPI, BRAZ e UFPR) e as estações Base UCS, Base Exército, Base PVC, DG15, DG16 e DG18 localizadas na área em estudo e a partir de dados coletados em um período de 1 ano e meio foi feita uma Análise da rede processada, das velocidades e de cargas. Para isso utilizou-se o programa GAMIT/GLOBK, com o objetivo de estimar o conjunto de coordenadas e velocidades de cada uma das estações.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta proposição técnica baseia-se na análise da qualidade dos dados geodésicos coletados e processados visando o monitoramento de deslocamento de superfície em virtude do fenômeno geológico que ocorre em área apresentada no mapa de linhas de ações prioritárias V4 (versão 4), confeccionado pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Maceió – AL e em área adjacente monitorada pelo Comitê Técnico, especificamente no que tange a Rede de Monitoramento DGNSS.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar o mapeamento de possíveis fontes de degradação do sinal GNSS nas estações já implantadas;
- b) Definir parâmetros de qualidade para avaliação e análise dos dados e geodésicos;
- c) Contribuir para o sistema de monitoramento na área de estudo.

Capítulo 2: Calibração de Antenas GNSS

No posicionamento por satélites diversos erros atuam na determinação das coordenadas geodésicas e devem ser considerados quando se almeja alta precisão e acurácia. O conhecimento da posição do centro de fase da antena possibilita a conexão deste ponto com o ARP (*Antenna Reference Point* – Ponto de Referência da Antena), visando determinar as coordenadas geodésicas no ponto.

Denomina-se centro de fase eletrônico (ou simplesmente centro de fase) o ponto observado em uma antena GNSS durante a recepção de um sinal vindo de um satélite. Segundo Mader (1999) e Rabbany (2002), o centro de fase da antena não coincide com o centro mecânico (geométrico) dessa antena. Ele varia de acordo com a elevação e o azimute do satélite GNSS, bem como, com a intensidade (frequência) do sinal observado. O centro de fase (CF) das antenas GNSS é diferente para as ondas portadoras. O offset do centro de fase médio pode ser dividido em dois elementos: o PCO (*Phase Center Offset* – Deslocamento do Centro de Fase) e o PCV (*Phase Center Variation* – Variação do Centro de Fase). O PCO é um vetor de deslocamento entre o centro de fase médio e o ARP, e o PCV consiste das variações do centro de fase médio por conta da direção do sinal recebido, de caráter sistemático, que é função do ângulo de incidência do sinal GPS na antena receptora. Na Figura 2.1 pode-se observar o ARP, os centros de fase e mecânico e o PCV. Segundo Mader (1999) ignorar a posição do CF pode conduzir a erros na componente vertical de até 10 cm.

Por meio de procedimentos de calibração são determinados o PCO e as variações do PCV, os quais são válidos para as antenas devidamente orientadas para o Norte. Dentre os métodos de calibração existentes cita-se: calibração absoluta em ambientes controlados, também conhecida como calibração absoluta em câmaras anecóicas, calibração absoluta em campo e calibração relativa em campo.

Nota: O termo **Calibração** de Antenas GNSS é empregado internacionalmente e nacionalmente no meio científico das ciências geodésicas, e consiste na determinação dos valores absolutos ou relativos de PCO e PCV para um modelo de antena GNSS ou para cada antena. Esses valores são introduzidos no instante dos processamentos dos dados GNSS coletados.

Figura 2. 1- Elementos de uma Antena GNSS



Fonte: Adaptado de Freiburger Junior (2004)

Neste projeto foi efetuada a calibração de duas antenas, a TRM 11.5000 (Zephyr 3) - n° série 60473B0129 e a TRM 68040.01 (AG-25) n° série MAP59033013.

Foi empregada a calibração relativa em nível absoluto na Base de Calibração de Antenas GNSS (BCAL/UFPR) (Figura 2.2.a) localizada ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), no campus do Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná. A BCAL (Figura 2.2.b) é formada por três pilares (Figura 2.2.c), formando linhas de base curtas, devidamente construídos com isolamento (Figura 2.2.d).

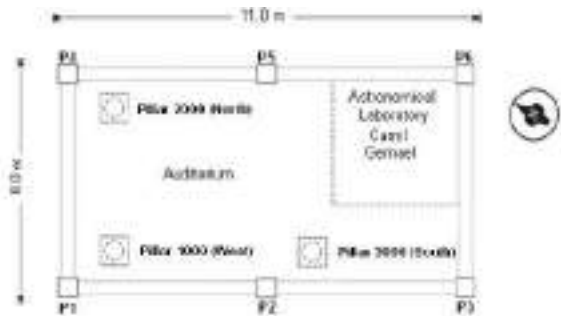
Figura 2. 2 - BCAL/UFPR



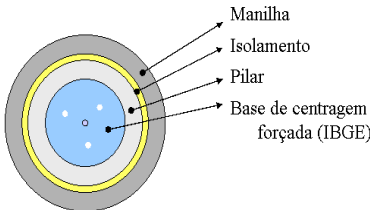
2.2a) Local da Calibração da Antena LAGEH/UFPR
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)



2.2b) BCAL/UFPR
Fonte: Huinca et.al (2010)



2.2c) Pilares da BCAL
Fonte: Huinca et.al (2010)



2.2d) Pilar e sua estrutura interna
Fonte: Huinca et.al (2010)

Antes de se iniciar as calibrações e de posicionar as antenas nos pilares (1000 e 2000), em campo, é necessário medir a diferença de nível entre os Antenna Reference Point (ARP) das antenas a serem utilizadas na calibração. Os desníveis foram obtidos via nivelamento geométrico de visadas iguais entre os pilares de ré e vante, de altíssima precisão, com nível Leica DNA 03 com precisão nominal do duplo nivelamento de 0,3mm/km e mira de invar com leitura em código de barra

Os cálculos foram realizados usando nivelamento e contranivelamento de duas seções para verificar a precisão em mm/km e posteriormente a média e desvio padrão dos desníveis conjuntos para adotar o valor médio dos desníveis. A Figura 2.3 apresenta a caderneta de campo original anotada manualmente e a tinta.

Figura 2.3 - Caderneta de Campo

CADERNETA DE CAMPO: NIVELAMENTO GEOMÉTRICO, VISADAS IGUAIS							
Operador: JOSSÉ FELIX				Folha nº 2			
Registrador: CLAUDIA				Folha nº 2			
Data: 14/01/2023				Hora de início:		Hora de fim:	
Equipamento utilizado: DNA 03				Mira:			
Linha (R e V em m):							
Observações: Nivelamento 3m M.R. 14/01/23							
Pontos Visados	Distância m	Leitura Estadiométrica		Distância Vantec	Rio Nivelador		Desnível (R-V)
		08	1200		08	1200	
V P2000				2,99			0,05697
R P1000	4,01						0,8772
R P2000	4,01						1,100
V P2000				2,99			0,8763
R P1000	4,00						
V P1000				2,99			0,18761
R P1000	4,00						
V P1000				2,99			0,18710
R P2000	4,01						
V P2000				2,99			0,15954

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

O processamento das seções de nivelamento e contranivelamento foram executadas com o software AstGeoTop no módulo nivelamento geométrico, cujo relatório da seção nivelada mostra

que a precisão das 2ª e 3ª leituras da caderneta de campo fornecem 0,01mm de erro de fechamento e que em um quilômetro de duplo nivelamento, resultaria em 0,12mm/km. Atendendo o requisito de altíssima precisão segundo a NBR 13.133 (2021). Conforme descrito no relatório do AstGeoTop a seguir.

AstGeoTop 2014: MÓDULO - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO
RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO

NIVELAMENTO

	SEM AJUSTAMENTO	COM AJUSTAMENTO
ESTAÇÃO	COTA (m)	COTA (m)
P1000	0,000	0,00000
P2000	0,18963	0,18962

Número de Pontos ajustados Nivelamento = 1

CONTRANIVELAMENTO

	SEM AJUSTAMENTO	AJUSTADAS	
ESTAÇÃO	COTA (m)	COTA REDUZIDA (m)	AJUSTADA (m)
P1000	0,000	0,00000	0,00000
P2000	0,18961	0,18961	0,18962

Número de Pontos ajustados Contranivelamento = 1

AJUSTAMENTO COM VALORES MÉDIOS DOS PONTOS COMUNS

ESTAÇÃO	COTA NIV (m)	COTA CNIV (m)	MEDIA (m)	Precisão (mm)
P1000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
P2000	0,18963	0,18961	0,18962	0,01

Desnível entre P1000 e P2000 = 0,18962 m

Erro de fechamento = 0,00002 m => 0,02000 mm

Comprimento do circuito = 7,00 m

Precisão = 0,120 mm/km

A segunda seção 4ª e 5ª leituras (nivelamento/contranivelamento) da caderneta de campo, teve como resultado a precisão de 0,957 mm/km de duplo nivelamento com 0,08 mm de precisão no ponto, conforme mostra o relatório do AstGeoTop apresentado na sequência.

AstGeoTop 2014: MÓDULO - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO
RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO

NIVELAMENTO

	SEM AJUSTAMENTO	COM AJUSTAMENTO
ESTAÇÃO	COTA (m)	COTA (m)
P1000	0,000	0,00000
P2000	0,18970	0,18962

Número de Pontos ajustados Nivelamento = 1

CONTRANIVELAMENTO

	SEM AJUSTAMENTO	AJUSTADAS	
ESTAÇÃO	COTA (m)	COTA REDUZIDA (m)	AJUSTADA (m)
P1000	0,000	0,00000	0,00000
P2000	0,18954	0,18954	0,18962
Número de Pontos ajustados Contranivelamento = 1			

AJUSTAMENTO COM VALORES MÉDIOS DOS PONTOS COMUNS

ESTAÇÃO	COTA NIV (m)	COTA CNIV (m)	MEDIA (m)	Precisão (mm)
P1000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
P2000	0,18970	0,18954	0,18962	0,08

Desnível entre P1000 e P2000 = 0,18962 m

Erro de fechamento = 0,00016 m => 0,16000 mm

Comprimento do circuito = 7,00 m

Precisão = 0,957 mm/km

Juntando os cinco desníveis da caderneta de campo e procedendo alguns dos cálculos da estatística descritiva chega-se à média de 0,18965 m para o desnível e 0,08 mm para o desvio padrão, indicando que as incertezas estão no centésimo do milímetro. Esses foram os valores usados para proceder o processamento da calibração das antenas (Quadro 2.1).

Quadro 2. 1 – Estatística das amostras de nivelamento e contranivelamento entre as ARP's das antenas do ponto P1000 e ponto P2000

ESTATÍSTICA DESCRITIVA	
Amostra	
Número de elementos =5	
Média aritmética	= 0,18965m (desnível) P1000 para o P2000
Variância amostral	= 7,75E-9
Desvio padrão amostral	= 8,8034084308295E-5 m = 0,088mm
Coef. de variação	= 0,000464192377054021
Momento de assimetria	= 0,131913716340899 (distribuição positivamente assimétrica - alongada a direita)

As calibrações foram efetuadas empregando-se os receptores Leica 1200 GNSS (Figura 5b) para a coleta dos dados. Foi instalada no Pilar 1000 a antena de Referência LEIAR25 (Figura 5c), a qual tem seus parâmetros absolutos determinados pela empresa Geo++. No Pilar 2000 foi instalada inicialmente a antena TRM 11.5000 (Zephyr 3) (Figura 5d), cujo rastreo se iniciou às 9:00 horas do dia 16 de janeiro de 2023. A segunda antena que foi calibrada é a TRM 68040.01 (AG-25) nº série MAP59033013, e teve o início do rastreo no dia 18 de janeiro às 14h. Os dados foram

coletados com máscara de elevação de 0° e taxa de coleta de 1s e seções de no mínimo 24h de rastreamento contínuo.

A antena a ser calibrada é rotacionada em 1 minuto para as quatro direções (Norte, Sul, Leste e Oeste) e os dados são coletados para os satélites de todo o hemisfério por meio de rotações com o emprego de um robô (DRB). A Figura 2.4 ilustra a BCAL, as antenas de referência e a ser calibrada e o receptor que foi empregado na coleta dos dados.

Figura 2. 4 – Calibração Relativa na BCAL/UFPR



5a) Antenas recebendo sinais GNSS na BCAL



5b) Receptor Leica 1200 usado na coleta dos dados



5c) Antena de Referência LEIAR25 instalada no Pilar 1000 da BCAL



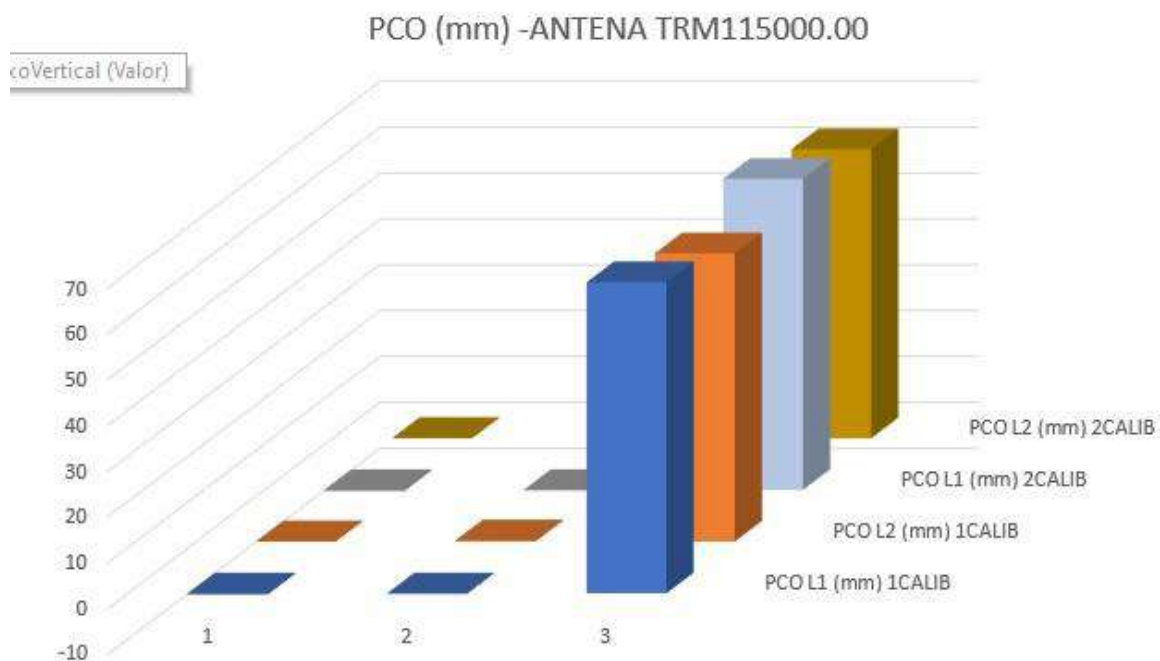
5d) Antena TRM 11.5000 a ser calibrada instalada acima do robô, no Pilar 2000 da BCAL

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

O processamento dos dados foi efetuado com o programa WaSoft/Kalib 2. Obtém-se a determinação do PCO (vetor P), a variação do PCV em função da elevação dos satélites, as variações do PCV em função do azimute e elevação para as frequências recebidas (ângulo zenital de 0° a 85° e azimute de 0° a 360°). O ângulo zenital apresenta um intervalo de 5° .

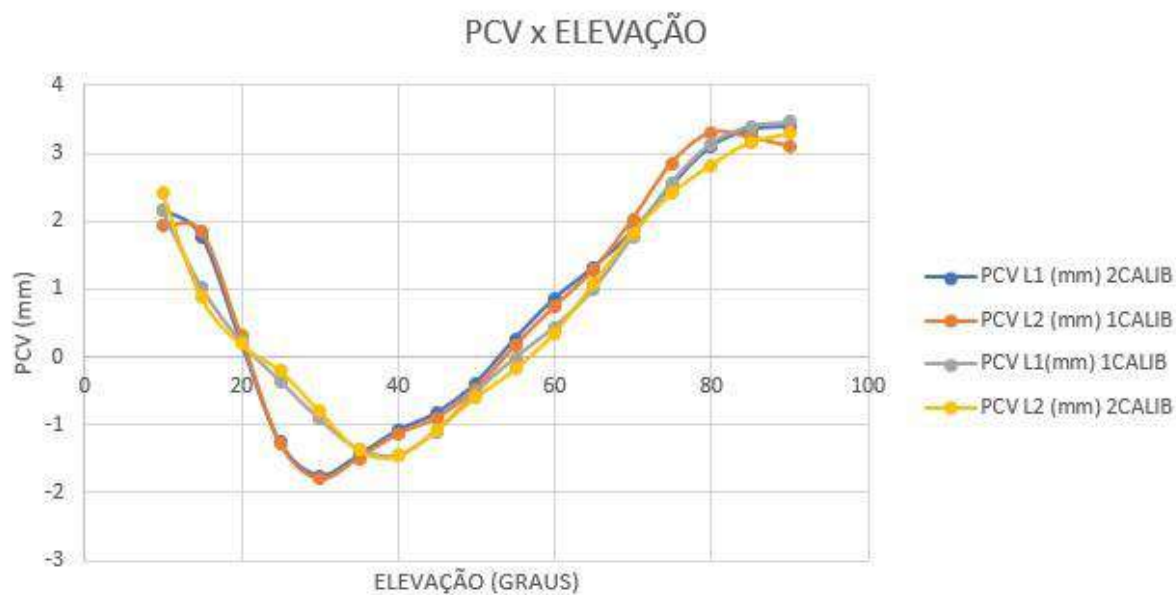
As antenas TRM 11.5000 (Zephyr 3) e TRM 68040.01 (AG-25) foram calibradas conforme indica a Tabela 2.1 apresentada na sequência tendo como referência a antena Leica 1200 GNSS.

Figura 2. 6 – Valores do PCO (valores em mm) para as ondas portadoras L1 e L2 para a TRM 11.5000 (Zephyr 3).



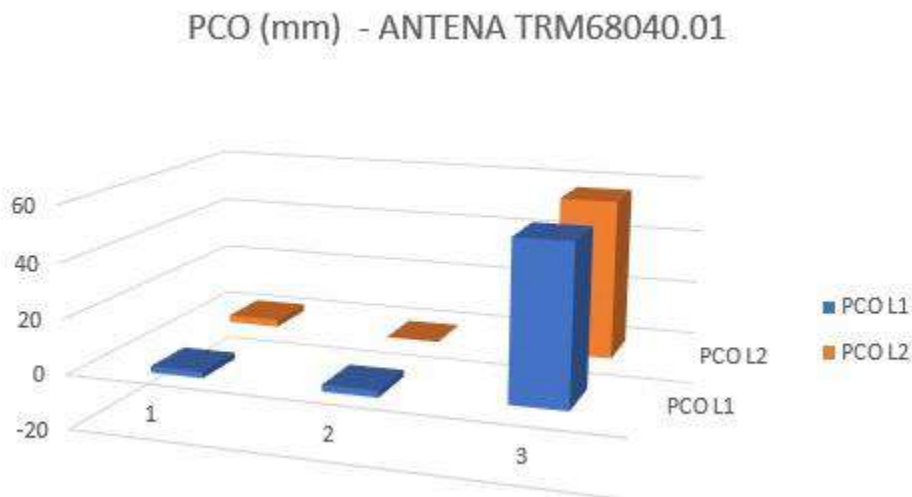
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 2. 7 – Representação da variação do PCV (valores em mm) em função da elevação dos satélites para as ondas portadoras L1 e L2 para a TRM 11.5000 (Zephyr 3).



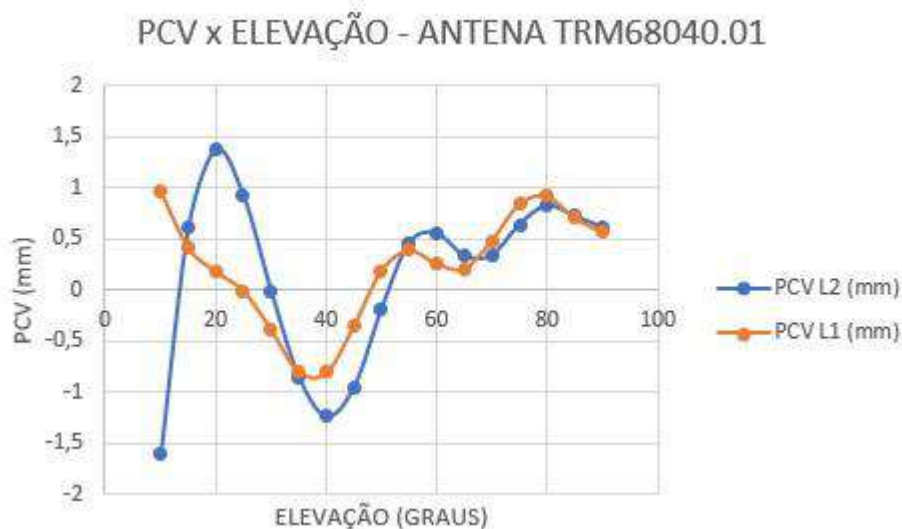
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 2. 8– Valores do PCO (valores em mm) para as ondas portadoras L1 e L2 para a TRM 68040.01 (AG-25)).



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 2. 9– Representação da variação do PCV (valores em mm) em função da elevação dos satélites para as ondas portadoras L1 e L2 para a TRM 68040.01 (AG-25).



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

No Apêndice 1 apresentam-se a descrição da calibração de antena GNSS pela BK UFPR, bem como, os relatórios com informações da calibração relativa em nível absoluto para cada modelo de antena.

Visando analisar a importância dos parâmetros de calibração das antenas no processamento dos dados foi efetuado um processamento relativo estático com o programa RTKLIB2.4.2. Foi empregada como estação base e de coordenadas conhecidas a Base Exército e a estação a se determinar suas coordenadas foi o DG15. Os dados foram armazenados no dia 15/12/2021 com duração de 24 horas. Na Figura 2.10 pode-se visualizar as estações ocupadas e o vetor formado entre elas.

Figura 2. 10 – Estações Base Exército e DG15 e o vetor formado entre elas.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Os parâmetros empregados no processamento estão indicados na Tabela 2.2.

Tabela 2. 2 – Estações Base Exército e DG15 e o vetor formado entre elas

	PROCESSAMENTO		
	1	2	3 (PPP – DG15)
Método de posicionamento	RELATIVO ESTÁTICO	RELATIVO ESTÁTICO	POR PONTO PRECISO
Efemérides	transmitidas	transmitidas	final
Máscara de elevação	15 Graus	15 Graus	
Correções ionosféricas	transmitidas	transmitidas	
Correções troposféricas	Modelo de Saastamoinen	Modelo de Saastamoinen	
Frequências processadas	L1 e L2	L1 e L2	L3
Filtro	FWD	FWD	
Resolução das ambiguidades	Fix and Holding	Fix and Holding	
Arquivo do modelo das antenas	IGS14.atx, só tem a Base Exército	SOLBCAL.atx	DG15 – SEM BASE - IGS14.atx

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Os resultados obtidos com os processamentos estão indicados na Tabela 2.3.

Tabela 2. 3 – Resultados dos Processamentos

	SOLUÇÃO DOS PROCESSAMENTOS		
	1	2	3 (PPP)
Solução das ambiguidades	FIXA	FIXA	
Número de satélites	07	07	
Coordenadas geodésicas	lat. = -9° 37' 26,90110"	lat. = -9° 37' 26,90110"	lat. = -9° 37' 26,9007"
	long. = -35° 45' 06,200041"	long. = -35° 45' 06,200037"	long. = -35° 45' 06,2015"
	alt. elipsoidal = -2,0878m	alt. elipsoidal = -2,1443m	alt. elipsoidal = -2,07m
Precisão interna	sdn (m) = 0,0001	sdn (m) = 0,0001	0,001
	sde (m) = 0,0001	sde (m) = 0,0001	0,003
	sdu (m) = 0,0002	sdu (m) = 0,0002	0,006
Ratio	85,6	83,4	

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Ainda foi efetuado um processamento relativo estático com o programa RTKLIB2.4.2. Foi empregada como estação base e de coordenadas conhecidas, a Base PVC e a estação a se determinar suas coordenadas foi o DG15. Os dados foram armazenados no dia 15/12/2021 com duração de 24 horas. Na Figura 2.11 pode-se visualizar as estações ocupadas e o vetor formado entre elas.

Figura 2. 11– Estações Base PVC e DG15 e o vetor formado entre elas.



Os parâmetros empregados no processamento estão indicados na Tabela 2.4.

Tabela 2. 4 – Estações Base PVC e DG15 e o vetor formado entre elas

PROCESSAMENTO			
	1	2	3 (PPP – DG15)
Método de posicionamento	Relativo estático	Relativo estático	Por ponto preciso
Efemérides	Transmitidas	Transmitidas	Final
Máscara de elevação	15 Graus	15 Graus	
Correções ionosféricas	Transmitidas	Transmitidas	
Correções troposféricas	Modelo de Saastamoinen	Modelo de Saastamoinen	
Frequências processadas	L1 e L2	L1 e L2	L3
Satélite excluído	NÃO	G21	
Filtro	FWD	FWD	
Resolução das ambiguidades	Fix and Holding	Fix and Holding	
Arquivo do modelo das antenas	IGS14.atx	SOLBCAL.atx	DG15 – SEM BASE - IGS14.atx

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Os resultados obtidos com os processamentos estão indicados na Tabela 2.5.

Tabela 2. 5– Resultados dos Processamentos

SOLUÇÃO DOS PROCESSAMENTOS			
	1	2	3 (PPP)
Solução das ambiguidades	FIXA	FIXA	
Número de satélites	06	05	
Coordenadas geodésicas	lat. = -9° 37' 26,90153"	lat. = -9° 37' 26,90150"	lat. = -9° 37' 26,9007"
	long. = -35° 45' 06,20119"	long. = -35° 45' 06,20115"	long. = -35° 45' 06,2015"
	alt. elipsoidal = -2,0585m	alt. elipsoidal = -2,1190m	alt. elipsoidal = -2,07m
Precisão interna	sdn (m) = 0,0001	sdn (m) = 0,0001	0,001
	sde (m) = 0,0001	sde (m) = 0,0001	0,003
	sdu (m) = 0,0003	sdu (m) = 0,0003	0,006
Ratio	100,5	101,2	

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Focando na altitude elipsoidal, que é a coordenada que sofre maiores erros, e na sua precisão interna obtida com o processamento foram elaboradas as Tabelas 2.6 e 2.7.

Tabela 2. 6 – Altitude Elipsoidal e Precisão Interna do DG15 (Base Exe - DG15)

Base Exército – DG15	Altitude (m)	Precisão interna (m)
Fornecido	-2,129	Não identificado
Com ATX – IGS14	-2,0878	0,0002
Com ATX BCAL	-2,1443	0,0002
Com PPP	-2,07	0,006

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Tabela 2. 7 – Altitude Elipsoidal e Precisão Interna do DG15 (Base PVC - DG15)

Base PVC – DG15	Altitude (m)	Precisão interna (m)
Fornecido	-2,129	Não identificado
Com ATX – IGS14	-2,0585	0,0003
Com ATX BCAL	-2,1190	0,0003
Com PPP	-2,07	0,006

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

As componentes (dx, dy e dh) dos vetores no sistema geodésico local adotando-se como referência as coordenadas geodésicas obtidas com o processamento pelo método de posicionamento relativo estático (MPRE) empregando-se os parâmetros de calibração pela BCAL/UFPR estão indicados na Tabela 2.8.

Tabela 2. 8 - Componentes do Vetor (dx, dy e dh) adotando-se como referência a solução pelo MPRE e com o Modelo gerado pela BCAL/UFPR.

Solução	Componentes do Vetor (m)			Modelo da antena
	dx	dy	dh	
Base Exército x DG15	xxxx	xxxx	xxxx	BCAL
Base Exército x DG15	-0,001	0,000	0,056	IGS_14
DG15 (PPP_IBGE)	-0,034	0,032	0,074	IGS_14
DG15 (Trimble)	-0,018	-0,007	0,015	
Base PVC x DG15	xxxx	xxxx	xxxx	BCAL
Base PVC x DG15	-0,001	0,000	0,056	IGS_14
DG15 (PPP_IBGE)	-0,011	0,025	0,049	IGS_14
DG15 (Trimble)	0,006	-0,020	-0,01	

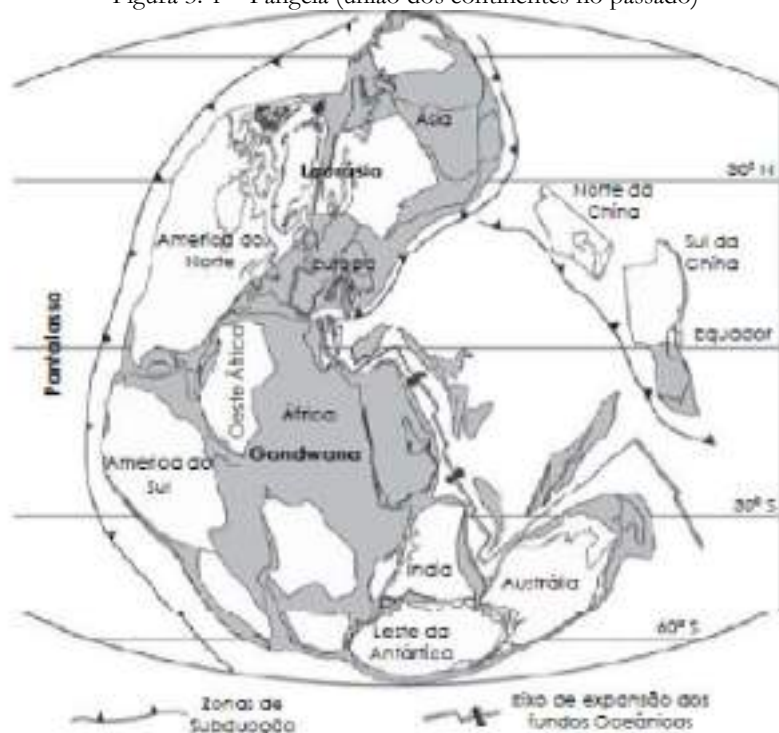
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023).

Capítulo 3: Análise do Movimento da Placa Tectônica Sul-americana nas Coordenadas Geodésicas dos Pontos Situados na Área de Estudo do Projeto.

A teoria da deriva continental teve início no final do século XVI com Abraham Ortelius pelas semelhanças geométricas entre os litorais da América com a Europa e África. Tal concepção foi ratificada por vários outros pesquisadores a posteriori, incluindo alguns que relacionavam com evento bíblico do dilúvio como George Darwin e Oswald Fisher.

Estudos aprofundados foram desenvolvidos por Alfred Wegener (1912), que relata em seu livro “*The Origin of the Continents and Oceans*” (Figura 3.1), que há cerca de 200 milhões de anos os continentes eram unidos.

Figura 3. 1 – Pangeia (união dos continentes no passado)



Fonte: Wanessa (2012)

Nos dias de hoje, em uma visão macro, estão divididas em 13 placas conforme Figura 3.2, sendo a placa Sul-Americana (SOAM), onde o Brasil está localizado e consequentemente a área de estudo. Ela limita-se a Oeste com a placa de Nazca, ao Norte com a placa do Caribe, a Leste com a placa Africana, e ao Sul com a placa da Antártica.

As setas indicativas que aparecem na Figura 3.2 mostram o sentido de deslocamento dessas placas, verificando-se que existe uma subducção da placa de Nazca com a placa SOAM e que existe expansão das placas SOAM e Africana no meio do oceano Atlântico.

Por conta desse dinamismo das tectônicas, as coordenadas de um ponto em relação à referência global acabam por se modificar ao longo do tempo. Dessa forma a Geodésia faz a evolução temporal dos seus referenciais e a posição geográfica dos pontos e de sua estrutura geodésica em coordenadas tridimensionais.

Figura 3. 2 – Divisão das Placas Tectônicas



Fonte: <http://8oanobemilie.blogspot.com/2011/06/americas-do-sul-e-seus-aspectos.html>

Ano: 2011

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) oficializado no Brasil e de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) passou por três atualizações de mudança de modelo geométrico da Terra, desde a implantação das primeiras obras da estrutura geodésica brasileira (implantação de marcos geodésicos), definida pelo arcabouço de pontos distribuídos na superfície do país. A saber o SGB Córrego Alegre, o SGB SAD-69 e o SGB SIRGAS2000.

O Atual SGB, SIRGAS2000, definido para a época 2000.4, foi estabelecido por uma campanha que envolveu rastreamento contínuo de estações GNSS no Brasil e nos países vizinhos da América do

Sul, constituído de 21 estações, do período compreendidos entre os dias 10 e 19 de maio do ano 2000. Segundo IBGE (2005), “as 21 estações da rede continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil e identificadas na Tabela 3.1, constituem a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional. Está incluída nestas tabelas a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS2000”.

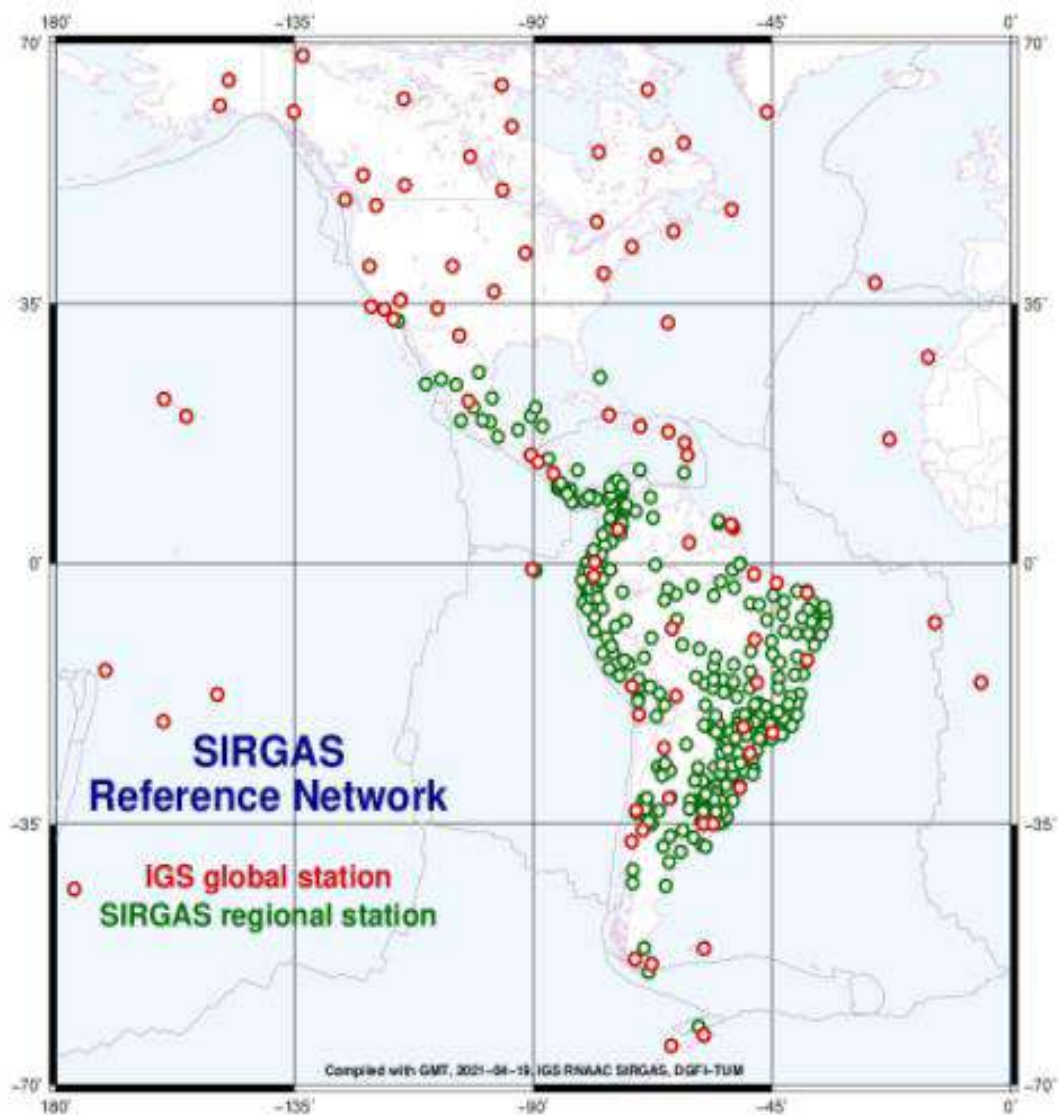
Tabela 3. 1 – Coordenadas das Estações SIRGAS2000

Estação	X (m)	Y (m)	Z (m)
BRAZ	4115014,085	-4550641,549	-1741444,019
BOMJ	4510195,835	-4268322,325	-1453035,300
CAC1	4164559,941	-4162495,407	-2445051,218
CANA	3875253,589	-4292587,088	-2681107,718
CORU	3229969,943	-5095437,766	-2063429,898
CRAT	4888626,036	-4017957,454	-798309,017
CUIB	3430711,406	-5099641,565	-1699432,931
FOR1	4982893,151	-3959968,539	-411742,293
FORT	4985386,605	-3954998,594	-428426,440
IMBI	3714672,427	-4221791,488	-2999637,883
IMPZ	4289656,441	-4680884,944	-606347,331
MANA	3179009,359	-5518662,100	-344401,823
MCAE	4400142,600	-3932040,418	-2412305,322
PARA	3763751,652	-4365113,803	-2724404,694
POAL	3467519,402	-4300378,535	-3177517,730
PSAN	3998232,011	-4969359,526	-6340,615
RECF	5176588,653	-3618162,163	-887363,920
RIOD	4280294,879	-4034431,225	-2458141,380
SALV	4863495,731	-3870312,351	-1426347,813
UEPP	3687624,315	-4620818,696	-2386880,343
VICO	4373283,313	-4059639,049	-2246959,728
SMAR	3280748,410	-4468909,741	-3143408,684

Fonte: IBGE, RPR 1-2005 de 25 de fevereiro de 2005.

Atualmente o SIRGAS conta com 400 estações internacionais de monitoramento contínuo
Figura 3.3.

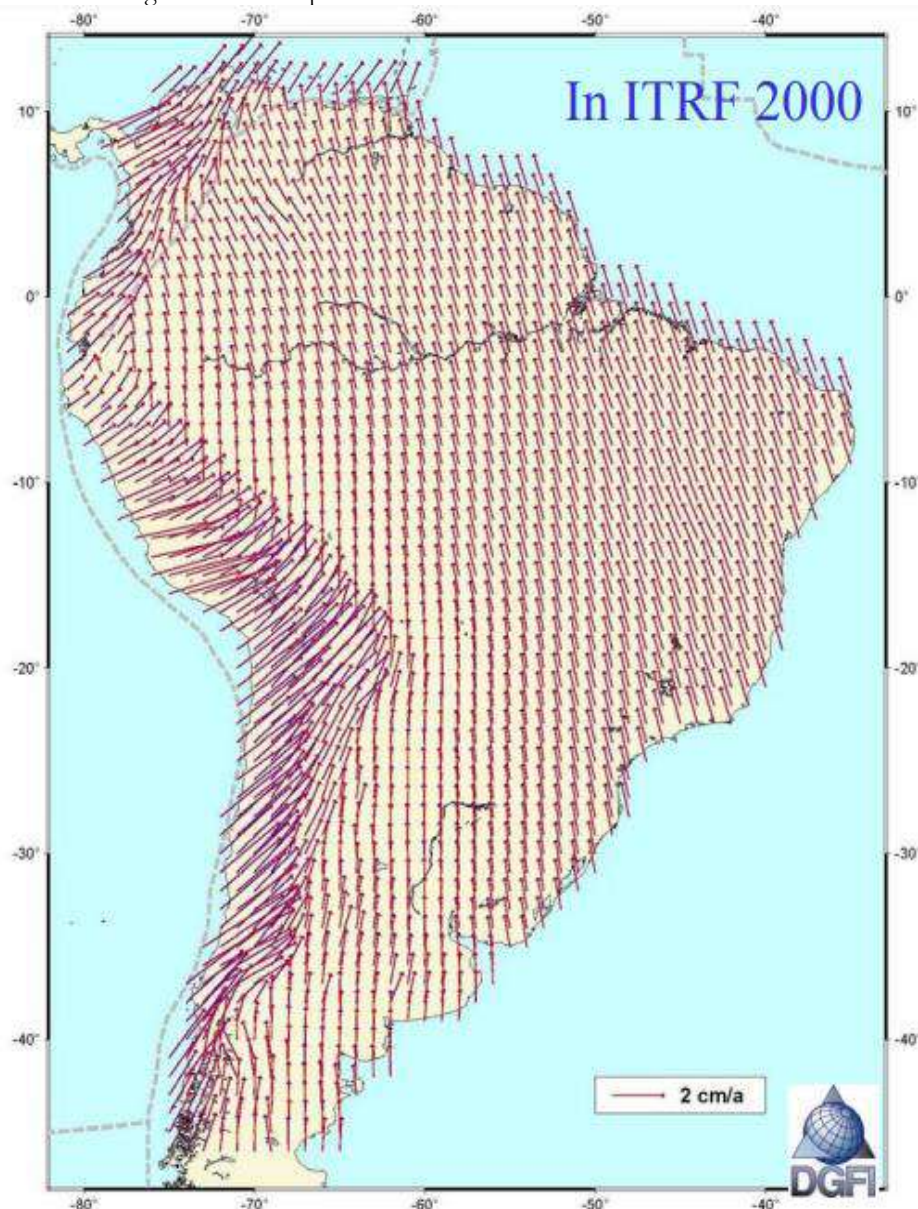
Figura 3. 3 – Estações do SIRGAS2000



Fonte: SIRGAS-COM

O SIRGAS2000 teve como parâmetros base os definidos pelo International Terrestrial Reference System (ITRS), materializado pelo International Terrestrial Reference Frame de 2000, o qual usou o elipsoide do Geodetic Reference System de 1980 (GRS80). O IBGE no seu site <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html?=&t=downloads>, publica em formato pdf o campo de velocidade da placa tectônica Sul Americana no ITRF 2000, Figura 3.4.

Figura 3. 4 – Campo de velocidade da Placa SOAM no ITRF2000



Fonte: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html?=&t=downloads>

Desde que o modelo de velocidade das placas tectônicas teve início nas suas aplicações no Brasil, vários modelos foram sendo trabalhados em pesquisas e em aplicações práticas. Um resumo desses modelos é trazido em Souza e Garnés (2014), Tabela 3.2.

Tabela 3. 2 – Parâmetros do Polo de Euler para os diversos modelos de velocidade das placas Tectônicas

Modelos	Ω_x (rad/m.anos)	Ω_y (rad/m.anos)	Ω_z (rad/m.anos)	ω (°/M.anos)
NNR-NUVEL 1A	-0,00104	-0,00152	-0,00087	0,1164
APKIM8.8	-0,00202	-0,00093	-0,00069	-
APKIM2000	-0,00095	-0,00116	-0,00060	0,0925
COSTA, SANTOS, GEMAEI (2003)	-0,00280	-0,00167	-0,00108	0,1971
PEREZ, MONICO, CHAVES (2003)	-0,00090	-0,00186	-0,00073	0,1257
ITRF2000	-0,00105	-0,00122	-0,00022	0,1130
VEMOS 2009	Usa modelo com grade			
SOUZA 2013	-0,0014218600	-0,0011970247	-0,0005526803	0,1111

Fonte: Souza e Garnés (2014)

O IBGE no Processamento por Ponto Preciso (PPP) usando o software canadense do NRCAM, parametriza as correções do deslocamento das placas tectônicas usando o modelo VEMOS 2009.

No software AstGeoTop módulo Modelo SOAM @ versão 2014.06.24 são disponíveis todos os modelos acima, mais o modelo apresentado no artigo de Souza e Garnés (2014) com base na teoria do Pólo de Euler. É com esse software que será feita a análise num dos pontos da área de estudo.

O resultado apresentado no Quadro 3.1 a seguir ilustra as coordenadas das estações DG10 e DG50 com as respectivas velocidades em Latitude (Vlat) e longitude (Vlong) em m/ano, bem como a velocidade nas coordenadas cartesianas geocêntrica VX, VY e VZ em m/ano.

Quadro 3. 1 – Velocidades da Placa SOAM nas estações DG10 e DG50

Velocidade de Estações Interpoladas a Partir de um Grid de 1 Grau x 1 Grau de Velocidades						

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]						

WGS84						
Interpolação bilinear a partir do VEMOS2009 em ITRF2005 - Grid: Drewes and Heidbach(2009)						
AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECArt/UFPE BRASIL						
Estação	Latitude	Longitude	h(m)	V(lat)	V(long)	
V(h)	V(x)	V(y)	V(z)			

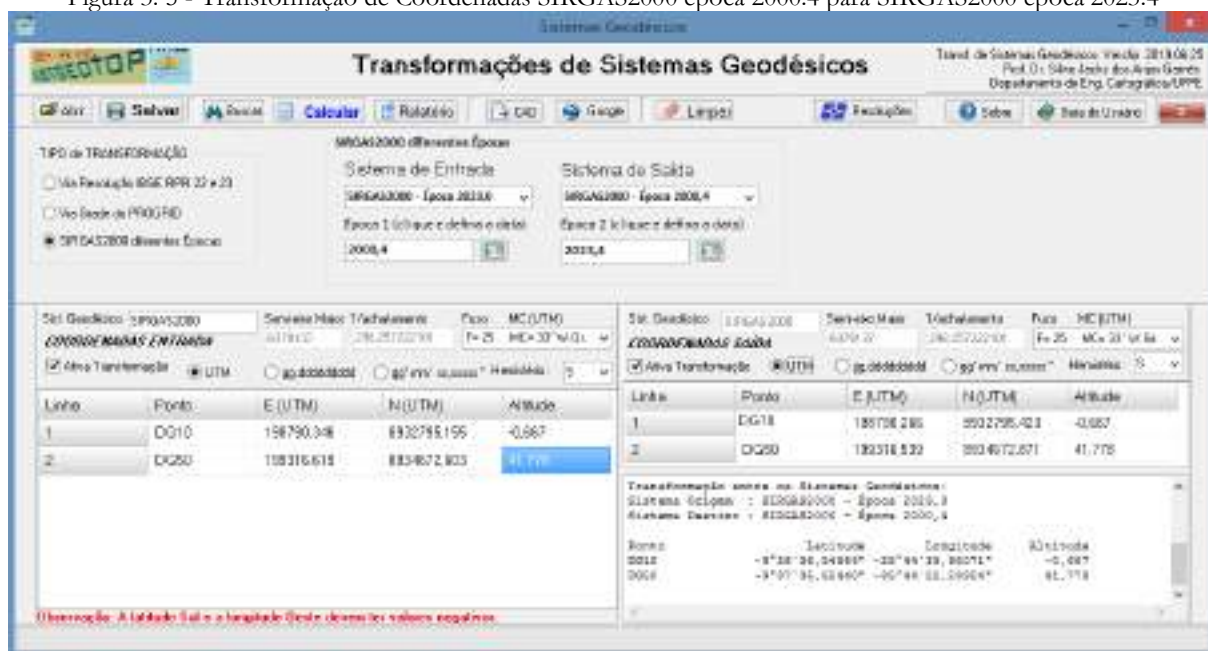
DG10	-9°38'36,55740"	-35°44'39,97815"	-0,667	0,01166	-0,00340	
0,00000	-0,0004	-0,0039	0,0115			
DG50	-9°37'35,63312"	-35°44'22,23669"	41,778	0,01166	-0,00340	
0,00000	-0,0004	-0,0039	0,0115			

Fonte: AstGeoTop 2022. Módulo Modelo SOAM @ versão 2014.06.24

Tais resultados comprovam um deslocamento nessas estações no sentido noroeste, sendo de 1,166cm/ano em latitude, e -0,3 cm/ano em longitude. Multiplicando essas velocidades por 23 anos decorridos desde a época oficial do SIRGAS2000, 2000.4, o deslocamento resultante para os dias de hoje é de dLat=26,818cm, dLong=-6,9cm, dresultante=27,69cm.

Esse deslocamento pode ser medido diretamente pela diferença das coordenadas da época de referência do SIRGAS2000 e das coordenadas para época atual. Essa análise é mostrada usando o módulo Transformação de Sistemas do AstGeoTop de SIRGAS2000, época 2000.4 para SIRGAS2000, época 2023.4. A Figura 3.5 evidencia esse resultado em coordenadas UTM, o qual segue calculado na Tabela 3.3 a resultante de 28cm de deslocamento por correção do deslocamento da placa Tectônica Sul-Americana.

Figura 3. 5 - Transformação de Coordenadas SIRGAS2000 época 2000.4 para SIRGAS2000 época 2023.4



Fonte: AstGeoTop (2019)

Tabela 3. 3 – Análise do deslocamento da Placa SOAM para as estações DG10 e DG50 ao longo de 23 anos

Época	EST	Latitude	Longitude	h	E	N	dE	dN	Res
2000,4	DG10	-9°38'36,55740"	-35°44'39,97815"	-0,667	198790,346	8932795,155	***	***	***
	DG50	-9°37'35,63312"	-35°44'22,23669"	41,778	199316,619	8934672,603	***	***	***
2023,4	DG10	-9°38'36,54866"	-35°44'39,98071"	-0,667	198790,266	8932795,423	0,08	0,268	0,280
	DG50	-9°37'35,62440"	-35°44'22,23924"	41,778	199316,539	8934672,871	0,08	0,268	0,280

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Capítulo 4: Análise do Efeito da Troposfera no Posicionamento das Estações na Área de Estudo.

O posicionamento GNSS está civado de várias fontes de incertezas, que podem chegar a dezenas de metros, como por exemplo, devido a uma reflexão indesejada do sinal eletromagnético na troposfera, ou na ionosfera; à incorreta definição das órbitas dos satélites; ou a um erro de sincronismo entre seus relógios; dentre outros (RIZOS et. al 2012). Dentre os erros provenientes da propagação do sinal GNSS tem-se a refração troposférica e a ionosférica.

A camada inferior da atmosfera (Figura 4.1) com até aproximadamente um pouco mais de 50 km, constituída pela troposfera, tropopause, estratosfera e mesosfera possuem átomos neutros e moléculas que afetam a propagação do sinal GNSS. Esse meio é não dispersivo para sinais com frequência de até 30 GHz. Desse modo, tanto as medidas da pseudodistância com o código, como as medidas de fase da portadora, sofrem o mesmo efeito. Esse efeito, que retarda a propagação do sinal, é conhecido por refração troposférica ou atraso troposférico (GARNÉS, 2001).

Figura 4. 1 – Divisão da Atmosfera em Função da Temperatura e da Ionização.



A refração troposférica, conceitualmente, pode ser definida como a integral ao longo do caminho de propagação do sinal na camada neutra da atmosfera:

$$d_{trop} = \int (n - 1) ds = 10^{-6} \int N \cdot dl$$

onde: n é o índice de refração troposférica e no caso da troposfera n é aproximadamente 1.

No desenvolvimento dos modelos da refração troposférica, costuma-se utilizar em vez do índice de refração (n), a refratividade:

$$N = (n-1) \cdot 10^6$$

A refratividade pode ser escrita como a soma de duas componentes, uma seca e outra úmida:

$$N = N_d + N_w,$$

onde:

N_d : refratividade para o ar seco;

N_w : refratividade para o ar úmido.

A refratividade pode ser calculada, por exemplo usando o modelo de Smith-Weintraub:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}$$

Onde:

P : pressão atmosférica em mb (1 b = 100.000 Pa; 1 atm = 1.013,25 HPa);

T : temperatura Kelvin, K (K = 273,15 + °C);

e : pressão parcial do vapor d'água em mb.

A refração troposférica total é calculada pelo conjunto da componente seca $dtrop,d$ e da componente úmida $dtrop,w$, sendo a componente seca responsável por cerca de 90% do valor total.

Para se corrigir a refração troposférica são empregados modelos troposféricos e funções de mapeamento que estimam o valor do atraso nos sinais GNSS provocados por esta refração. Esta modelagem depende do sinal que atravessa a atmosfera neutra e, portanto, pode ser modelada em função do ângulo de elevação do satélite. Devido às diferenças entre os perfis atmosféricos dos gases secos e do vapor de água é melhor empregar diferentes mapeamentos para as componentes seca e úmida. Todavia, modelos simples usam mapeamentos comuns para ambas as componentes.

Existem diversos modelos, os quais diferem no pressuposto de perfis verticais ou mapeamento. Modelos como, por exemplo, Saastamoinen e Hopfield necessitam de dados da superfície meteorológica, sendo a precisão afetada pela qualidade destes dados.

O Modelo de Smith-Weintraub é dado por:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}$$

Sendo:

P : pressão atmosférica em mb (1b =100.000 Pa; 1atm = 1.013,25HPa);

T : temperatura Kelvin K (K=273,15 + °C);

e : pressão parcial do vapor d'água em mb;

N : refratividade

Hopfield (1969) desenvolveu um modelo para expressar a refratividade baseado, teoricamente, em uma atmosfera com uma taxa constante de declínio da temperatura em relação ao aumento da altitude (Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger e Wasle, 2008). Este modelo é dado pela equação apresentada na sequência:

$$d_{trop,d} = \frac{10^{-6}}{5} \frac{77,64}{\text{sen}(\sqrt{E^2 + 6,25})} \frac{P}{T} [40136 + 148,72(T - 273,16)]$$

$$d_{trop,w} = \frac{10^{-6} - 12,96T + 3,718 \cdot 10^5}{5 \text{ sen}(\sqrt{E^2 + 2,25})} \frac{e}{T^2} 11000$$

$$d_{trop} = d_{trop,d} + d_{trop,w}$$

Saastamoinen (1973), a partir de teorias sobre a refração atmosférica, desenvolveu um modelo baseado na suposição do decréscimo linear da temperatura até a Tropopausa. Acima desta camada a temperatura assumiria um valor constante, caracterizando, portanto, a Estratosfera como um modelo isotérmico. Segundo Jong (1991), Saastamoinen também assume uma atmosfera esférica em equilíbrio hidrostático, e que todo o vapor d'água encontra-se concentrado na Troposfera e se comporta como um gás ideal. ((Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger e Wasle, 2008). O modelo é expresso pela seguinte equação:

$$d_{trop} = \frac{0.002277}{\cos z} \left(P + \left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - tg^2(z) \right)$$

Onde:

P (pressão total, hPa),

T (temperatura absoluta do ar, K),

e (pressão parcial do vapor d' água, hPa) derivam de uma atmosfera padrão, e z (ângulo zenital) dado por:

$$z = \frac{\pi}{2} - El_r^s$$

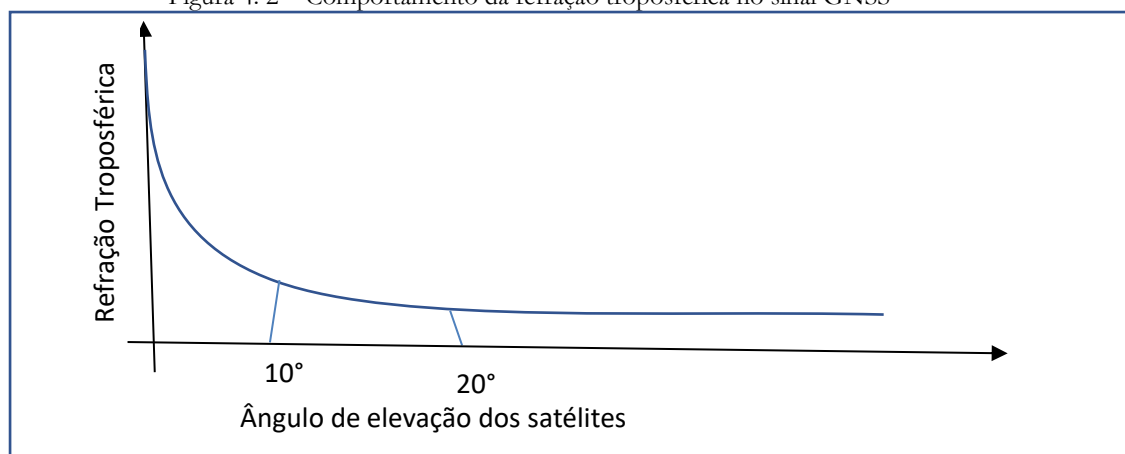
Finalmente, e com o objetivo de levar em conta no cálculo, a dependência dos ângulos de elevação dos satélites nos quais foram efetuadas as observações, tem-se equações com as funções de mapeamento troposférico como:

$$\varepsilon_{trop} = \left[mf(e)_s \times 10^{-6} \int_s^i (Ns)_{trop_s} ds \right] + \left[mf(e)_u \times 10^{-6} \int_s^i (Ns)_{trop_u} ds \right]$$

Em que $mf(e)_s$ é a função de mapeamento troposférico

Os modelos de refração troposférica mostram que os satélites mais próximos do horizonte possuem maior valor da refração, cuja curva exponencial decrescente (Figura 4.2), evidencia a necessidade do uso de máscara de elevação no processamento dos dados.

Figura 4. 2 – Comportamento da refração troposférica no sinal GNSS



Fonte: Adaptado de Andrade (1988)

Para analisar o efeito da refração troposférica nas coordenadas foram escolhidos uma base e uma estação na área de estudo, que apresentassem menores efeitos de multicaminho. O processamento relativo estático, gerando uma linha de base curta, foi efetuado pelos programas:

- Topcon Tools 8.2, um software comercial da empresa Topcon muito utilizado no país. Os modelos disponíveis de troposfera para processamento no software Topcon Tools são: Goad & Goodman, Niell e UNBabc; e

- RTKlib, um programa científico disponível para a comunidade. Os modelos disponíveis são: Saastamoni, ZTD e ZTD+GRAD

Os programas aplicam no processamento relativo às diferenciações entre as estações ocupadas visando minimizar algumas incógnitas e erros atuantes nas equações da pseudodistância e da fase da onda portadora. Um dos fatores que pode ser eliminado no caso de uma linha de base curta é o efeito da refração troposférica.

A equação da fase da onda portadora está demonstrada em Garnés (2001):

$$\phi_R^S = \rho_R^S + c dt_R - c dt^S + d_{trop} - d_{ion} - \lambda N_R^S - E$$

Onde: d_{trop} representa o efeito linear da refração troposférica na medida da fase da portadora (ϕ).

Na simples diferença de fase envolvendo dois receptores e um satélite, ilustrado na Figura 4.3a, a equação da simples diferença de fase, fica eliminado o erro do relógio do satélite (dt^S).

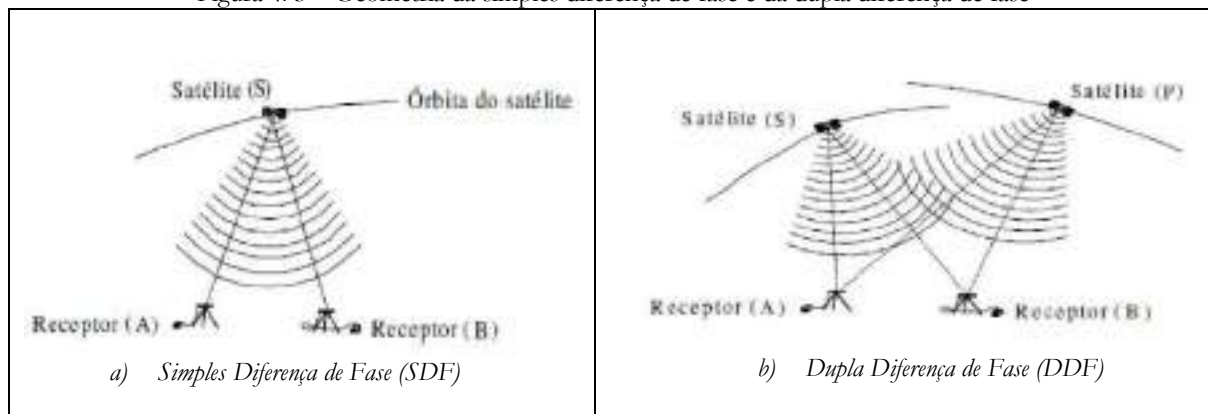
$$\phi_{AB}^S = \rho_{AB}^S + c dt_{AB} + d_{trop(AB)}^S - d_{ion(AB)}^S - \lambda N_{AB}^S - E_{AB}^S$$

Para linhas de base curta, menores que 10km, a simples diferença da refração troposférica ($d_{trop(AB)}$) tende a ser muito pequena, muitas vezes até irrelevante em termos práticos.

Na dupla diferença de fase Figura 4.3b, aparece a diferença de duas simples diferença de fase, que em linhas de base curta, também o valor é as vezes negligenciável.

$$\phi_{AB}^{SP} = \rho_{AB}^{SP} + d_{trop(AB)}^{SP} - d_{ion(AB)}^{SP} - \lambda N_{AB}^{SP} - E_{AB}^{SP}$$

Figura 4. 3 – Geometria da simples diferença de fase e da dupla diferença de fase



Fonte: Garnés (2001)

Os dados escolhidos para esse processamento foram as estações Base PVC e DG32 (Figura 4.4) para o dia 24 de janeiro de 2022. A estação Base PVC foi definida como estação base (injunçãoada como estação de controle no processamento) e a estação DG32 foi escolhida como a estação móvel.

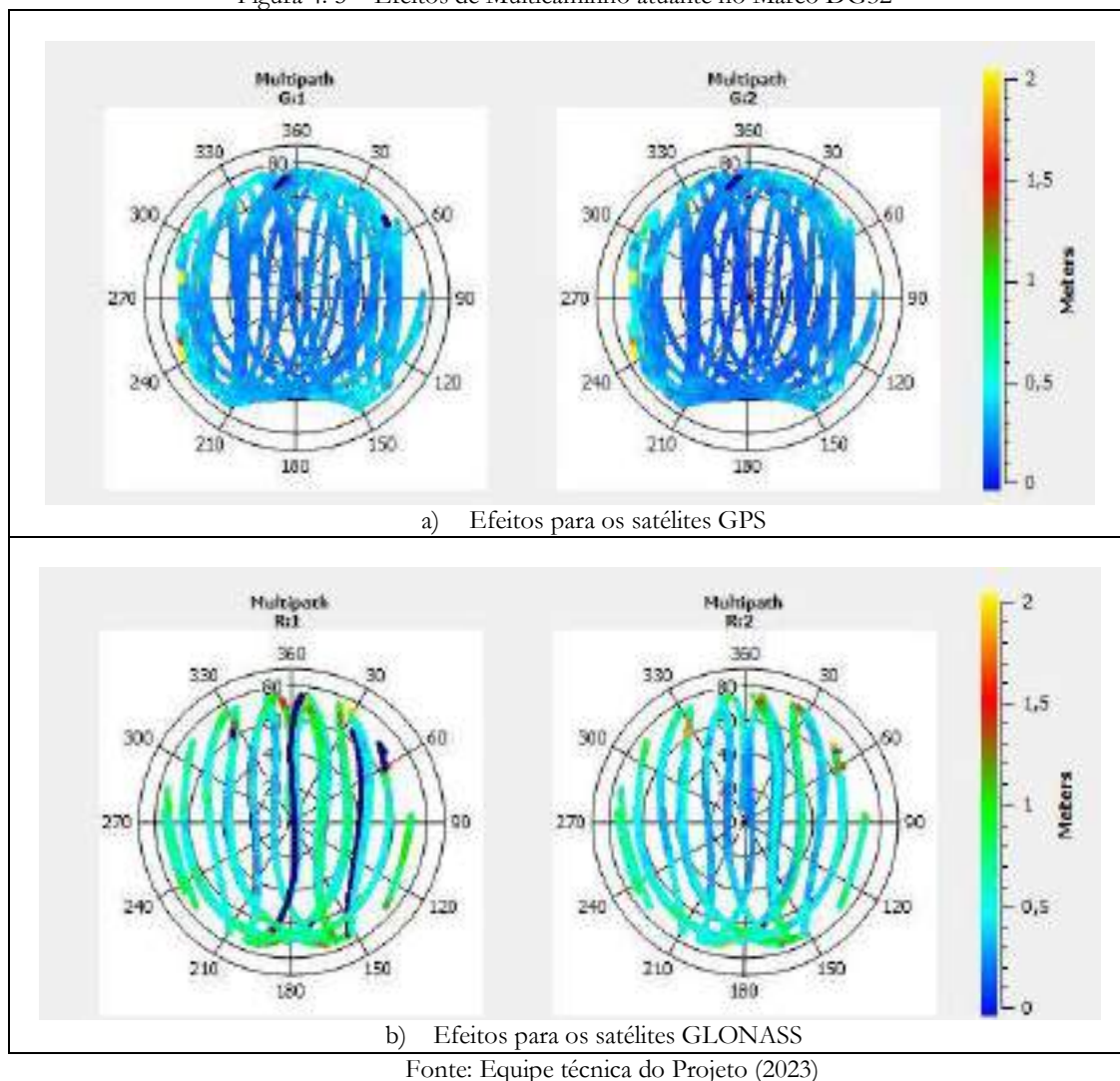
Figura 4. 4 – Localização do marco DG32.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Na Figura 4.5 se visualiza os efeitos do multicaminho atuantes no marco DG32 para a onda portadora L1 (G1) e para a onda portadora L2 (G2) para os satélites GPS. Verifica-se que existem efeitos atuantes entre os azimutes de 240° a 290° mas para elevações de satélites entre 15° e 30° , no GPS. No caso da constelação GLONASS percebe-se maiores efeitos entre os azimutes 330° a 60° .

Figura 4. 5 – Efeitos de Multicaminho atuante no Marco DG32



Inicialmente foram efetuados os processamentos da linha de base formada com o programa Topcon Tools 8.2 empregando três modelos diferentes (Goad & Goodman, Niell e UNBabc) e duas máscaras de elevação diferentes (1° e 20°). A máscara de elevação de 1° foi utilizada uma vez que o software não aceita a inserção de máscara de 0° , e a máscara de 20° foi escolhida em função da análise do mapeamento de visibilidade, sendo considerada elevação média.

Na Tabela 4.1 são visualizadas as coordenadas geodésicas calculadas, bem como, os modelos troposféricos, máscara de elevação (M. Elev.) e efemérides empregadas (Efem. transmitidas: Broadcast). Todas as soluções tiveram os inteiros das ambiguidades determinadas (Fixed).

Tabela 4. 1– Análise da variação de modelos troposféricos e máscaras de elevação no processamento da Dupla Diferença de Fase GNSS.

Tipo	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	M.Elev.	Mod Troposfera	Solução	Efem.
Base	Base PVC	9°40'48,10439"S	35°49'14,95074"W	74,637				
Rover	DG32	9°38'51,56074"S	35°44'43,78286"W	-5,627	1°	Goad & Goodman	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56074"S	35°44'43,78286"W	-5,631	1°	Niell	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56074"S	35°44'43,78286"W	-5,627	1°	UNBabc	Fixed	Broadcast
Rover	DG32	9°38'51,56073"S	35°44'43,78283"W	-5,624	20°	Goad & Goodman	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56075"S	35°44'43,78285"W	-5,628	20°	Niell	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56073"S	35°44'43,78283"W	-5,624	20°	UNBabc	Fixed	Broadcast

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Os parâmetros de calibração das antenas não foram usados neste processamento (PCO e PCV). Foi gerada a solução apenas para mostrar a variação da solução do pós-processamento usando diferentes máscaras e diferentes modelos da Troposfera, aplicando-se a combinação linear da dupla diferença de fase como é default em processamento RTK. Na Figura 4.6 apresenta-se a variação em altitude elipsoidal (geodésica) obtida com os diferentes parâmetros empregados no processamento.

Figura 4. 6 - Gráfico da variação em altitude geodésica (elipsoidal) dos diferentes modelos da Troposfera



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Percebe-se (Figura 4.6) que a máxima diferença foi de 7mm, isto é, valor inferior= -5,631m e o valor superior= -5,624m. A linha de base com comprimento de 9.009,414m, é considerada uma

linha de base curta em que a variação das condições atmosféricas entre as estações não é diferente o suficiente para interferir numa solução de ambiguidades da Dupla Diferença de Fase (DDF) GNSS.

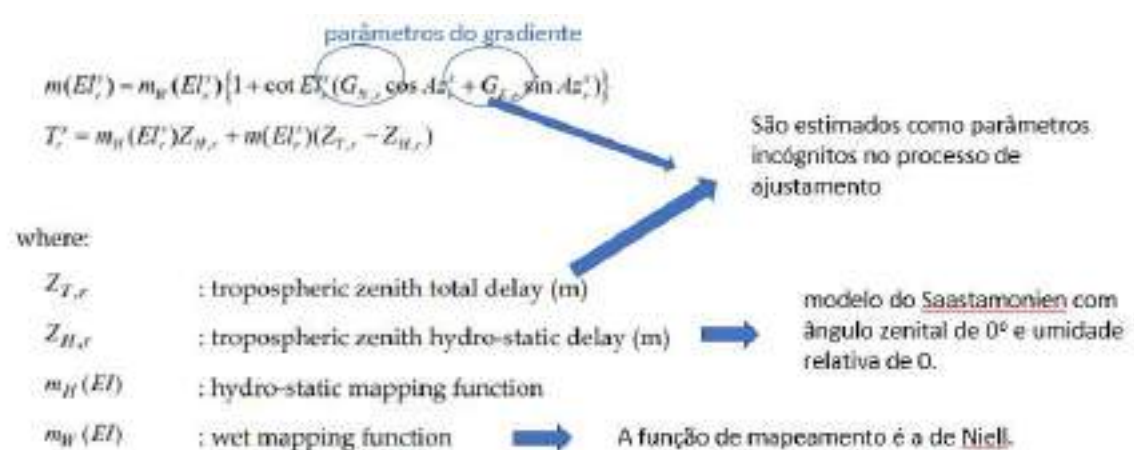
Os mesmos dados foram processados com o Programa RTKLIB, conforme indicado anteriormente, com máscaras de 10°, 15° e de 20°, foram empregados os parâmetros de calibração (PCO e PCV) e com 4 modelos troposféricos (Off, Saastamonien, ZTD e ZTD+GRAD). Neste programa tem-se que:

- *OFF*: Não aplica correções troposféricas,
- *Saastamonien*: Aplica correções troposféricas, onde a altitude geodésica é obtida para uma umidade relativa fixada em 70%, sendo:

$$T_r^S = \frac{0,002277}{\cos z} \left\{ p + \left(\frac{1255}{T} + 0,05 \right) e - \tan^2 z \right\}$$

Onde z é o ângulo zenital (em radianos) e $z = \frac{\pi}{2} - El_r^S$

- *ZTD Estimated* e *ZTD Estimated + GRAD*: modelos troposféricos precisos. Um modelo troposférico preciso é aplicado a uma função de mapeamento como:



Fonte: Manual do RTKLIB

Na Tabela 4.2 são visualizadas as coordenadas geodésicas calculadas, bem como, os modelos troposféricos, máscara de elevação (M. Elev.) e efemérides empregadas (Efem.) (transmitidas: Broadcast). Todas as soluções tiveram os inteiros das ambiguidades determinadas (*Fixed*).

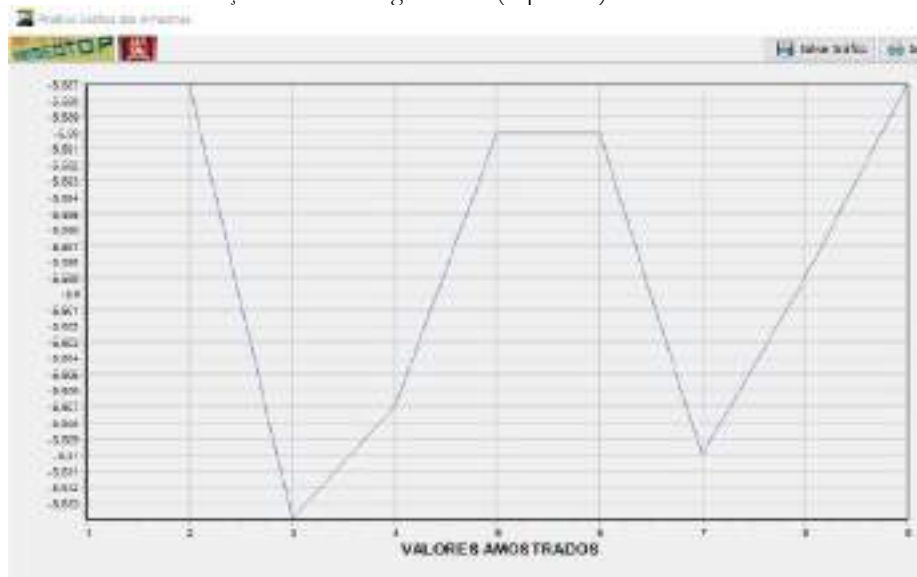
Tabela 4. 2 – Análise da variação de modelos troposféricos e máscaras de elevação no processamento da Dupla Diferença de Fase GNSS.

Tipo	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	M.Elev.	Mod Troposfera	Soluç.	Efem.
Base	Base PVC	9°40'48,10439"S	35°49'14,95074"W	74,637				
Rover	DG32	9°38'51,56076"S	35°44'43,78291"W	-5,5868	15°	OFF	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56076"S	35°44'43,78291"W	-5,5868	15°	Saastamonie ZTD	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56068"S	35°44'43,78275"W	-5,6144	15°	Estimado ZTD	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56076"S	35°44'43,78292"W	-5,6074	15°	Estimado + GRAD	Fixed	Broadcast
Rover	DG32	9°38'51,56074"S	35°44'43,78290"W	-5,5897	20°	OFF	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56074"S	35°44'43,78290"W	-5,5897	20°	Saastamonie ZTD	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56066"S	35°44'43,78272"W	-5,612	20°	Estimado ZTD	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56076"S	35°44'43,78305"W	-5,5994	20°	Estimado + GRAD	Fixed	Broadcast
	DG32	9°38'51,56076"S	35°44'43,78291"W	-5,5868	10°	Saastamonie	Fixed	Broadcast

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 4.7 apresenta-se a variação em altitude elipsoidal (geodésica) obtida com os diferentes parâmetros empregados no processamento.

Figura 4. 7 - Gráfico da variação em altitude geodésica (elipsoidal) dos diferentes modelos da Troposfera



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Percebe-se na Figura 4.7 que a máxima diferença foi de 2,6cm, isto é, valor mínimo = -5,614m e o valor máximo = -5,587m. A linha de base com comprimento de 9.009,414m, é considerada uma linha de base curta em que a variação das condições atmosféricas entre as estações não é diferente

o suficiente para interferir numa solução de ambiguidades da Dupla Diferença de Fase (DDF) GNSS.

Avaliando apenas o modelo de Saastamonien a máxima diferença foi de 0,003mm entre soluções com elevações de 10°, 20° e de 15° e 20° e não houve diferenças nas altitudes sem o emprego de modelo troposférico com o emprego do modelo de Saastamonien.

Capítulo 5: Análise do Efeito de Multicaminho em Estações na Área de Estudo

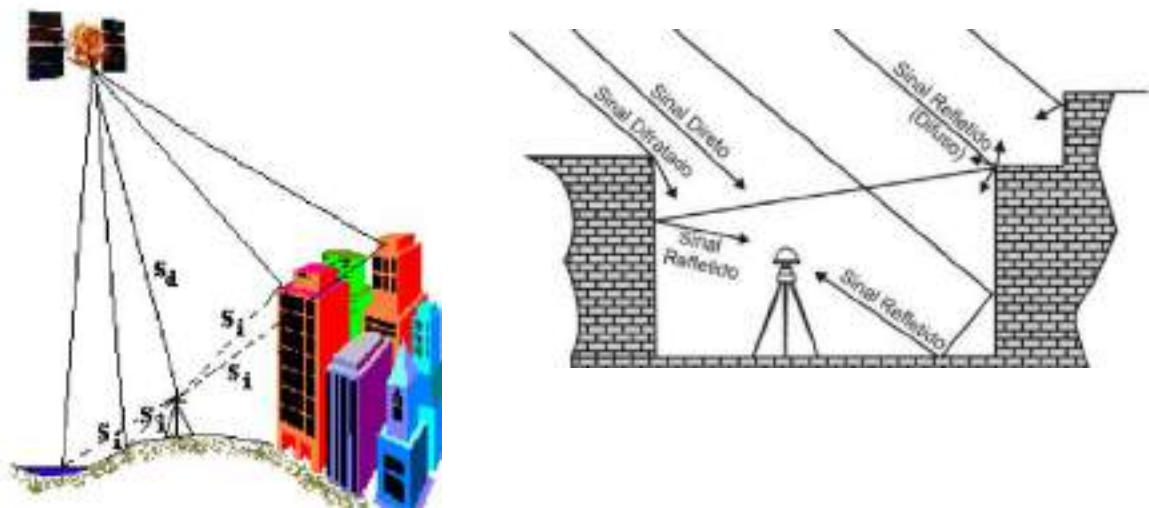
O efeito de multicaminho acontece quando o receptor se encontra localizado próximo de superfícies ou objetos refletoras, capazes de interferir no percurso do sinal (Figura 5.1). Uma reflexão do sinal GNSS ocorre antes de atingir o centro de fase da antena.

Segundo Seeber (2003) este efeito afeta de forma similar as medições de código e fase, no entanto, o efeito sobre as observações de código P é duas vezes maior que a magnitude para as observações de fase portadora e no caso do código C/A, pode gerar erros na ordem de metros.

O erro proveniente do efeito de multicaminho tem alta dependência dos objetos próximos à antena, ou seja, de obstáculos ou superfícies que possam refletir o sinal de incidência direta entre antena e satélite. Segundo Seeber (1993) e Souza (2004), o atraso na fase da onda portadora devido ao multicaminho acarreta erros de no máximo $\frac{1}{4}$ de ciclo de onda que corresponde a alguns centímetros. Por exemplo, para a onda portadora L1, com comprimento de onda igual a 19,05 cm tem-se um erro aproximado de 4,8 cm. Já para a onda portadora L2, com comprimento de onda igual a 24,5 cm tem-se um erro aproximado de 6,1 cm.

Na Figura 5.1 indica-se os sinais diretos (S_d) e indiretos (S_i) que chegam à antena. Os sinais indiretos refletidos ocorrem devido a diferentes superfícies como, p.ex., construções, água, estruturas metálicas.

Figura 5. 1– Efeito de Multicaminho atuante no Posicionamento Geodésico



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Segundo Ray (1999), o erro decorrente do efeito de multicaminho pode variar desde poucos centímetros até metros, dependendo da quantidade de obstruções presentes na área de levantamento e da refratividade da superfície do material que reflete o sinal incidido.

Em geral o sinal resultante LCHP (Left-Hand Circularly Polarised) atinge a antena abaixo de sua linha de horizonte com uma amplitude superior ao sinal direto RCHP (Right-Hand Circularly Polarised) (KUNYSZ, 2013).

Dentre as formas de atenuar e minimizar o impacto do efeito multicaminho (Figura 5.2), cita-se:

- A seleção de uma localização ótima para a estação, sem a presença de superfícies ou objetos refletoras;
- O uso de antenas com plano que evitem em grande parte a reflexão do sinal;
- O emprego de materiais absorventes abaixo da antena na superfície física onde se localiza a antena (por exemplo AEM-LAGEH).

Figura 5. 2 – Formas de Atenuar o Impacto do Efeito do Multicaminho



Antenas com Aba.
Fonte Krueger, 2016



Antena Choke-Ring.
Fonte Krueger, 2016



AEM-LAGEH instalado sob a antena GNSS.
Fonte Krueger, 2016

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Foram analisados os dados coletados no dia 24 de janeiro de 2022 por algumas estações da rede. É importante salientar que os efeitos de multicaminho identificados nas estações analisadas são pontuais para a data em que foi realizado o levantamento. Algumas das obstruções podem ser identificadas e eliminadas, conforme sugestões fornecidas no Capítulo 8.

Para a geração dos gráficos foram empregados os programas listados na sequência:

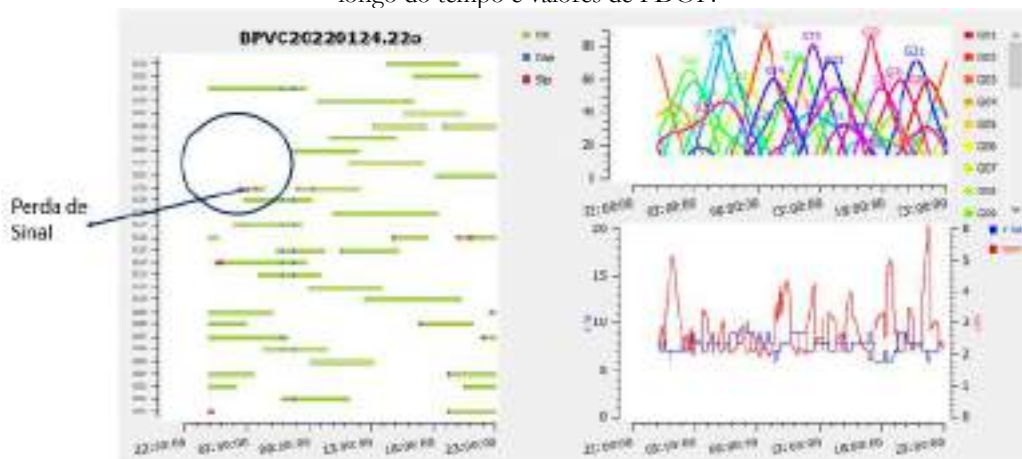
- BKG Ntrip Cleint (BNC), versão 2. 12..18, módulo RINEX Editing & QC; e
- RTKLIB, versão 2.4.2, módulo RTKPLOT.

Os módulos destes programas lêem as informações contidas nos RINEX (Receiver Independent Exchange Format) e apresentam na forma de gráficos.

Para cada estação analisada foram gerados os gráficos para as observações coletadas pelos satélites GPS e pelos satélites GLONASS.

Na sequência apresenta-se para a estação Base PVC os satélites da constelação GPS visíveis (Figura 5.3). Inicialmente, são visualizados os satélites visíveis ao longo do tempo de observação, sendo destacado as perdas de sinais que ocorreram para o satélite G20 próximo às 03 horas. Do lado direito da Figura 5.3 se tem, acima, o gráfico que mostra a elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo. Na parte direita da Figura 5.3, abaixo, o número de satélites em azul e o valor de PDOP em vermelho. Os valores de PDOP (Figura 5.3) são inferiores a 6, valor este admitido como limite pela literatura consagrada. O valor mais elevado ocorre por volta das 22h onde conta-se com 6 satélites e verifica-se que há uma mudança de geometria e algumas perdas de sinal (G07, G09 e G16).

Figura 5.3 - Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP.



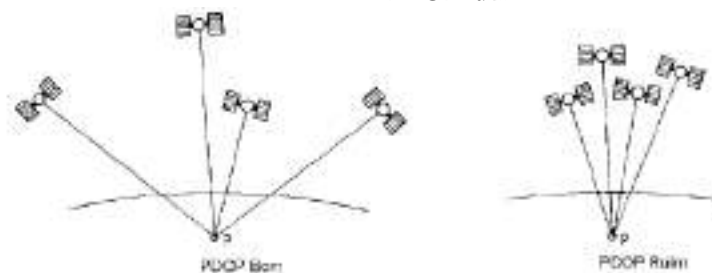
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

A relação entre o σ_e o desvio padrão associado para a posição σ_p é descrita através do escalar DOP (Dilution of Precision). Existe alguns valores de DOP, sendo eles:

- HDOP: Horizontal DOP – para o posicionamento horizontal;
- VDOP: Vertical DOP – para o posicionamento vertical;
- PDOP: Position DOP - para o posicionamento tridimensional;
- TDOP: Time DOP - para a determinação do tempo, e
- GDOP: Geometrical DOP – para o posicionamento tridimensional e para a determinação do tempo.

Pode-se ainda dizer que o PDOP é o inverso do volume do tetraedro formado entre o observador e os satélites observados por ele. Na Figura 5.4 observa-se do lado esquerdo a configuração dos satélites que conduzem a um PDOP Bom e do lado direito a configuração dos satélites que conduzem a um PDOP Ruim. Segundo a literatura este valor deve ser inferior a 6 para que se obtenha posicionamentos com precisão.

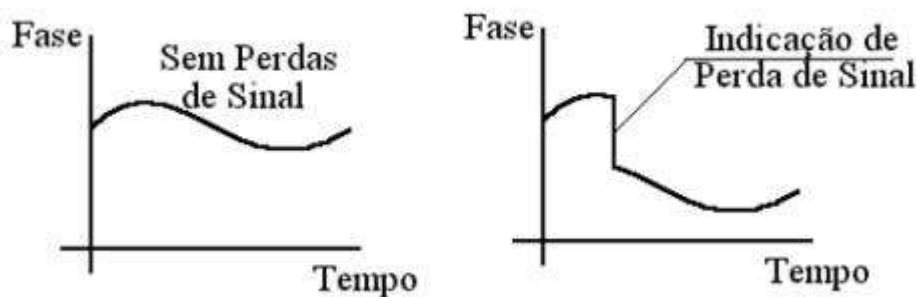
Figura 5. 4 – Distribuição dos satélites em relação ao observador conduzindo a um valor de PDOP bom e a outro PDOP ruim.



Fonte: Adaptado de Seeber (1993)

As perdas de sinais consistem na interrupção do sinal enviado pelo satélite num devido instante de tempo devido a presença de obstruções ou obstáculos no entorno do ponto em que está instalada a antena GNSS. Podem ocorrer saltos de ciclos na onda portadora observada (Figura 5.5). Estas perdas provocam a determinação de novas ambiguidades e podem dificultar na solução dos inteiros das ambiguidades.

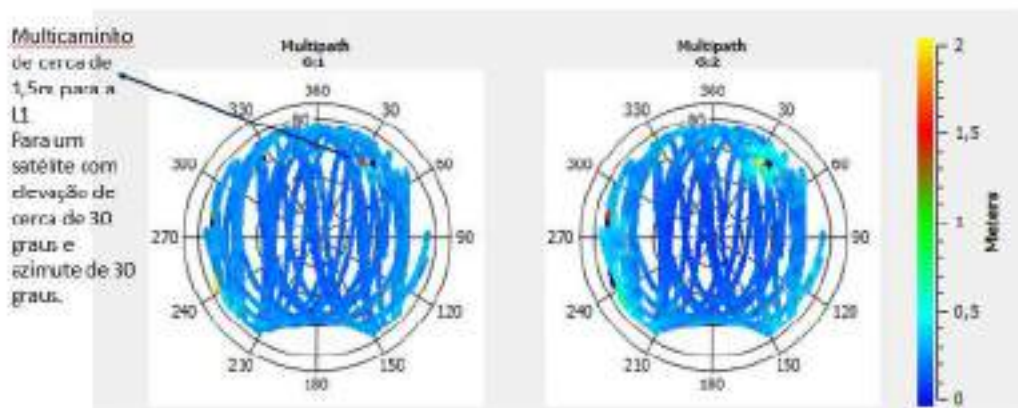
Figura 5. 5 – Perdas de Sinal



Fonte: Seeber (1993)

Na Figura 5.6 tem-se os efeitos do multicaminho atuantes para os satélites GPS observados pela estação Base PVC para a onda portadora L1 (Figura 5.6 a esquerda) e para a onda portadora L2 (Figura 5.6 a direita). Destacou-se na figura um multicaminho de cerca de 1,5m para a L1 para um satélite que está com elevação de cerca de 30° e azimuth de 30°.

Figura 5. 6 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Base PVC.

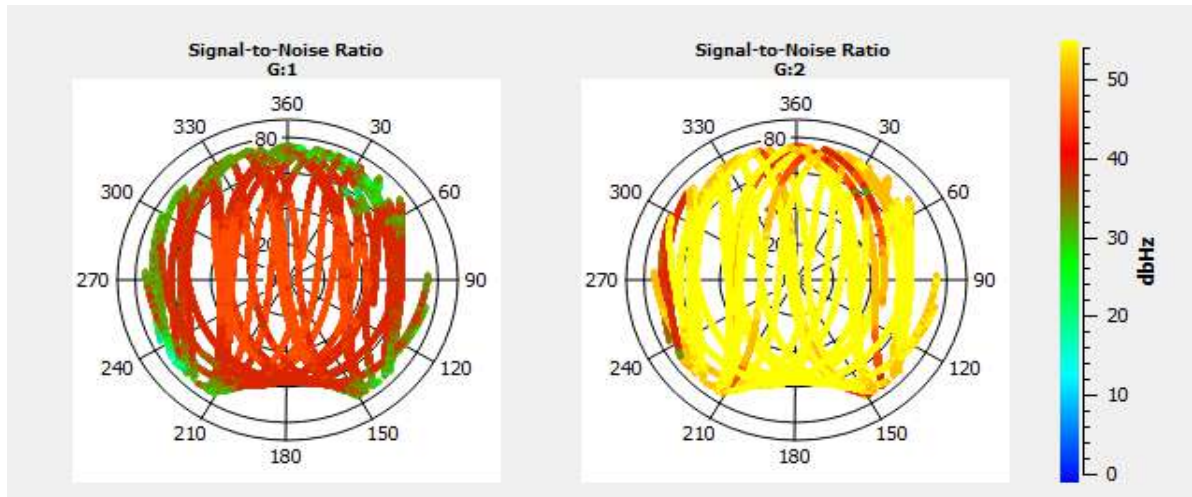


Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Os valores da relação Sinal/Ruído podem ser observados na Figura 5.7 para os dados coletados pela estação Base PVC para a onda portadora L1 (Mapa azimutal à esquerda) e para a onda portadora L2 (Mapa azimutal à direita).

Os receptores e antenas GPS podem gerar, a partir de um campo elétrico existente, um sinal denominado relação sinal-ruído (SNR), a qual é medida a partir do quociente entre a energia do sinal e a energia do ruído. Segundo Ray (2000), o efeito do multicaminho não afeta somente o código e a fase da portadora, mas também a relação sinal ruído. Uma característica importante da SNR, que deve ser levada em consideração, é a sua alta correlação com o ângulo de elevação do satélite (FARRET et al., 2003). Este efeito tem origem em locais próximos a estações de transmissão de micro-ondas, radar, antenas rádio repetidoras e linhas de transmissão de alta tensão, visto que, elas representam fontes de interferência para os sinais e equipamentos GPS.

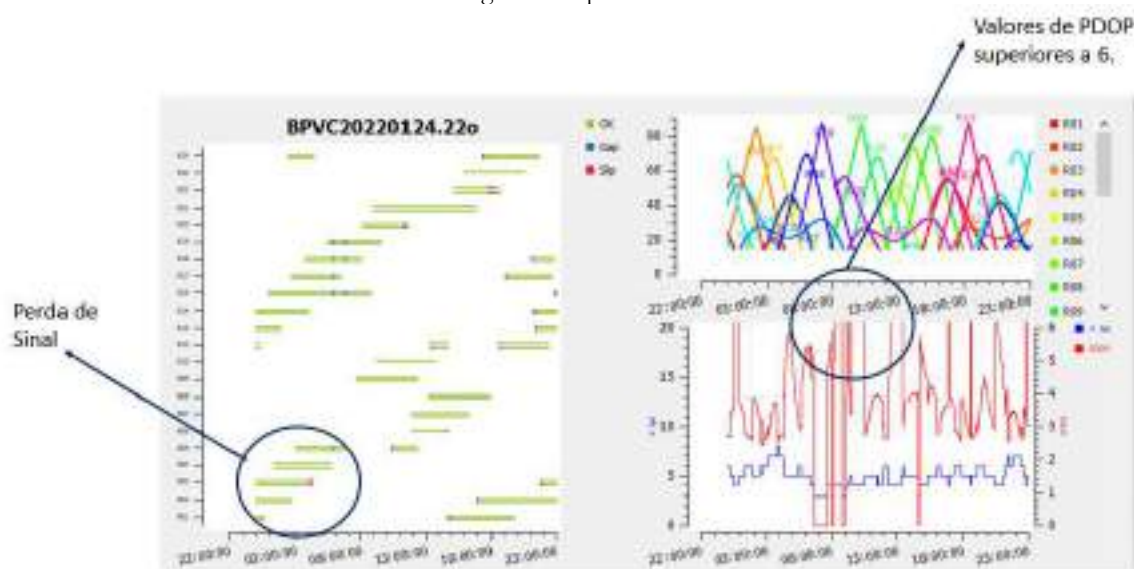
Figura 5. 7 – Valores de Sinal/Ruído para as ondas portadora L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Base PVC



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na sequência apresenta-se para a estação Base PVC os satélites da constelação GLONASS visíveis (Figura 5.8). Inicialmente são visualizados os satélites visíveis ao longo do tempo de observação, sendo destacado neste as perdas de sinais que ocorreram para o satélite R03 próximo às 04 horas. Do lado direito da Figura 5.8 se tem, acima, o gráfico que mostra a elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo. Na parte direita da Figura 5.8, abaixo, o número de satélites em azul e o valor de PDOP em vermelho. Os valores de PDOP (Figura 5.8) em muitos horários são superiores a 6, conforme destacado na figura.

Figura 5. 8 – Os satélites da constelação GLONASS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP.

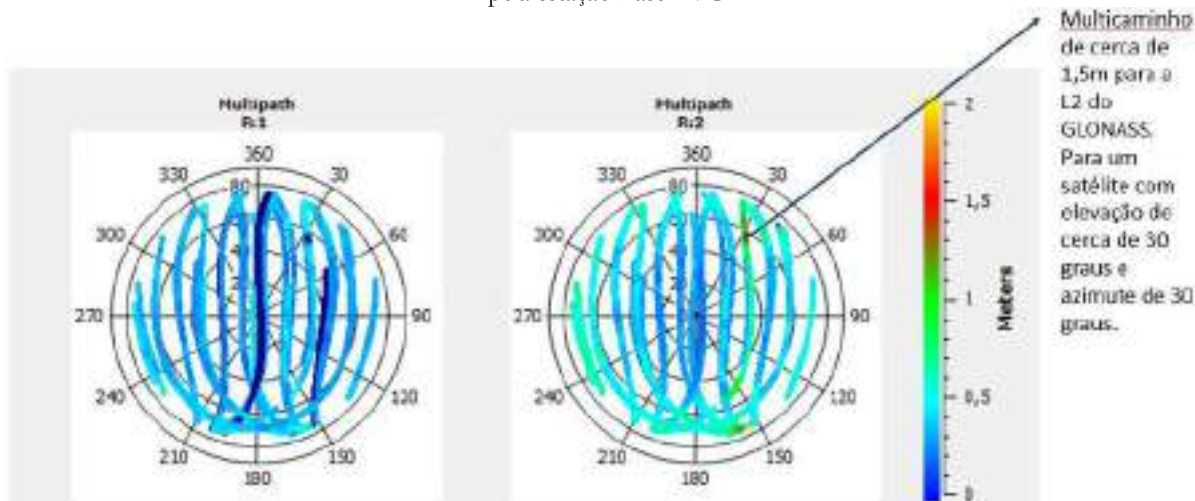


Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 5.9 tem-se os efeitos do multicaminho atuantes para os satélites GLONASS observados pela estação Base PVC para a onda portadora L1 (Figura 5.9 a esquerda) e para a onda portadora

L2 (Figura 5.9 a direita). Destacou-se na figura um multicaminho de cerca de 1,5m para a L2 para um satélite que está com elevação de cerca de 30° e azimuth de 30°.

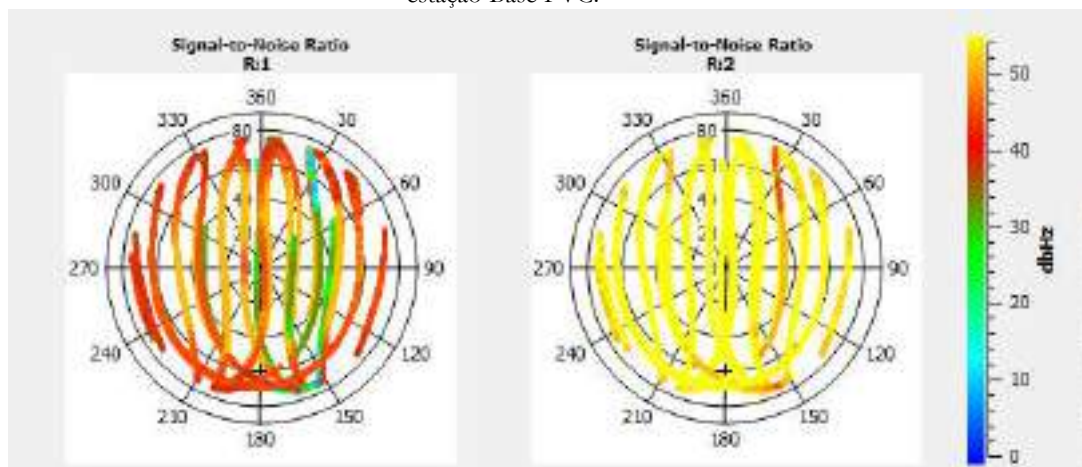
Figura 5. 9 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação Base PVC.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Os valores da relação Sinal/Ruído podem ser observados na Figura 5.10 para os dados coletados pela estação Base PVC, para a onda portadora L1 (Figura 5.10 a esquerda) e para a onda portadora L2 (Figura 5.10 a direita) para os satélites GLONASS.

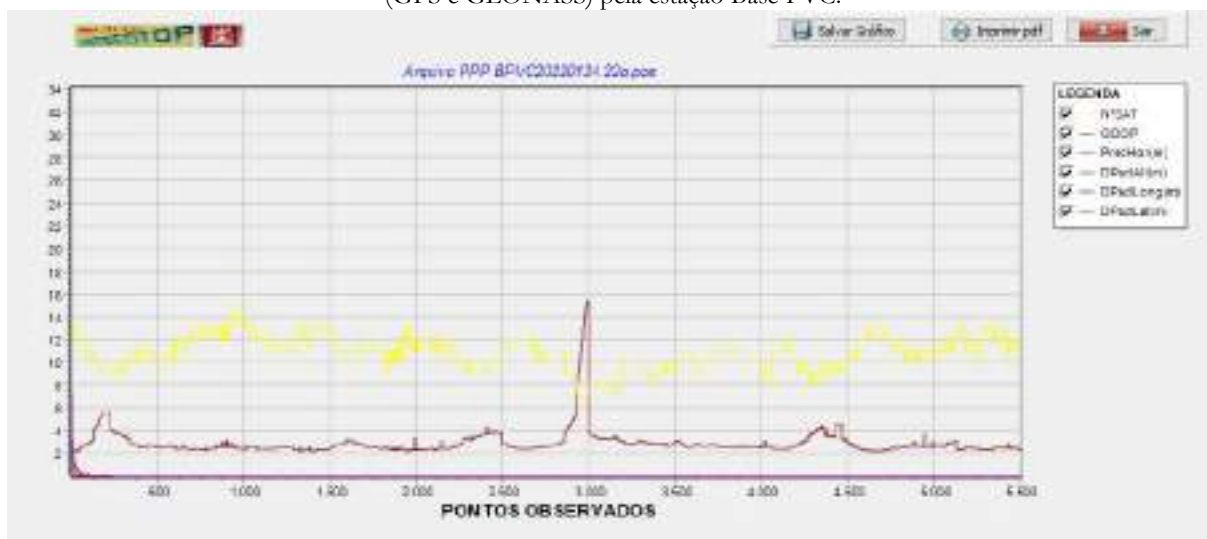
Figura 5. 10 – Valores de Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação Base PVC.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Por meio de um dos módulos do programa Astgeotop pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 5.11, o qual contém o número de satélites e o GDOP apresentados na solução do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) do serviço on-line do IBGE para a estação Base PVC. Verifica-se que quando houve uma redução no número dos satélites ocorreu uma elevação do GDOP (por volta da época 3000), a mudança da geometria não foi satisfatória.

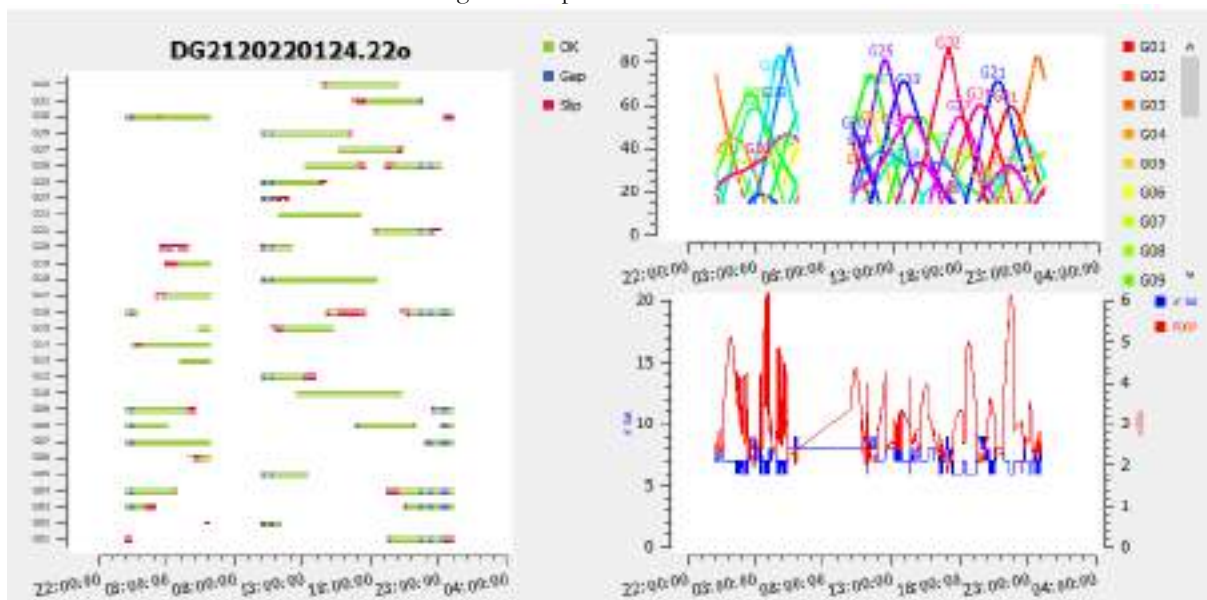
Figura 5. 11 – Número de Satélites (em amarelo) e valores de GDOP (em vermelho) para os satélites observados (GPS e GLONASS) pela estação Base PVC.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

As mesmas análises foram efetuadas com os dados observados pela estação DG21, a qual está sendo classificada tendo um efeito médio de multicaminho. Na Figuras 5.12 são visualizados os satélites GPS visíveis ao longo do tempo de observação, a elevação de cada um dos satélites e os valores de PDOP. Percebe-se algumas perdas de sinal, um intervalo de tempo (das 7h às 10h) onde não houve a gravação dos dados, e alguns picos de PDOP como às 4 h e às 23 h.

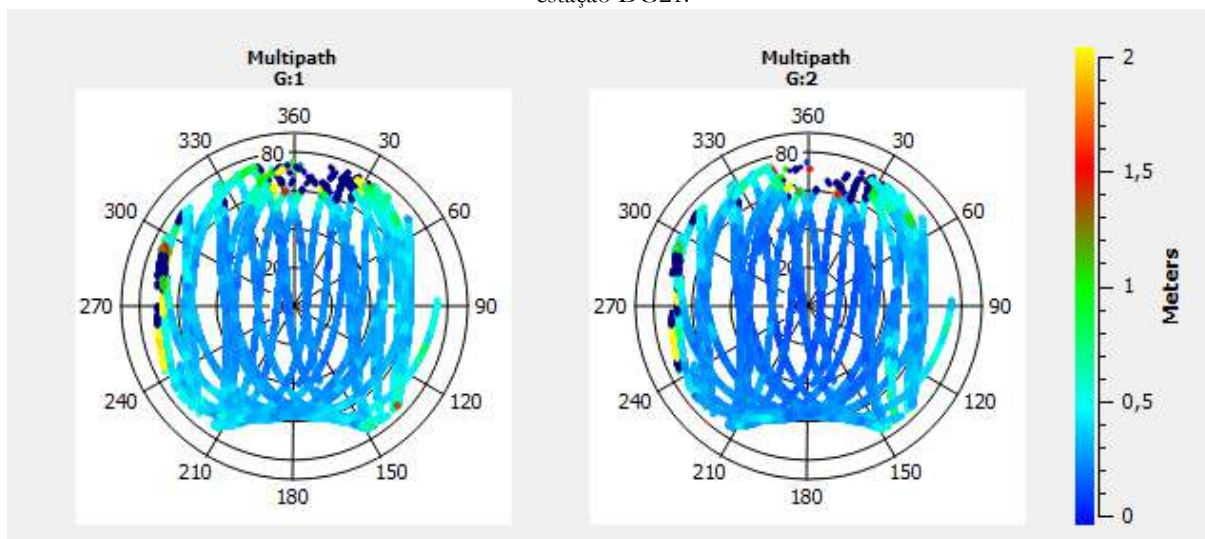
Figura 5. 12 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

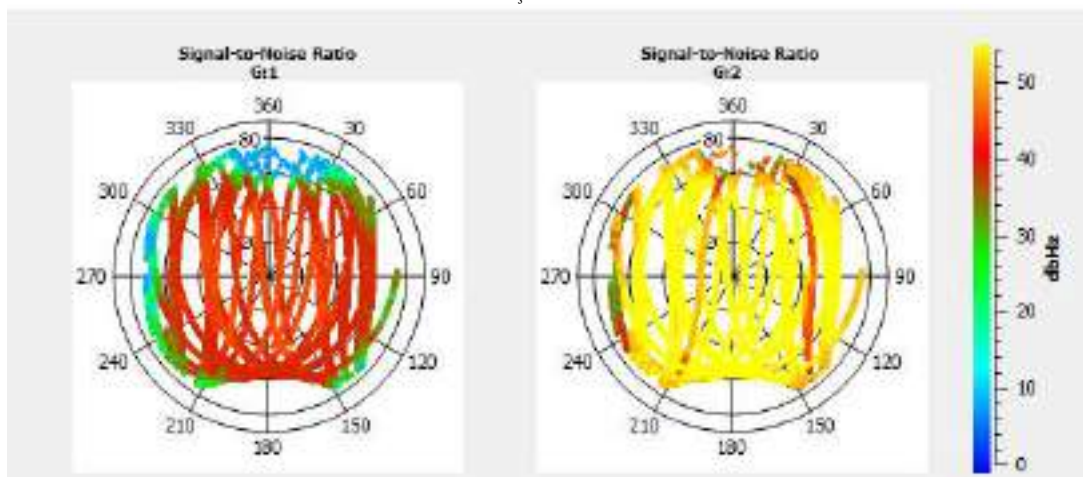
Na Figura 5.13 tem-se os efeitos do multicaminho atuantes para os satélites GPS observados pela estação DG21 para a onda portadora L1 (Figura 5.13 a esquerda) e para a onda portadora L2 (Figura 5.13 a direita). Verifica-se valores mais elevados entre os azimutes 240° a 290° graus e entre 345° e 30° graus para a portadora L1. Acontecendo também para a onda portadora L2. Na Figura 5.14 visualizam-se os valores da relação Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2.

Figura 5. 13 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação DG21.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

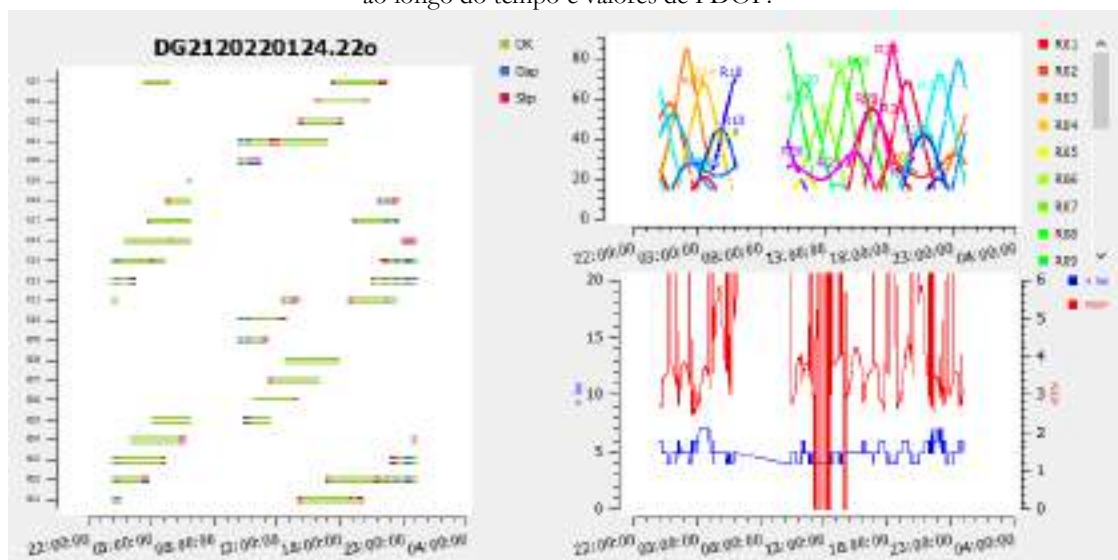
Figura 5. 14 - Valores de Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação DG21.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Para os satélites da constelação GLONASS observados pela estação DG21 apresenta-se na Figura 5.15 os satélites visíveis ao longo do tempo de observação, a elevação de cada um dos satélites e os valores de PDOP. Percebe-se algumas perdas de sinal, um intervalo de tempo (das 7h às 10h) onde não houve a gravação dos dados, e muitos picos de PDOP com valores superiores a 6.

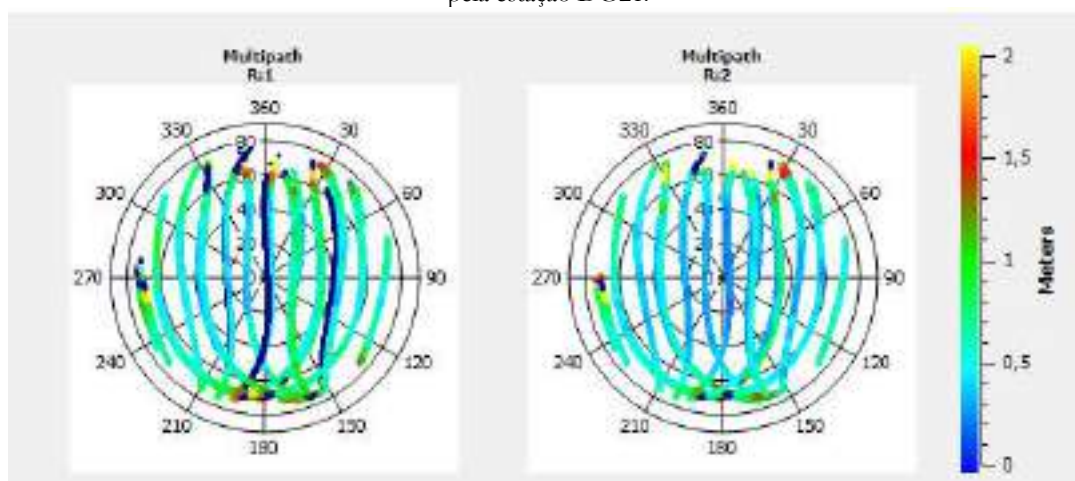
Figura 5. 15 – Os satélites da constelação GLONASS visíveis pela estação DG21, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

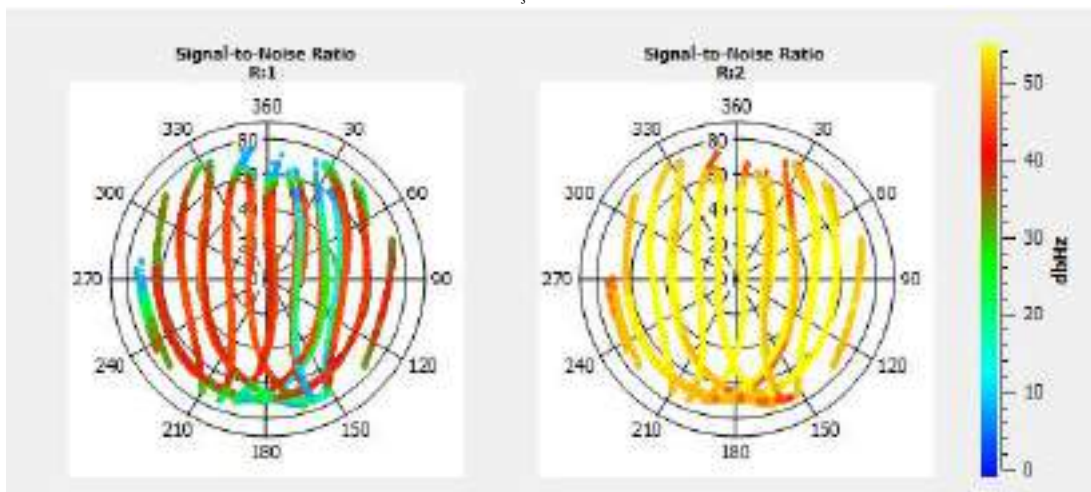
Na Figura 5.16 tem-se os efeitos do multicaminho atuantes para os satélites GLONASS observados pela estação DG21 para a onda portadora L1 (Figura 5.16 a esquerda) e para a onda portadora L2 (Figura 5.16 a direita). Verifica-se valores mais elevados entre os azimutes 330° e 30° graus, entre os azimutes 150° a 195° graus e entre 260° e 280° graus para a portadora L1. Para a onda portadora L2 também se percebe alguns valores superiores a 1,5m. Na Figura 5.17 visualizam-se os valores da relação Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2.

Figura 5. 16 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação DG21.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 5. 17 – Valores de Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação DG21.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Por meio de um dos módulos do programa Astgeotop pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 5.18, a qual contém o número de satélites e o GDOP apresentados na solução do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) do serviço on-line do IBGE para a estação DG21. Por volta da época 2000 ocorreu uma elevação do GDOP com a redução do número de satélites observados.

Figura 5. 18 – Número de Satélites (em amarelo) e valores de GDOP (em vermelho) para os satélites observados (GPS e GLONASS) pela estação DG21.

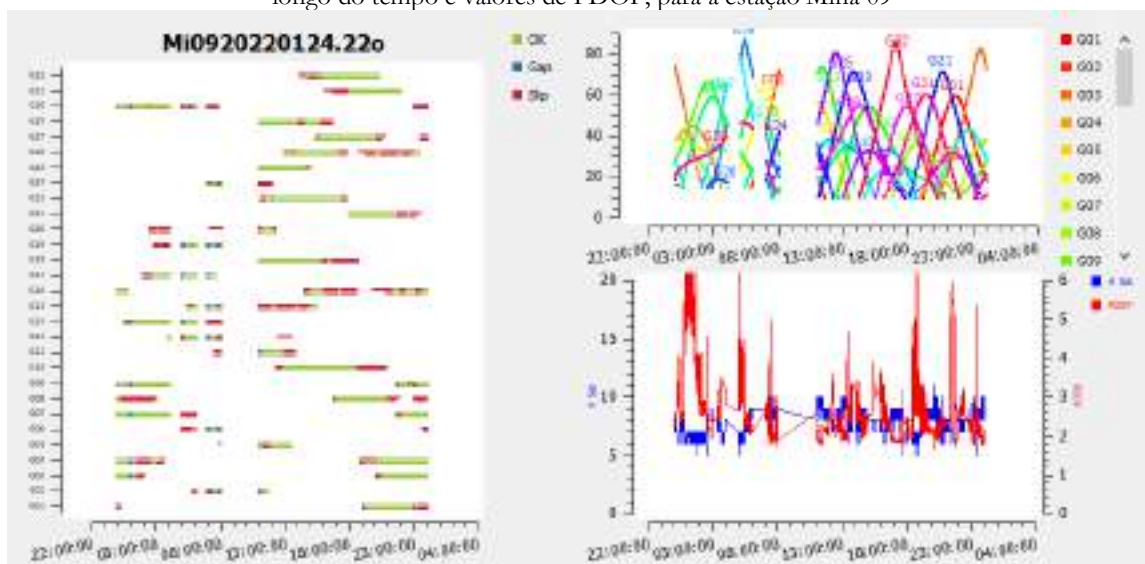


Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Visando exemplificar uma das estações classificada tendo muito efeito de multicaminho apresenta-se os gráficos da estação gerados para a estação Mina 09.

A Figura 5.19 contém os satélites GPS visíveis ao longo do tempo de observação, a elevação de cada um dos satélites e os valores de PDOP.

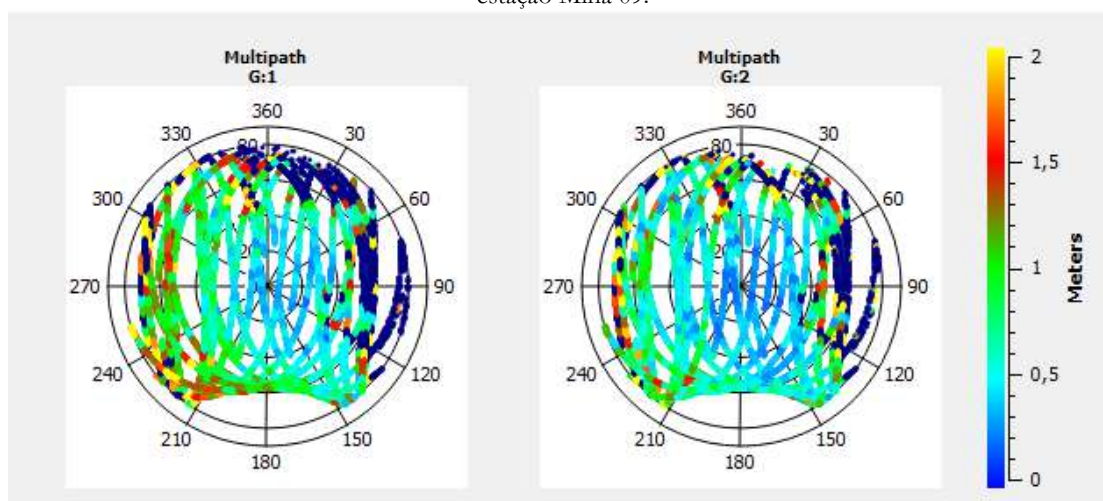
Figura 5. 19 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Mina 09, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP, para a estação Mina 09



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

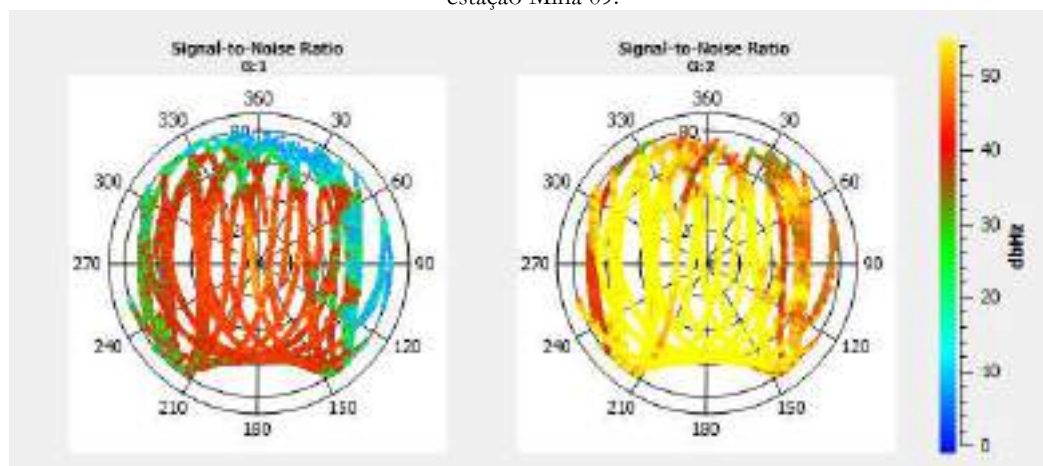
Na Figura 5.20 tem-se os efeitos do multicaminho atuantes para os satélites GPS observados pela estação Mina 09 para a onda portadora L1 (Figura 5.20 a esquerda) e para a onda portadora L2 (Figura 5.20 a direita). Os menores efeitos de multicaminho estão entre os azimutes 150° a 180° graus. Na Figura 5.21 visualizam-se os valores da relação Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2.

Figura 5. 20 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Mina 09.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

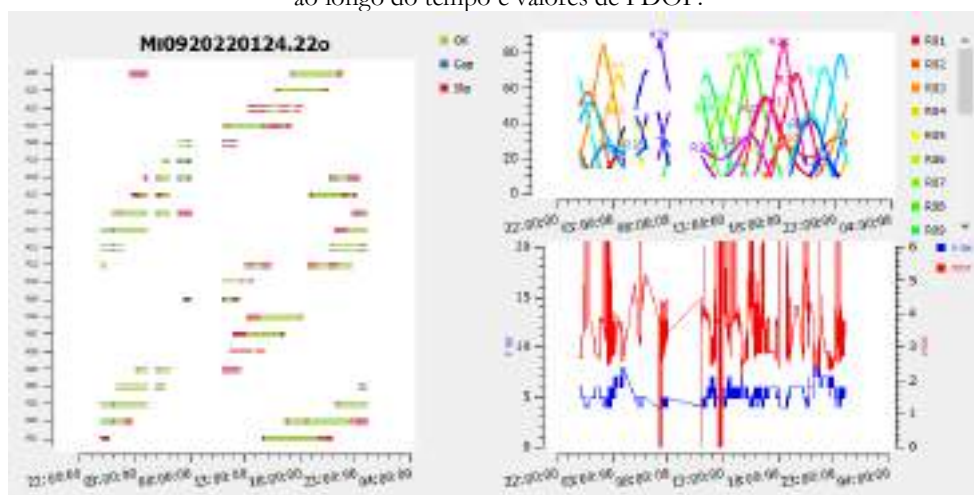
Figura 5. 21 – Valores de Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Mina 09.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Para os satélites da constelação GLONASS observados pela estação Mina 09 apresenta-se na Figura 5.22 os satélites visíveis ao longo do tempo de observação, a elevação de cada um dos satélites e os valores de PDOP. Percebe-se algumas perdas de sinal, um intervalo de tempo (das 7h às 10h) onde não houve a gravação dos dados, e muitos picos de PDOP com valores superiores a 6.

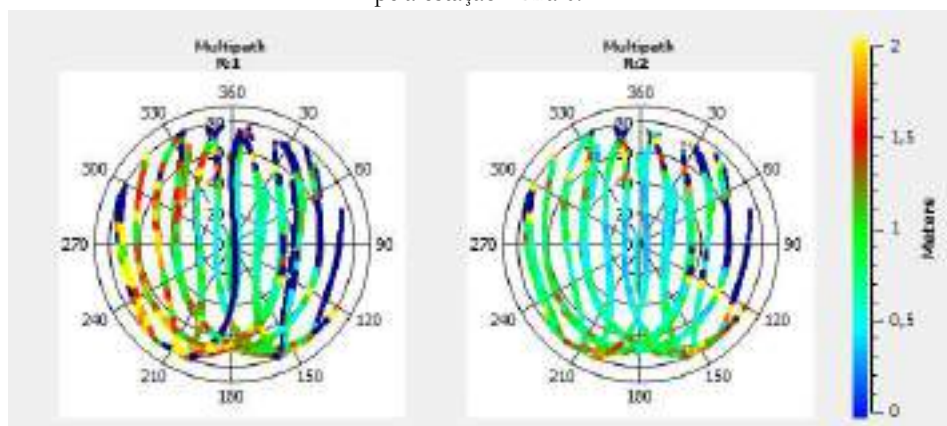
Figura 5. 22 – Os satélites da constelação GLONASS visíveis pela estação Mina 09, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

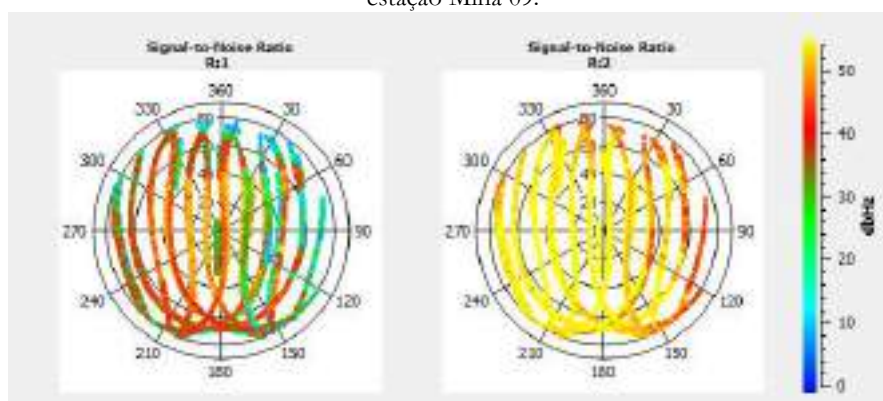
Na Figura 5.23 tem-se os efeitos do multicaminho atuantes para os satélites GLONASS observados pela estação Mina 09 para a onda portadora L1 (Figura 5.23 a esquerda) e para a onda portadora L2 (Figura 5.23 a direita). Na Figura 5.24 visualizam-se os valores da relação Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2.

Figura 5. 23 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação Mina 09.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

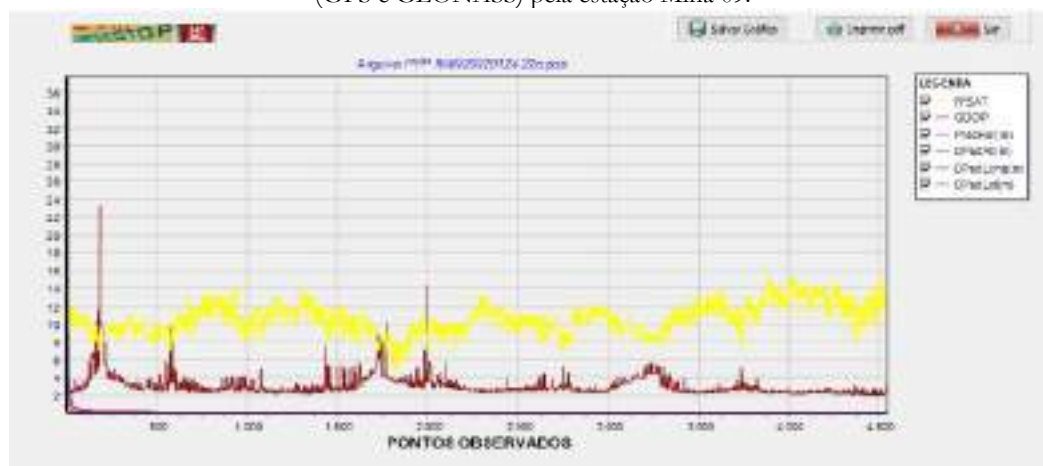
Figura 5. 24 – Valores de Sinal/Ruído para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação Mina 09.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Por meio de um dos módulos do programa Astgeotop pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 5.25, a qual contém o número de satélites e o GDOP apresentados na solução do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) do serviço on-line do IBGE para a estação Mina 09. Verifica-se alguns picos de GDOP correlacionados com a redução no número de satélites observados.

Figura 5. 25 – Número de Satélites (em amarelo) e valores de GDOP (em vermelho) para os satélites observados (GPS e GLONASS) pela estação Mina 09.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 5.26 visualiza-se o entorno da estação Mina 09, verifica-se a presença de diversas obstruções no entorno que devem estar gerando multicaminho e a antena da estação está instalada muito baixa.

Figura 5. 26 – Imagens que mostram a visibilidade no entorno da estação Mina 09.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Tabela 5.1 estão listadas as estações bases (Base UCS, Base Exército e Base PVC) analisadas. Elas apresentaram pouco efeito de multicaminho atuantes, contudo, entre elas pode-se

destacar que a estação que apresentou menor efeito foi a Base PVC e entre as três estações a que tem maior efeito de multicaminho é a estação base é a Base.

Tabela 5. 1 – Análise do efeito de multicaminho atuante nas estações bases e sua classificação quanto a este efeito.

Estação	Análise visual do MP	Comentários
BaseSC	Pouco	
Base	Pouco	Das bases, a que possui maior MP
Exército		
Base PVC	Pouco	Das bases, a que possui menor MP

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Tabela 5.2 estão listadas as demais estações analisadas. Elas foram classificadas por apresentarem pouco, médio ou muito efeito de multicaminho atuantes, com base na análise visual dos gráficos. E na Tabela 5.3 indicam-se estas análises para as estações Mina.

Tabela 5. 2 – Análise do efeito de multicaminho atuante nas demais estações analisadas e sua classificação quanto a este efeito.

Estação	Análise visual do MP	Comentários
DG16	Pouco	
DG17	Médio	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG18	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG19	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG20	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG21	Médio	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG22	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG23	Médio	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG25	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG26	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG27	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG28	Médio	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG29	Médio	Ausência de satélites entre os azimutes 270º a 330º até a elevação de cerca de 30º
DG32	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG34	Pouco	
DG35	Médio	
DG36	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
DG38	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Tabela 5. 3 – Análise do efeito de multicaminho atuante nas estações Mina analisadas e sua classificação quanto a este efeito.

Estação	Análise visual do MP	Comentários
Mina 01	Médio	
Mina 04	Médio	
Mina 06	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais
Mina 07	Médio	
Mina 09	Muito	
Mina11	Muito	
Mina 16	Muito	
Mina 17	Muito	
Mina 32	Muito	
Mina 35	Pouco	Satélite GLONASS tem ainda um pouco mais

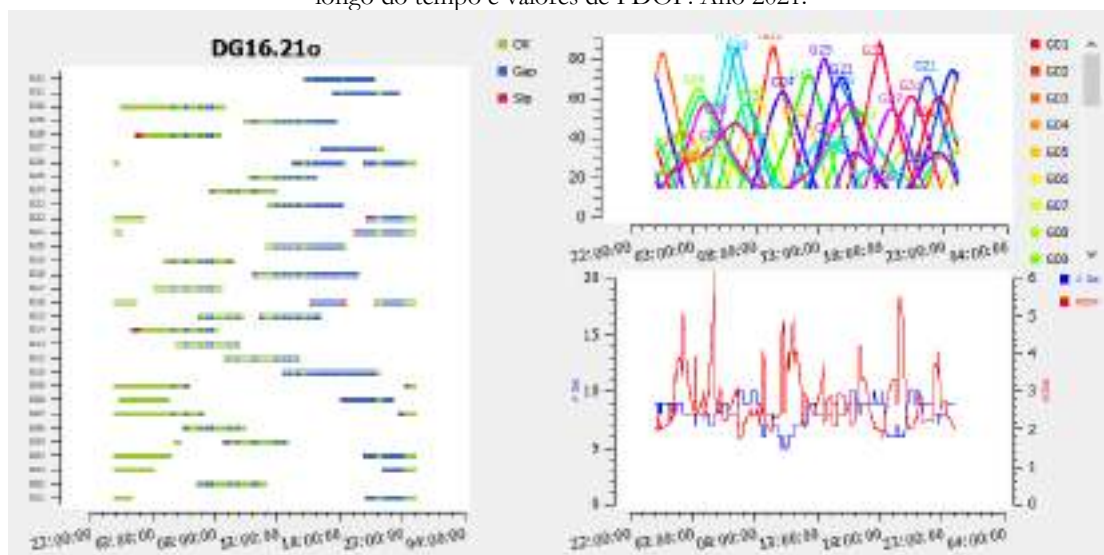
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Os gráficos referentes aos satélites da constelação GPS e GLONASS visíveis para cada estação, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo, valores de PDOP, valores de multicaminho e de Sinal/Ruído para as ondas portadora L1 e L2 se encontram no Apêndice 02.

Foram efetuadas análises quanto a perda de sinais, valores de PDOP e de multicaminho para a estação DG16 quanto a dados coletados no ano de 2022 e no ano de 2021.

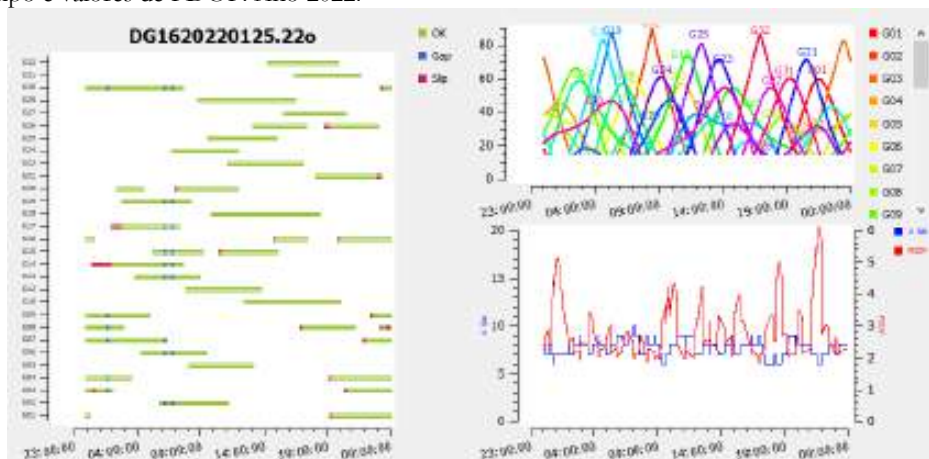
Na Figura 5.27 visualiza-se a constelação GPS visível por esta estação, a elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e os valores de PDOP para o ano 2021 e na Figura 5.28 tem-se as mesmas informações para o ano 2022.

Figura 5. 27 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação DG16, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP. Ano 2021.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023).

Figura 5. 28 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação DG16, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP. Ano 2022.

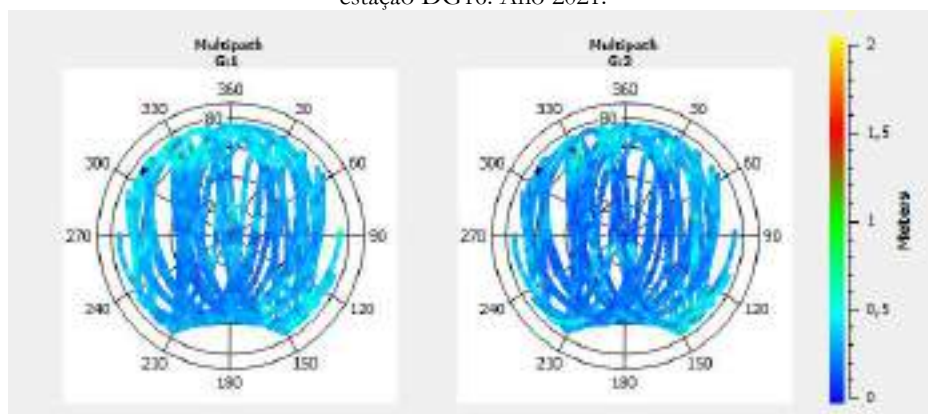


Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Percebe-se que na Figura 5.28 que existe um maior número de perdas de sinal indicadas pelos traços vermelhos. Contudo percebe-se na Figura 5.27 que houve maiores Gaps (interrupções ou lacunas) nos sinais após as 13horas o que pode ter ocorrido pela presença de algum objeto nas imediações da antena que não está presente no ano 2022.

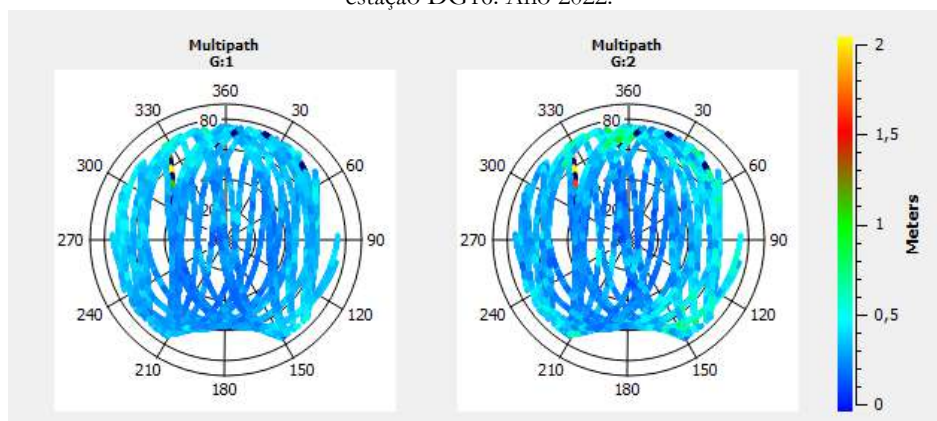
Na Figura 5.29 e na Figura 5.30 visualizam-se os efeitos de multicaminho na onda portadora L1 e L2 para os anos 2021 e 2022, respectivamente. Também se verifica um pouco mais de efeitos de multicaminho para o ano 2022. De qualquer forma esta estação, de acordo com a Tabela 5.1, foi classificada com pouco efeito de multicaminho atuante.

Figura 5. 29 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação DG16. Ano 2021.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 5. 30 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação DG16. Ano 2022.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Da mesma forma foram efetuadas análises quanto a perda de sinais, valores de PDOP e de multicaminho para a estação Mina 17 (Figura 5.31) quanto a dados coletados no ano de 2022 e no ano de 2021.

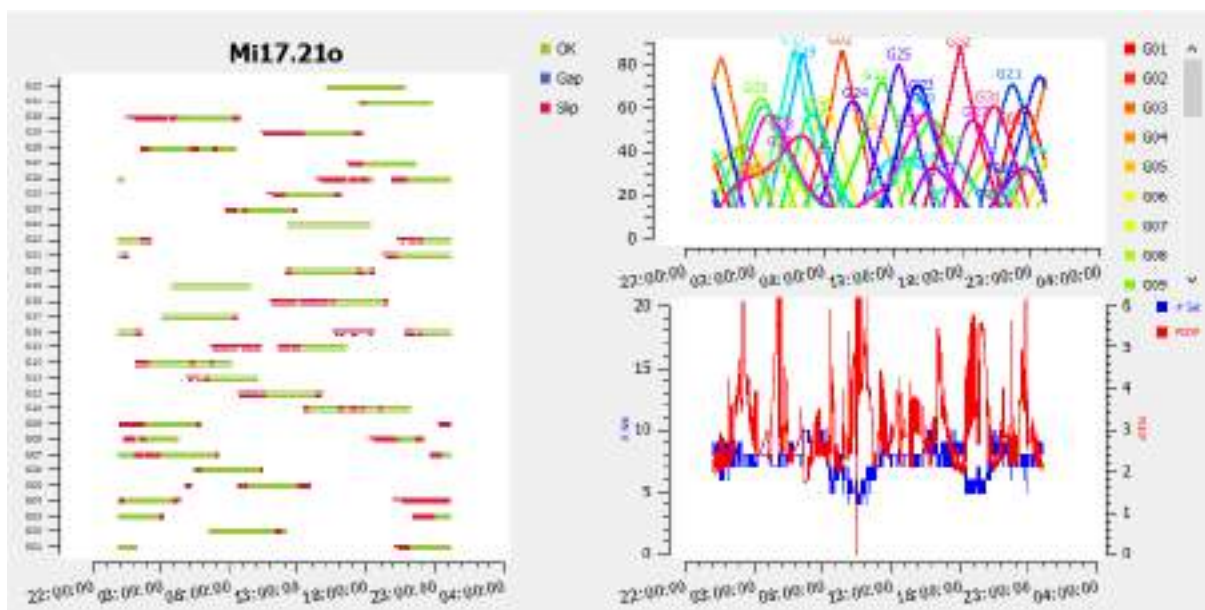
Figura 5. 31– Estação Mina 17



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

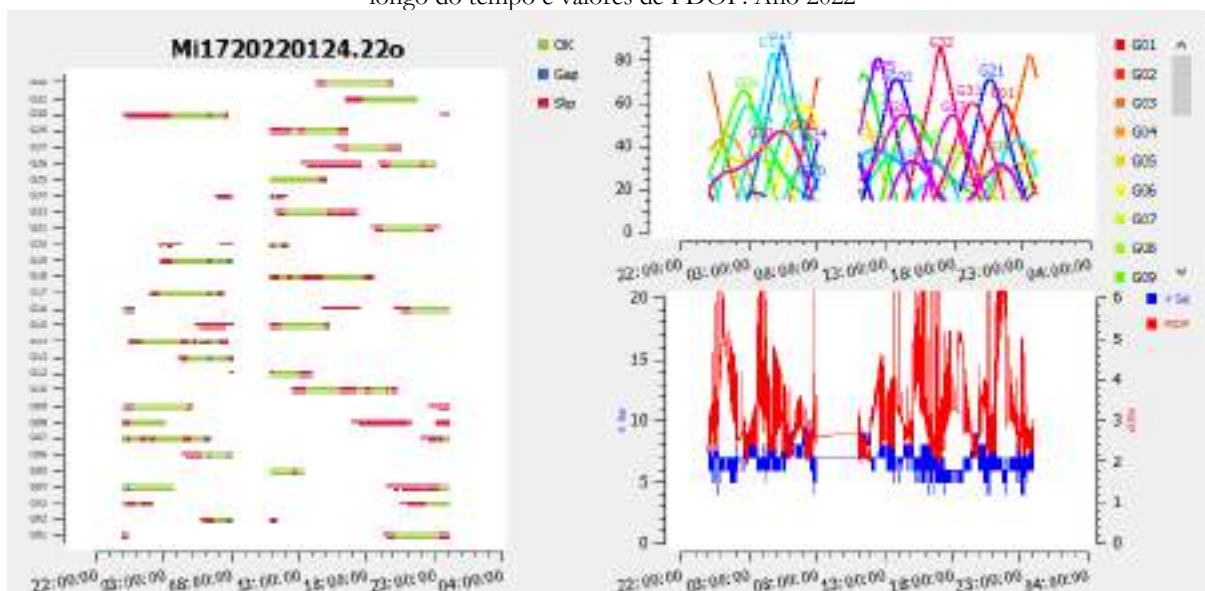
Na Tabela 5.2 esta estação foi classificada como tendo muito efeito de multicaminho. Figura 5.32 visualiza-se a constelação GPS visível para a estação Mina 17, a elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e os valores de PDOP para o ano 2021 e na Figura 5.33 tem-se as mesmas informações para o ano 2022.

Figura 5. 32 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Mina 17, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP. Ano 2021.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

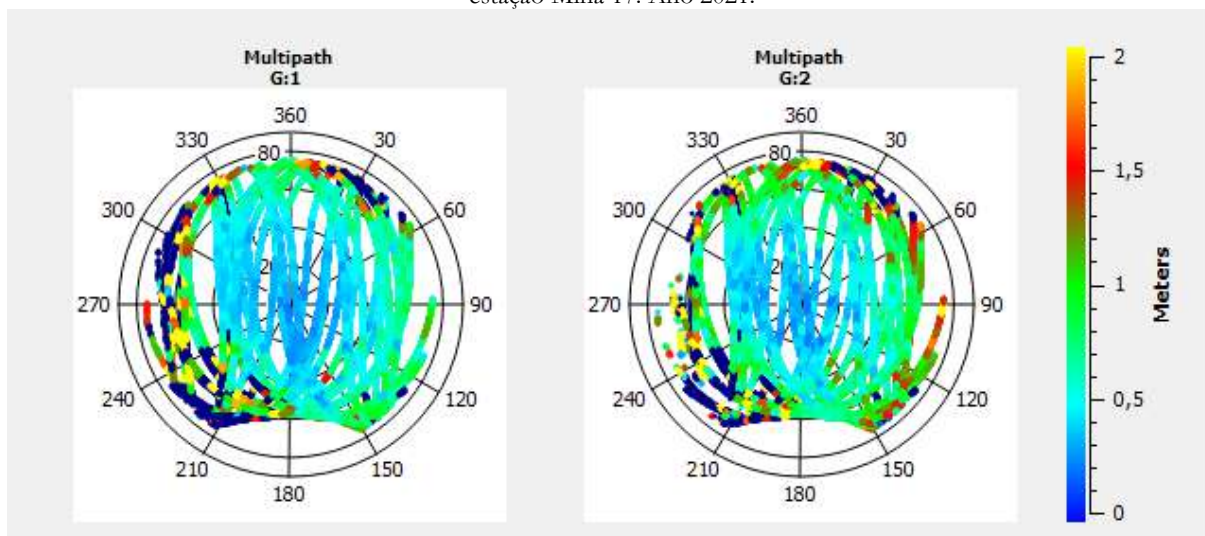
Figura 5.33 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Mina 17, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP. Ano 2022



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

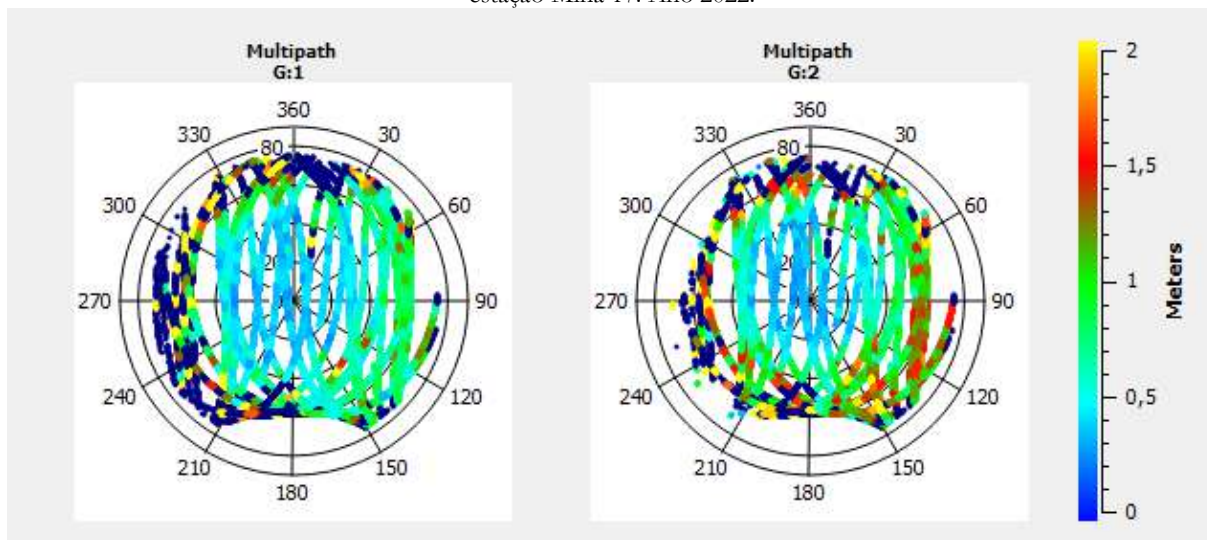
Percebe-se que na Figura 5.33 que existe um maior número de perdas de sinal indicadas pelos traços vermelhos no ano 2022 do que ocorreu no ano de 2021. Contudo, em ambos os anos se tem muitas perdas de sinal (slips). Na Figura 5.34 e na Figura 5.35 visualizam-se os efeitos de multicaminho na onda portadora L1 e L2 para os anos 2021 e 2022, respectivamente. Também se verifica maiores efeitos de multicaminho para o ano 2022 em ambos os anos ocorrem mais para a portadora L2 do que para a portadora L1.

Figura 5.34 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Mina 17. Ano 2021.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 5. 35 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Mina 17. Ano 2022.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Para analisar o efeito de multicaminho nas coordenadas geodésicas foram escolhidos uma base e algumas estações, na área de estudo. A base escolhida é a Base PVC que apresentou o menor multicaminho entre as três bases. As estações avaliadas são DG17, DG18, DG21, Mina 07, Mina 09 e Mina 16.

O processamento relativo estático, gerando uma linha de base curta, foi efetuado pelo programa RTKlib, um programa científico disponível para a comunidade.

5.1 Processamento relativo estático da Base PVC com a estação DG17.

Na Figura 5.36 visualiza-se uma foto da estação DG17 à esquerda, e à direita, desta figura, tem-se uma imagem superior da estação, a vista panorâmica desta estação pode ser visualizada na Figura 5.36c.

Figura 5. 36 – Estação DG17 (a) e imagem superior do seu entorno (b) e panorâmica (c).



(a)



(b)



(c)

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Diversos processamentos foram efetuados com o programa RTKlib modificando-se apenas a máscara de elevação. Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados para o processamento usando as duas frequências ($L1 + L2$), as constelações empregadas, o filtro fwd (forward), a máscara de elevação empregada, o número de satélites utilizados no processamento, o valor do Ratio e a precisão interna obtida para as três coordenadas geodésicas calculadas. Nestas análises leva-se em conta o Ratio obtido e a precisão interna. O valor mais alto de Ratio ocorreu para o processamento com apenas os dados GPS e máscara de 25 graus, contudo contou-se apenas com 5 satélites. A precisão interna foi a mesma quando se empregou as constelações GPS e GLONASS ou só GPS, ambos com máscara de 25 graus. Neste caso a máscara de 25 graus se mostrou eficaz.

Linhas de Base: Base PVC x DG17 – Frequências L1+L2

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 5.38 apresenta-se um extrato do resultado do processamento relativo estático utilizando-se as constelações GPS e GLONASS, máscara de elevação de 15 graus e filtro fwd entre as estações Base PVC e DG18. Destacado em vermelho têm-se o número de satélites, precisões internas e o Ratio.

```

# program : HMMPOST ver.2.5.3
# inp file : C:\HMMPOST\HMMPOST\0018_0021\0018.220
# inp file : C:\HMMPOST\HMMPOST\0018_0021\0021\0018.220
# inp file : C:\HMMPOST\HMMPOST\0018_0021\0018.220
# inp file : C:\HMMPOST\HMMPOST\0018_0021\0021.220
# chr start : 1002511728 99350000.0 9937 00001194 99350.00
# chr end : 1002511728 213940.0 9937 00001194 172105.00
# post mode : 000000
# frags : 31412
# acquisition : 1000000
# filter mask : 12.0 deg
# dynamics : off
# filterout : off
# lower opt : off
# lower opt : off
# alphabet : broadmatch
# eval opt : gpa glomax
# end chr : 1 chr and build
# end chr : 1 chr
# eval mode : 1.0
# HMMPOST : 170011000.00 HMM : 1.0000 1.0000 1.14001
# HMMPOST : 170011000.00 HMM : 1.0000 1.0000 1.00001
# end chr : 1 - 0 to 95.10483 -32 95 18.92074 79.0365
#
# State/Log/length/HMM/align/width/LCP/lim.2/lim.3/lim.4/lim.5/lim.6/lim.7/lim.8/lim.9/lim.10/lim.11/lim.12/lim.13/lim.14/lim.15/lim.16/lim.17/lim.18/lim.19/lim.20/lim.21/lim.22/lim.23/lim.24/lim.25/lim.26/lim.27/lim.28/lim.29/lim.30/lim.31/lim.32/lim.33/lim.34/lim.35/lim.36/lim.37/lim.38/lim.39/lim.40/lim.41/lim.42/lim.43/lim.44/lim.45/lim.46/lim.47/lim.48/lim.49/lim.50/lim.51/lim.52/lim.53/lim.54/lim.55/lim.56/lim.57/lim.58/lim.59/lim.60/lim.61/lim.62/lim.63/lim.64/lim.65/lim.66/lim.67/lim.68/lim.69/lim.70/lim.71/lim.72/lim.73/lim.74/lim.75/lim.76/lim.77/lim.78/lim.79/lim.80/lim.81/lim.82/lim.83/lim.84/lim.85/lim.86/lim.87/lim.88/lim.89/lim.90/lim.91/lim.92/lim.93/lim.94/lim.95/lim.96/lim.97/lim.98/lim.99/lim.100/lim.101/lim.102/lim.103/lim.104/lim.105/lim.106/lim.107/lim.108/lim.109/lim.110/lim.111/lim.112/lim.113/lim.114/lim.115/lim.116/lim.117/lim.118/lim.119/lim.120/lim.121/lim.122/lim.123/lim.124/lim.125/lim.126/lim.127/lim.128/lim.129/lim.130/lim.131/lim.132/lim.133/lim.134/lim.135/lim.136/lim.137/lim.138/lim.139/lim.140/lim.141/lim.142/lim.143/lim.144/lim.145/lim.146/lim.147/lim.148/lim.149/lim.150/lim.151/lim.152/lim.153/lim.154/lim.155/lim.156/lim.157/lim.158/lim.159/lim.160/lim.161/lim.162/lim.163/lim.164/lim.165/lim.166/lim.167/lim.168/lim.169/lim.170/lim.171/lim.172/lim.173/lim.174/lim.175/lim.176/lim.177/lim.178/lim.179/lim.180/lim.181/lim.182/lim.183/lim.184/lim.185/lim.186/lim.187/lim.188/lim.189/lim.190/lim.191/lim.192/lim.193/lim.194/lim.195/lim.196/lim.197/lim.198/lim.199/lim.200/lim.201/lim.202/lim.203/lim.204/lim.205/lim.206/lim.207/lim.208/lim.209/lim.210/lim.211/lim.212/lim.213/lim.214/lim.215/lim.216/lim.217/lim.218/lim.219/lim.220/lim.221/lim.222/lim.223/lim.224/lim.225/lim.226/lim.227/lim.228/lim.229/lim.230/lim.231/lim.232/lim.233/lim.234/lim.235/lim.236/lim.237/lim.238/lim.239/lim.240/lim.241/lim.242/lim.243/lim.244/lim.245/lim.246/lim.247/lim.248/lim.249/lim.250/lim.251/lim.252/lim.253/lim.254/lim.255/lim.256/lim.257/lim.258/lim.259/lim.260/lim.261/lim.262/lim.263/lim.264/lim.265/lim.266/lim.267/lim.268/lim.269/lim.270/lim.271/lim.272/lim.273/lim.274/lim.275/lim.276/lim.277/lim.278/lim.279/lim.280/lim.281/lim.282/lim.283/lim.284/lim.285/lim.286/lim.287/lim.288/lim.289/lim.290/lim.291/lim.292/lim.293/lim.294/lim.295/lim.296/lim.297/lim.298/lim.299/lim.300/lim.301/lim.302/lim.303/lim.304/lim.305/lim.306/lim.307/lim.308/lim.309/lim.310/lim.311/lim.312/lim.313/lim.314/lim.315/lim.316/lim.317/lim.318/lim.319/lim.320/lim.321/lim.322/lim.323/lim.324/lim.325/lim.326/lim.327/lim.328/lim.329/lim.330/lim.331/lim.332/lim.333/lim.334/lim.335/lim.336/lim.337/lim.338/lim.339/lim.340/lim.341/lim.342/lim.343/lim.344/lim.345/lim.346/lim.347/lim.348/lim.349/lim.350/lim.351/lim.352/lim.353/lim.354/lim.355/lim.356/lim.357/lim.358/lim.359/lim.360/lim.361/lim.362/lim.363/lim.364/lim.365/lim.366/lim.367/lim.368/lim.369/lim.370/lim.371/lim.372/lim.373/lim.374/lim.375/lim.376/lim.377/lim.378/lim.379/lim.380/lim.381/lim.382/lim.383/lim.384/lim.385/lim.386/lim.387/lim.388/lim.389/lim.390/lim.391/lim.392/lim.393/lim.394/lim.395/lim.396/lim.397/lim.398/lim.399/lim.400/lim.401/lim.402/lim.403/lim.404/lim.405/lim.406/lim.407/lim.408/lim.409/lim.410/lim.411/lim.412/lim.413/lim.414/lim.415/lim.416/lim.417/lim.418/lim.419/lim.420/lim.421/lim.422/lim.423/lim.424/lim.425/lim.426/lim.427/lim.428/lim.429/lim.430/lim.431/lim.432/lim.433/lim.434/lim.435/lim.436/lim.437/lim.438/lim.439/lim.440/lim.441/lim.442/lim.443/lim.444/lim.445/lim.446/lim.447/lim.448/lim.449/lim.450/lim.451/lim.452/lim.453/lim.454/lim.455/lim.456/lim.457/lim.458/lim.459/lim.460/lim.461/lim.462/lim.463/lim.464/lim.465/lim.466/lim.467/lim.468/lim.469/lim.470/lim.471/lim.472/lim.473/lim.474/lim.475/lim.476/lim.477/lim.478/lim.479/lim.480/lim.481/lim.482/lim.483/lim.484/lim.485/lim.486/lim.487/lim.488/lim.489/lim.490/lim.491/lim.492/lim.493/lim.494/lim.495/lim.496/lim.497/lim.498/lim.499/lim.500/lim.501/lim.502/lim.503/lim.504/lim.505/lim.506/lim.507/lim.508/lim.509/lim.510/lim.511/lim.512/lim.513/lim.514/lim.515/lim.516/lim.517/lim.518/lim.519/lim.520/lim.521/lim.522/lim.523/lim.524/lim.525/lim.526/lim.527/lim.528/lim.529/lim.530/lim.531/lim.532/lim.533/lim.534/lim.535/lim.536/lim.537/lim.538/lim.539/lim.540/lim.541/lim.542/lim.543/lim.544/lim.545/lim.546/lim.547/lim.548/lim.549/lim.550/lim.551/lim.552/lim.553/lim.554/lim.555/lim.556/lim.557/lim.558/lim.559/lim.560/lim.561/lim.562/lim.563/lim.564/lim.565/lim.566/lim.567/lim.568/lim.569/lim.570/lim.571/lim.572/lim.573/lim.574/lim.575/lim.576/lim.577/lim.578/lim.579/lim.580/lim.581/lim.582/lim.583/lim.584/lim.585/lim.586/lim.587/lim.588/lim.589/lim.590/lim.591/lim.592/lim.593/lim.594/lim.595/lim.596/lim.597/lim.598/lim.599/lim.600/lim.601/lim.602/lim.603/lim.604/lim.605/lim.606/lim.607/lim.608/lim.609/lim.610/lim.611/lim.612/lim.613/lim.614/lim.615/lim.616
```

Mediante o valor do Ratio alcançado buscou-se efetuar outros processamentos modificando a máscara de elevação. Os resultados alcançados em função da constelação empregada (GPS e GLONASS ou só GPS), dos valores de Ratio e da precisão interna para as coordenadas estão indicadas na Tabela 5.5. Com base nestes parâmetros pode-se dizer que a melhor solução foi obtida

com a constelação GPS, máscara de 20 graus, Ratio igual a 101,7 e a precisão interna não sofreu alteração.

Tabela 5. 5 – Soluções do processamento entre a Base PVC e o DG18

Linhas de Base: Base PVC x DG18 – Frequências L1+L2					
Constelações	Filtro Sol.	Máscara de Elev.	Nº de Satélites	Rácio	Precisão Interna (m)
GPS + GLONASS	fwd	15º	13	45,1	0,0001
					0,0001
					0,0002
GPS + GLONASS	fwd	20º	10	78,7	0,0001
					0,0001
					0,0002
GPS	fwd	20º	6	101,7	0,0001
					0,0001
					0,0002

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

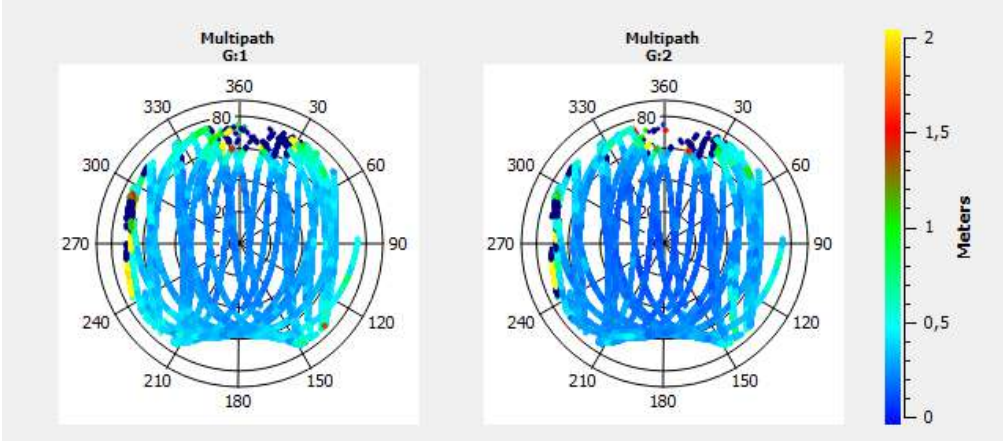
5.3 Processamento relativo estático da Base PVC com a estação DG21.

Na Figura 5.40 visualiza-se uma foto da estação DG21 a esquerda, e à direita, desta figura tem-se uma foto panorâmica desta. Percebe-se a presença de diversas placas solares nas imediações que podem estar contribuindo na geração de multicaminho (Figura 4.41).



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 5. 41 – Efeito de Multicaminho na estação DG21 para as ondas portadoras L1 e L2 e a constelação GPS.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Diversos processamentos foram efetuados com o programa RTKlib modificando-se apenas a máscara de elevação. Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados para o processamento usando as duas frequências (L1 + L2), as constelações empregadas, o filtro fwd (forward), a máscara de elevação empregada, o número de satélites utilizados no processamento, o valor do Ratio e a precisão interna obtida para as três coordenadas geodésicas calculadas.

Verifica-se que o valor mais alto de Ratio ocorreu para o processamento com apenas os dados GPS e máscara de 20 graus, contudo contou-se apenas com 5 satélites. Neste caso a precisão interna foi menor que a obtida para os demais processamentos. Contudo, seria interessante uma avaliação da localização dos painéis solares em relação a estação DG21 pois percebe-se que há uma concentração de multicaminho entre os azimutes 345 graus a 30 graus e entre 240 graus a 300 graus.

Tabela 5. 6 – Soluções do processamento entre a Base PVC e o DG21

Linhas de Base: Base PVC x DG21– Frequências L1+L2					
Constelações	Filtro Sol.	Máscara de Elev.	Nº de Satélites	Ratio	Precisão Interna (m)
GPS + GLONASS	fwd	15º	12	4,5	0,0002
					0,0002
					0,0004
GPS + GLONASS	fwd	18º	9	12,9	0,0002
					0,0002
					0,0004
GPS + GLONASS	fwd	20º	9	35,5	0,0001
					0,0002
					0,0004
GPS + GLONASS	fwd	22º	9	6,6	0,0003
					0,0004
					0,0001
GPS + GLONASS	fwd	25º	8	36,7	0,0002
					0,0002
					0,0005
GPS	fwd	20º	5	128,1	0,0001
					0,0001
					0,0003

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)



5.4 Processamento relativo estático da Base PVC com a estação Mina 07.

Na Tabela 5.7 tem-se as soluções obtidas com o processamento relativo estático entre as estações Base PVC e Mina 07. Vale lembrar que a estação Mina 07 está classificada como uma estação com muito multicaminho (Tabela 5.3). Mediante o exposto na Tabela 5.7 pode-se dizer que as melhores soluções seriam aquelas em que a máscara fosse de pelo menos 20 graus empregando a constelação GPS. Se levarmos em conta apenas o valor do Ratio, poderíamos adotar a constelação GPS e máscara de 25 graus.

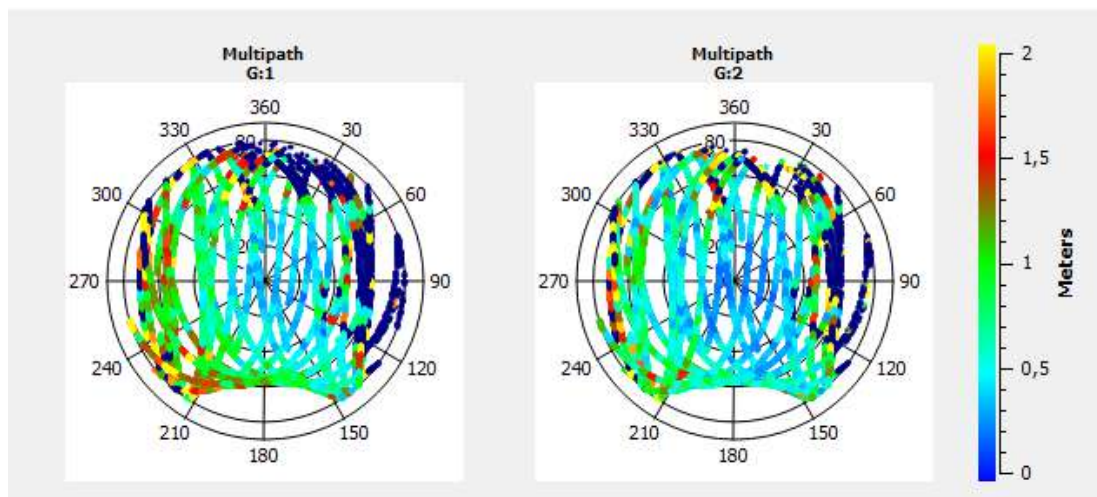
Tabela 5.7 – Soluções do processamento entre a Base PVC e o Mina 07					
Linhas de Base: Base PVC x Mina 07– Frequências L1+L2					
Constelações	Filtro Sol.	Máscara de Elev.	Nº de Satélites	Ratio	Precisão Interna (m)
GPS + GLONASS	fwd	15º	13	60,1	0,0001
					0,0001
					0,0002
GPS + GLONASS	fwd	20º	10	67,0	0,0001
					0,0001
					0,0002
GPS + GLONASS	fwd	25º	9	39,1	0,0001
					0,0001
					0,0003
GPS	fwd	20º	6	79,7	0,0001
					0,0001
					0,0002
GPS	fwd	25º	5	105,3	0,0001
					0,0001
					0,0003

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

5.5 Processamento relativo estático da Base PVC com a estação Mina 09.

De acordo com a Tabela 5.8 a estação Mina 09 está classificada como uma estação com muito multicaminho. Na Figura 5.42 visualiza-se o efeito de multicaminho atuante neste dia para as ondas portadoras L1 e L2 e a constelação GPS. Verifica-se que a menor incidência deste efeito se encontra entre os azimutes 135 graus e 180 graus para a L1 e entre os azimutes 135 graus e 210 graus para a portadora L2.

Figura 5. 42 – Efeito de Multicaminho na estação Mina 09 para as ondas portadoras L1 e L2 e a constelação GPS.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Tabela 5.8 tem-se as soluções obtidas com o processamento relativo estático entre as estações Base PVC e Mina 09. Mediante o exposto na Tabela 5.8 é difícil indicar qual a melhor solução visto que todas apresentam um Ratio muito baixo e a solução que tem o Ratio mais elevado (GPS + GLONASS com 25 graus) apresenta valores para a precisão mais elevados do que aqueles obtidos com a solução GPS e máscara de elevação igual a 20 graus. O ideal é tentar verificar os maiores problemas no entorno desta estação que podem estar ocasionando o efeito de multicaminho e tentar minimizar os problemas.

Tabela 5. 8– Soluções do processamento entre a Base PVC e o Mina 09

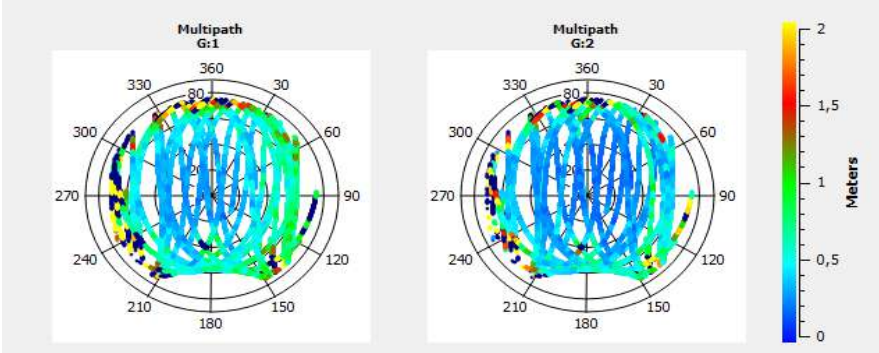
Linhas de Base: Base PVC x Mina 09– Frequências L1+L2					
Constelações	Filtro Sol.	Máscara de Elev.	Nº de Satélites	Ratio	Precisão Interna (m)
GPS + GLONASS	fwd	15º	11	4,3	0,0002
					0,0003
					0,0005
GPS + GLONASS	fwd	20º	10	3,6	0,0002
					0,0002
					0,0005
GPS + GLONASS	fwd	22º	9	5,2	0,0052
					0,0054
					0,0035
GPS + GLONASS	fwd	25º	8	8,7	0,0002
					0,0002
					0,0005
GPS + GLONASS	fwd	30º	7	3,3	0,0002
					0,0002
					0,0005
GPS	fwd	20º	6	6,4	0,0001
					0,0001
					0,0004
GPS	fwd	22º	6	3,0	0,0001
					0,0001
					0,0004
GPS	fwd	25º	5	3,0	0,0001
					0,0001
					0,0004

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023).

5.6 Processamento relativo estático da Base PVC com a estação Mina 16.

A estação Mina 16 (Tabela 5.9) está classificada como uma estação com muito multicaminho. Na Figura 5.44 visualiza-se o efeito de multicaminho atuante neste dia para as ondas portadoras L1 e L2 e a constelação GPS. Verifica-se que nas direções NW e SW existe grande presença de multicaminho para as portadoras L1 e L2.

Figura 5. 44 – Efeito de Multicaminho na estação Mina 16 para as ondas portadoras L1 e L2 e a constelação GPS.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Tabela 5.9 tem-se as soluções obtidas com o processamento relativo estático entre as estações Base PVC e Mina 16. Analisando os resultados de Ratio e precisão interna as melhores soluções são com constelação GPS e máscara de 19 ou 20 graus.

Tabela 5. 9 – Soluções do processamento entre a Base PVC e o Mina 16

Linhas de Base: Base PVC x Mina 16– Frequências L1+L2					
Constelações	Filtro Sol.	Máscara de Elev.	Nº de Satélites	Ratio	Precisão Interna (m)
GPS + GLONASS	fwd	15º	11	12,0	0,0002
					0,0003
					0,0004
					0,0002
GPS + GLONASS	fwd	17º	11	12,4	0,0003
					0,0004
					0,0002
					0,0003
GPS + GLONASS	fwd	18º	11	13,3	0,0004
					0,0002
					0,0003
					0,0004
GPS + GLONASS	fwd	19º	11	13,9	0,0002
					0,0002
					0,0004
					0,0002
GPS + GLONASS	fwd	20º	10	3,0	0,0002
					0,0002
					0,0004
					0,0001
GPS	fwd	19º	6	72,1	0,0001
					0,0003
					0,0001
					0,0003
GPS	fwd	20º	6	71,3	0,0001
					0,0003
					0,0001
					0,0003
GPS	fwd	25º	5	3,0	0,0001
					0,0001
					0,0004
					0,0004

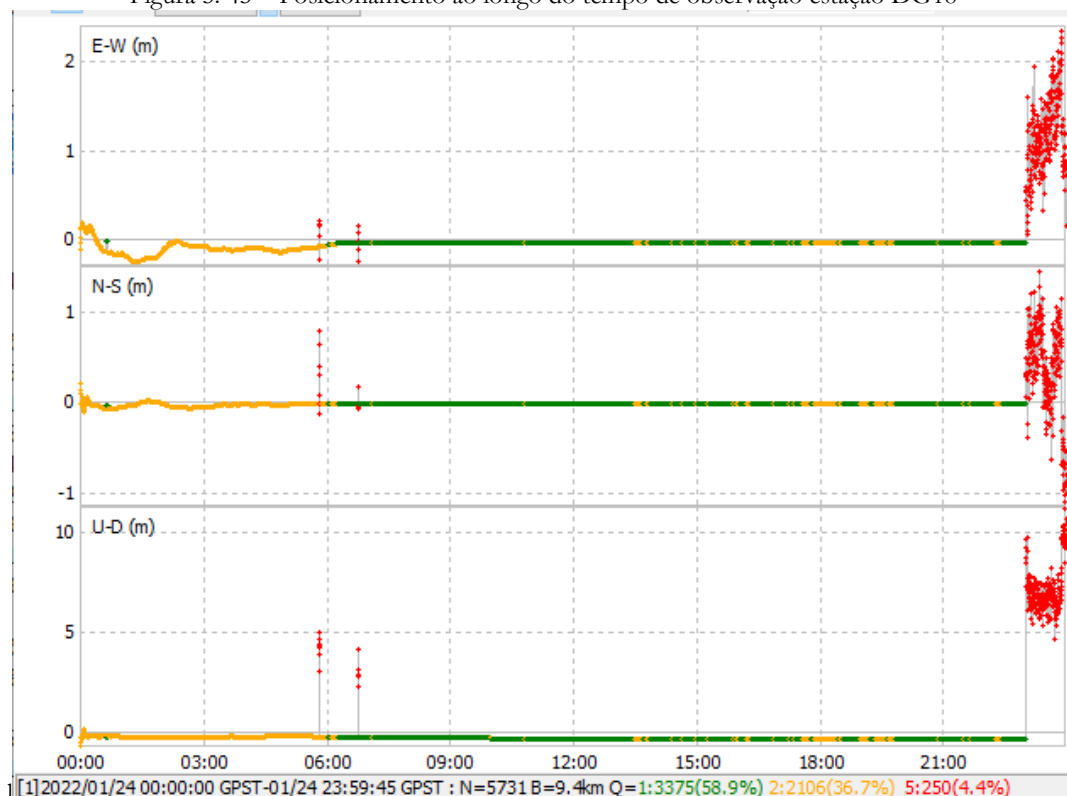
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

5.7 Análise conjunta das soluções com algumas informações de alertas para o dia em análise.

Mediante uma análise conjunta dos alertas ocorridos no dia 24/01/2022 e coordenadas pós-processadas para a estação DG18 gerou-se a Tabela 5.10. Ela apresenta o alerta que foi emitido e mediante um pós-processamento relativo gerando as coordenadas época a época pode-se verificar o valor do Ratio na época do alerta, bem como, a solução das ambiguidades e se houve algum comentário a ser acrescido.

Na Figura 5.45 verifica-se a variação das coordenadas calculadas ao longo do tempo que o programa fornece, bem como, se aparecer em amarelo é uma coordenada proveniente de uma solução real das ambiguidades, em verde coordenadas geradas com a solução dos inteiros das ambiguidades e em vermelho não houve dados simultâneos na base e na estação DG18. Percebe-se que nesta solução houve 58,9 % das ambiguidades resolvidas (Fix), 36,7% das ambiguidades são reais (Float) e 4,4 % são coordenadas absolutas pós-processadas. Verifica-se que por volta das 23 horas não houve mais dados gravados nas duas estações.

Figura 5. 45 – Posicionamento ao longo do tempo de observação estação DG18



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Tabela 5. 10 – Alertas e Soluções do processamento para a DG18

Estação	Alerta	Sat	Ratio	Solução	Comentários
DG18	00h 46min - Alarm	11	1,1	Float	
	03h 46min - warning	12	1,0	Float	
	07h 46min - warning	10	162,1	Fixa	Salto de dados das 7h44min15s para 07h46min15s
	09h 46min - warning	9	277,3	Fixa	
	11h 46min - warning	10	208,9	Fixa	Mudança de 11h (11h45min45s) para 10h(11h46min0s) satélites

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

A análise conjunta dos alertas ocorridos no dia 24/01/2022 e coordenadas pós-processadas para a estação DG17 gerou a Tabela 5.11. Nessa tabela verifica-se que quando ocorreram alertas às 03h 46min, 04h 46min e às 11h e 46min as coordenadas foram calculadas com solução das ambiguidades float (ambiguidades reais). E no alerta 00h 46 min também se tem uma ausência de dados durante 2 minutos.

Tabela 5. 11 – Alertas e Soluções do processamento para a DG17

Estação	Alerta	Sat	Ratio	Solução	Comentários
DG17	00h 46min - warning				Não há posição das 00h44min45s a 00h46min45s
	03h 46min - Alarm	10	1,0	Float	
	04h 46min - warning	10	1,4	Float	
	11h 46min - warning	8	1,3	Float	

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Da mesma forma foram analisados conjuntamente os alertas ocorridos na estação DG21 com as coordenadas obtidas ao longo do processamento. Às 00h 46min tem-se uma solução Float e às 11h 46min há uma redução no número de satélites (Tabela 5.12).

Tabela 5. 12 – Alertas e Soluções do processamento para a DG21

Estação	Alerta	Sat	Ratio	Solução	Comentários
DG21	00h 46 min - warning	7	1,2	Float	
	11h 46 min - warning	7	18,3	Fixa	Mudança de 8 (11h45min45s) para 7 (h46min0s) satélites.

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

A Tabela 5.13 indica a situação do alerta e a coordenada obtida naquele instante de tempo no processamento para a estação Mina 09. As 01h 46 min tem-se uma solução float. Na Tabela 5.14 tem-se para a estação Mina 16 e o alerta ocorrido às 02h 46min também tem uma coordenada gerada com a solução float das ambiguidades. Cabe destacar que com muitas perdas de sinal é muito difícil se obter soluções fixas das ambiguidades, o que seria a melhor precisão para uma linha de base curta como são os casos aqui analisados.

Tabela 5. 13 – Alertas e Soluções do processamento para a Mi09

Estação	Alerta	Sat	Ratio	Solução	Comentários
Mina 09	01h 46min - warning	11	1,0	<i>Float</i>	

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Tabela 5. 14 – Alertas e Soluções do processamento para a Mina 16

Estação	Alerta	Sat	Ratio	Solução	Comentários
Mina 16	02h 46min - warning	6	1,1	<i>Float</i>	

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Capítulo 6: Análise da Presença de Efeito Ionosférico.

Conforme exposto, posicionamento GNSS é afetado por várias fontes de incertezas, que podem chegar a dezenas de metros, como, por exemplo, devido a uma reflexão indesejada do sinal eletromagnético na troposfera, ou na ionosfera; à incorreta definição das órbitas dos satélites; ou a um erro de sincronismo entre seus relógios; dentre outros (RIZOS et. al 2012).

A ionosfera é a camada da atmosfera compreendida entre de 50 km e 1000 km acima da superfície terrestre que é eletricamente ativa e que afeta a propagação do sinal GNSS (CAMARGO, 1999).

A refração ionosférica é um processo dispersivo gerado pela interação existente entre a onda emitida pelo satélite e os elétrons livres suspensos na atmosfera. A magnitude do erro sistemático devido à ionosfera é diretamente proporcional ao TEC (*Total Electron Content* – Conteúdo Total de Elétrons) na camada ionosférica, ou seja, ao número de elétrons livres presentes ao longo do caminho percorrido pelo sinal, e inversamente proporcional ao quadrado da frequência que está sendo empregada. Segundo Camargo (1999), o TEC varia no tempo e espaço, em razão do fluxo de ionização solar, atividade magnética, ciclo de manchas solares, estação do ano, hora do dia, localização geográfica e direção do raio vetor do satélite, sendo de difícil correção. Os efeitos causados pela ionosfera seriam de fácil determinação se o valor do TEC fosse constante, ou tivesse uma variação regular.

Segundo Teunissen e Kleusberg (1998) o erro associado à refração ionosférica pode variar de alguns metros até aproximadamente 100 metros.

Segundo Campos et.al (1993) no Brasil as ocorrências de cintilações são mínimas de abril até agosto, e máximas de setembro a março. Os horários diários de cintilação mais intensos são limitados a uma hora, após o pôr do Sol, até aproximadamente à meia noite local. Devido à cintilação, a fase nas portadoras L1 e L2 pode mudar significativamente entre duas épocas consecutivas. A mudança rápida na frequência do sinal recebido, associada aos efeitos de cintilação na fase, pode provocar a perda do sinal pelo sistema dos receptores GPS (EL GIZAWY, 2003).

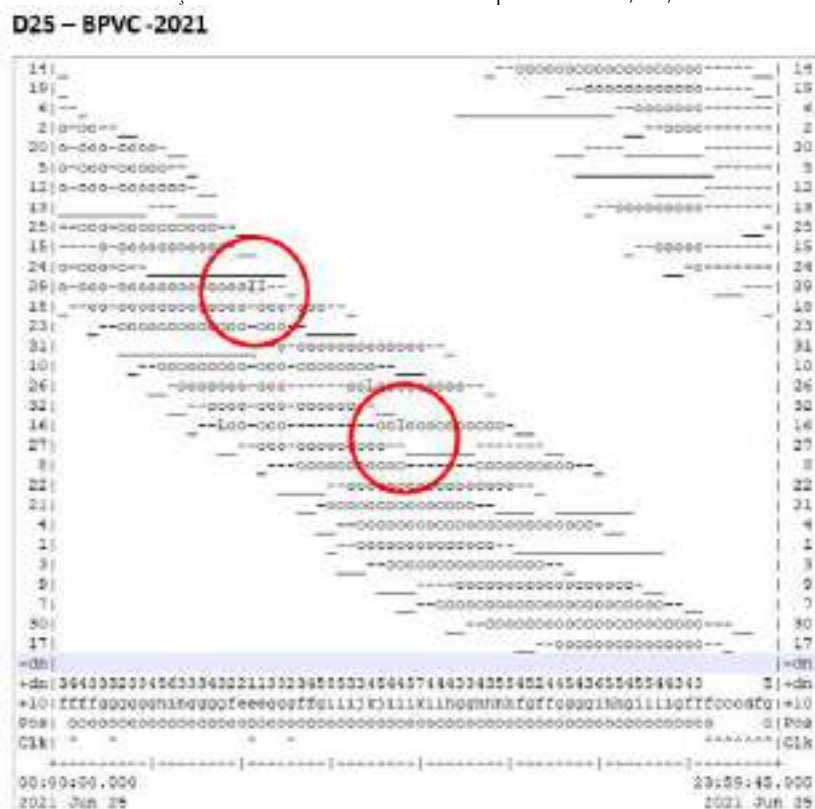
O modelo broadcast também é conhecido por modelo de Klobuchar, e ele permite calcular o atraso ionosférico, ou seja, a correção ionosférica para a pseudodistância entre o satélite e o receptor. De acordo com a literatura, o modelo compensa aproximadamente 50-60% do atraso ionosférico total em regiões de latitudes médias (LEICK, 1995).

Visando analisar a presença deste efeito nos dados optou-se por investigar os dados coletados nos anos de 2021 (25/6/2021 a 30/06/2021) e 2022 (25/1/2022 a 30/01/2022) visando detectar a presença de efeitos ionosféricos nos dados coletados pelas estações Base PVC, DG15, DG16 e DG18, bem como, pelas soluções geradas por um posicionamento relativo estático.

Para um receptor de dupla frequência, o erro devido ao efeito ionosférico, em primeira ordem, será completamente eliminado e para um receptor de simples frequência, em condições normais, a influência do erro é da ordem de 1 ppm. Segundo Wanniger (1993), é possível alcançar, para os posicionamentos relativos cinemático e rápido estático, utilizando um receptor de simples frequência e em más condições, um erro nas coordenadas acima de 15 ppm. Nas regiões equatorial e polar poderá haver alta permanência desses erros, visto que há fortes anomalias (WANNIGER, 1993).

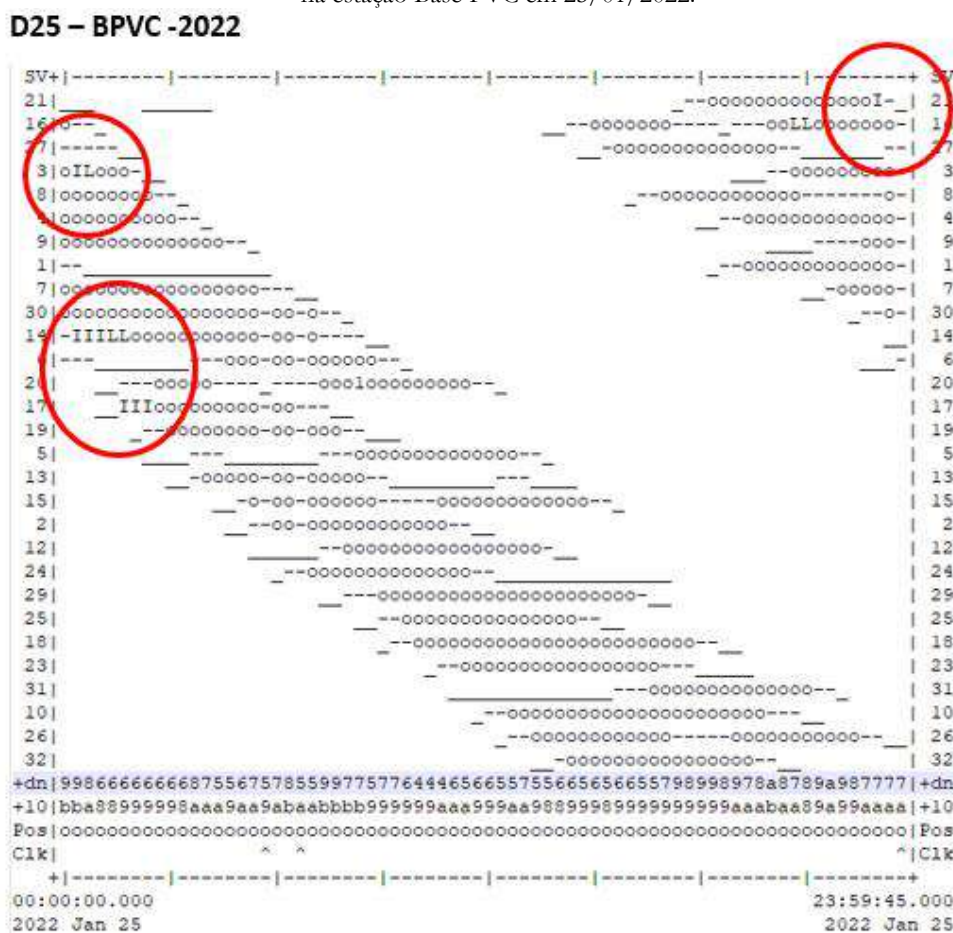
Por meio do programa TEQC (Translate, Editing, Quality and Checking) foram analisadas a presença de efeitos ionosféricos nos dados dos satélites GPS coletados pelas estações. Na Figura 6.1 a indicação da letra “I” mostra a presença de efeito ionosférico no sinal recebido por aquele satélite e naquele instante de tempo, indicado pelo círculo em vermelho, para o ano de 2021.

Figura 6. 1 - Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC no ano de 2021 para o dia 25/06/2021.



Na Figura 6.2 verifica-se uma maior presença de efeito ionosférico nos sinais recebidos pelos satélites GPS, indicado pelo círculo vermelho, para o ano de 2022. Visualmente já se percebe uma atividade maior nos dados no ano de 2022 do que no ano de 2021.

Figura 6. 2 –Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 25/01/2022.



Na sequência são apresentadas nas Figura 6.3 e Figura 6.5 os satélites das constelações GPS e GLONASS, respectivamente, visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/06/2021. Os valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS e GLONASS observados por esta estação e neste dia são apresentados na Figura 6.4 e 6.6, respectivamente.

Figura 6. 3 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/06/2021.

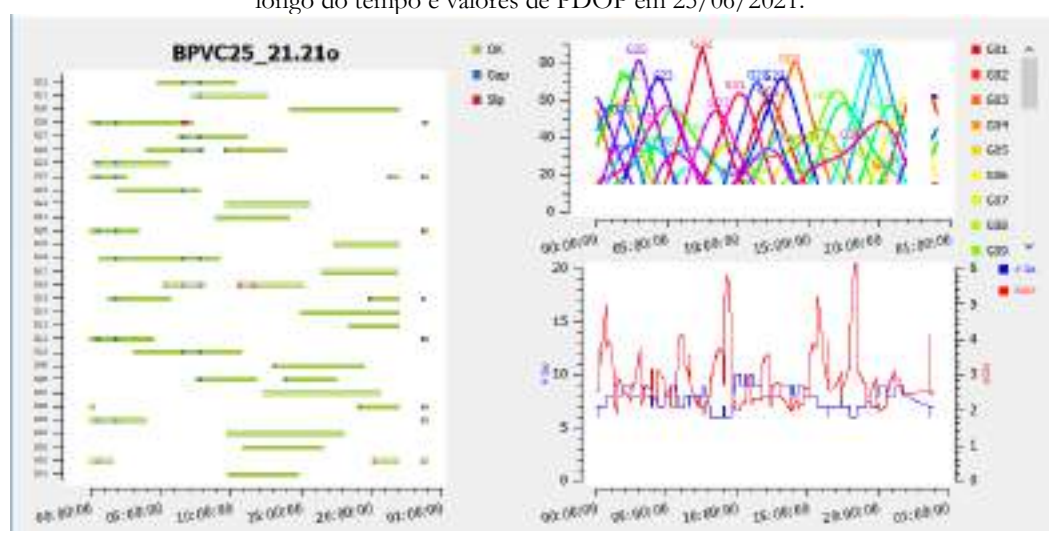


Figura 6. 4 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Base PVC em 25/06/2021.

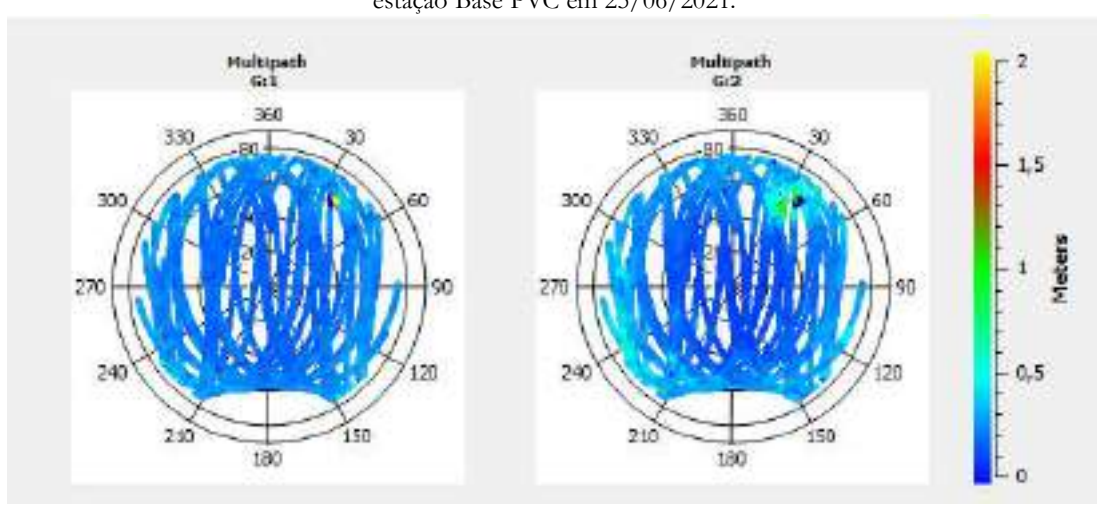


Figura 6. 5 – Os satélites da constelação GLONASS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/06/2021.

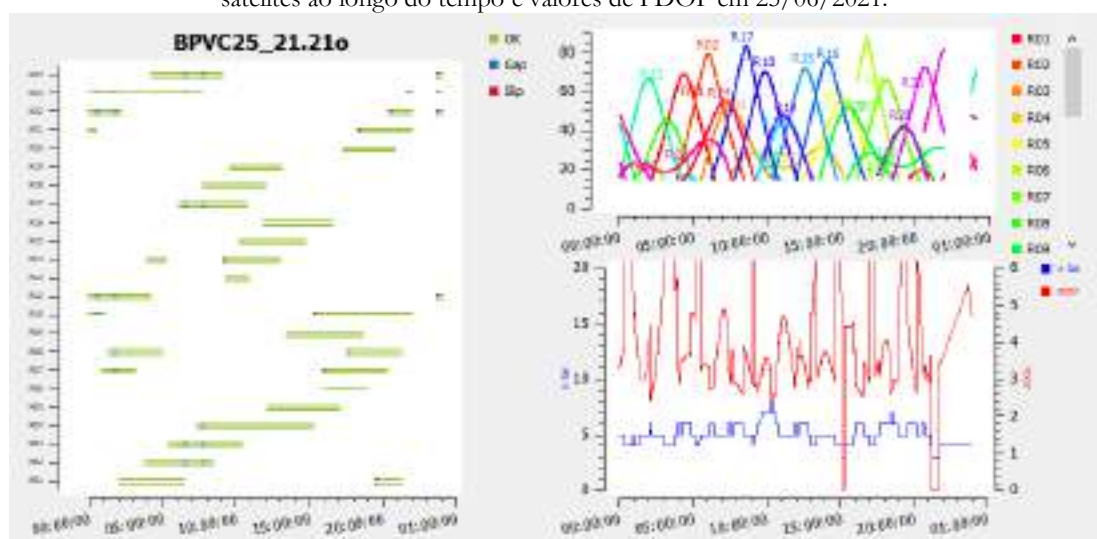
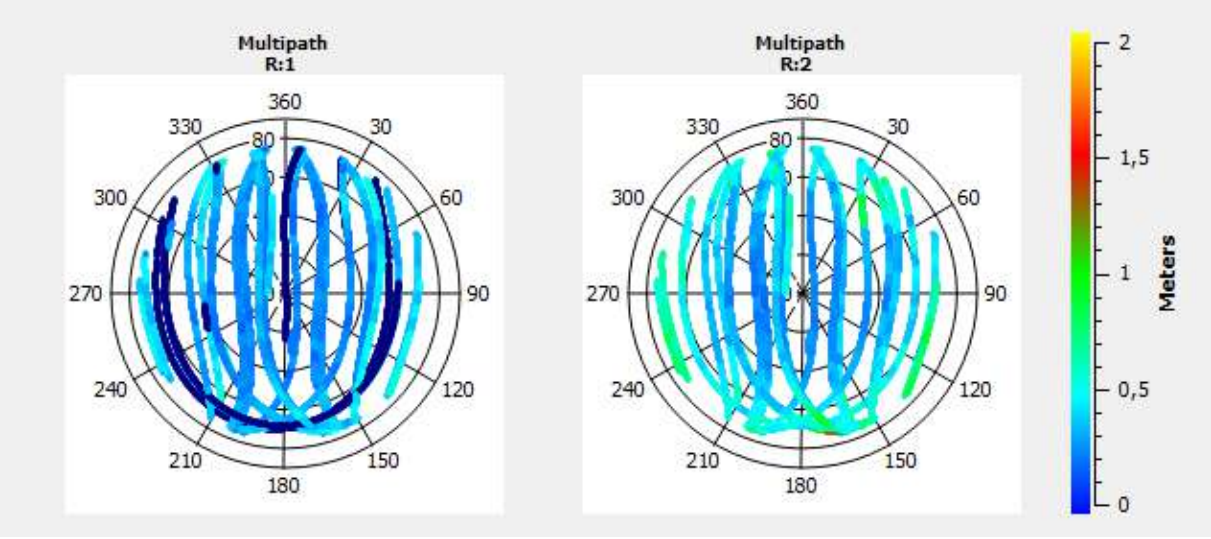


Figura 6. 6— Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação Base PVC em 25/06/2021.



Na Figura 6.7 e Figura 6.9 os satélites das constelações GPS e GLONASS, respectivamente, visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/01/2022. Os valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS e GLONASS observados por esta estação e neste dia são apresentados na Figura 6.8 e 6.10, respectivamente.

Figura 6. 7 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/01/2022.

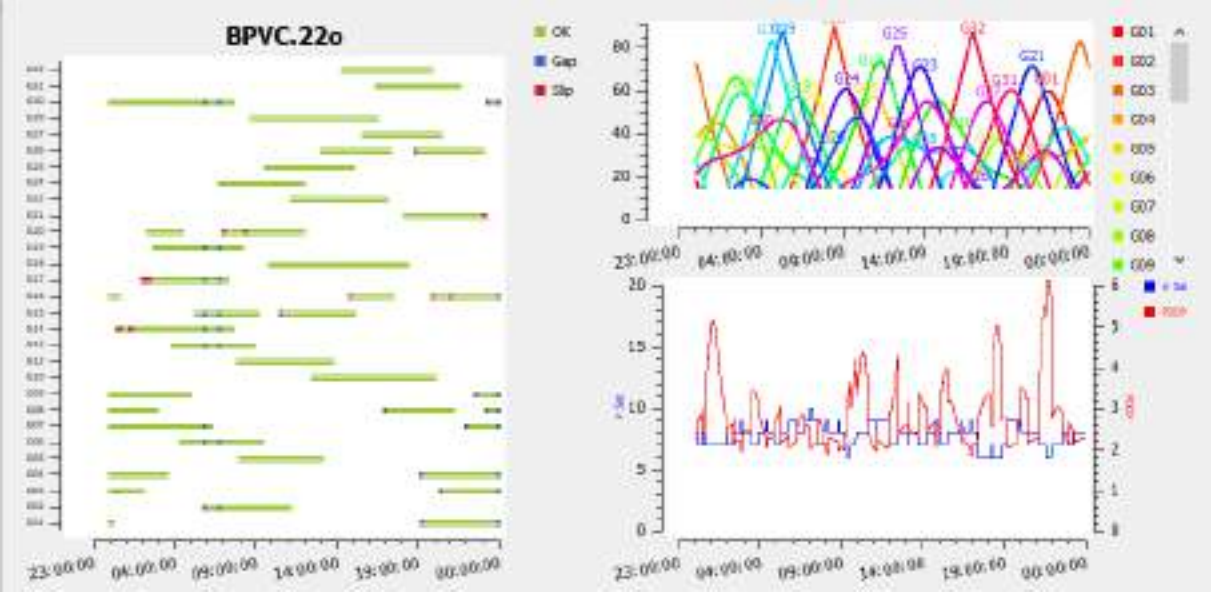


Figura 6. 8 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação Base PVC em 25/01/2022.

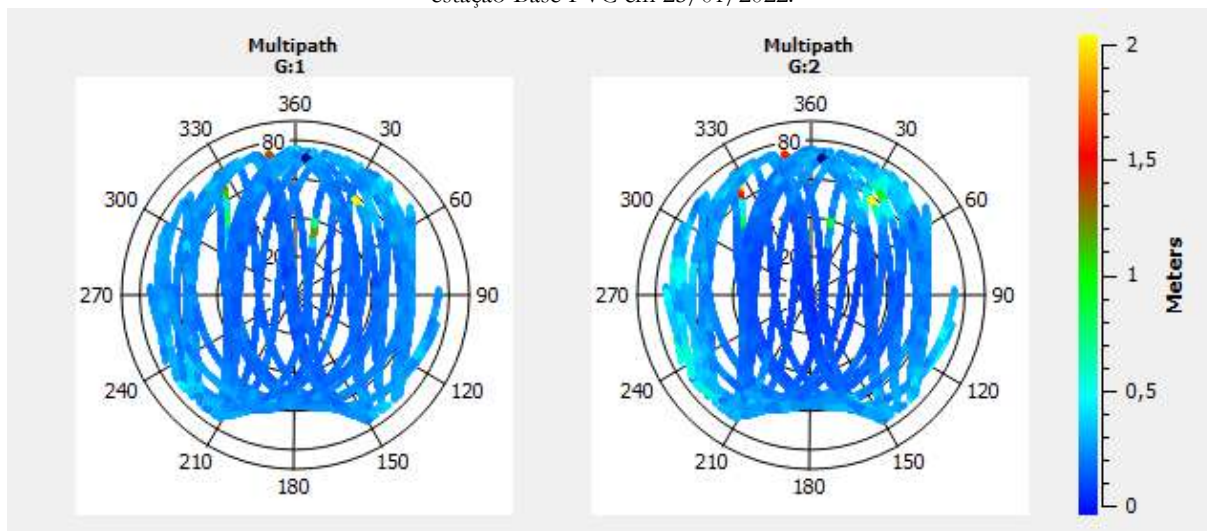


Figura 6. 9 – Os satélites da constelação GLONASS visíveis pela estação Base PVC, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/01/2022

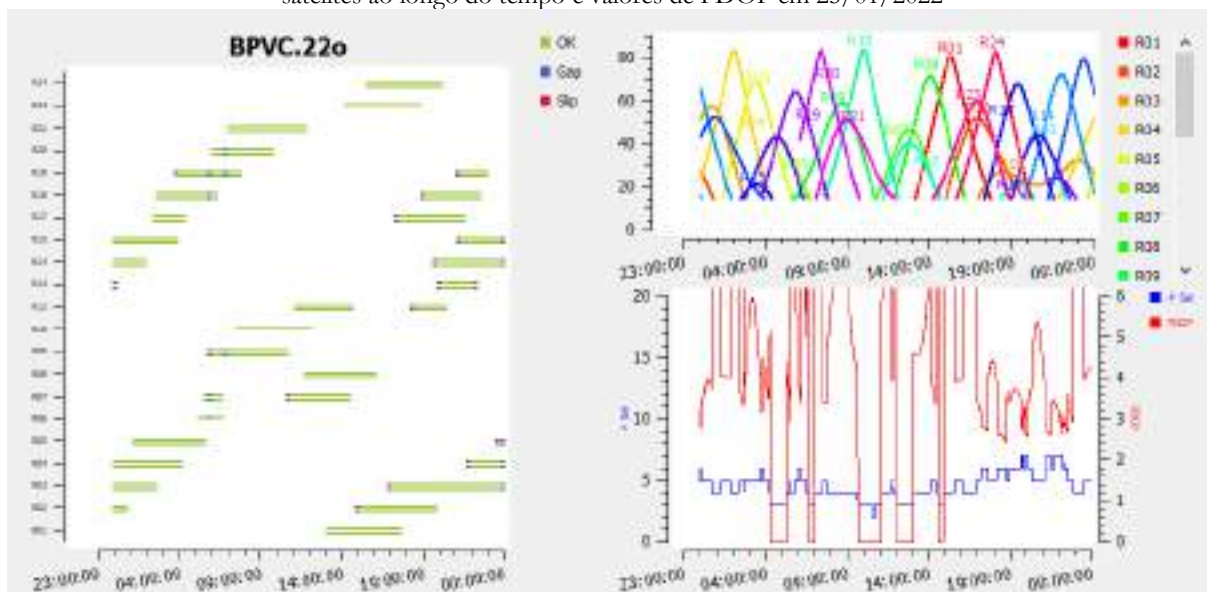
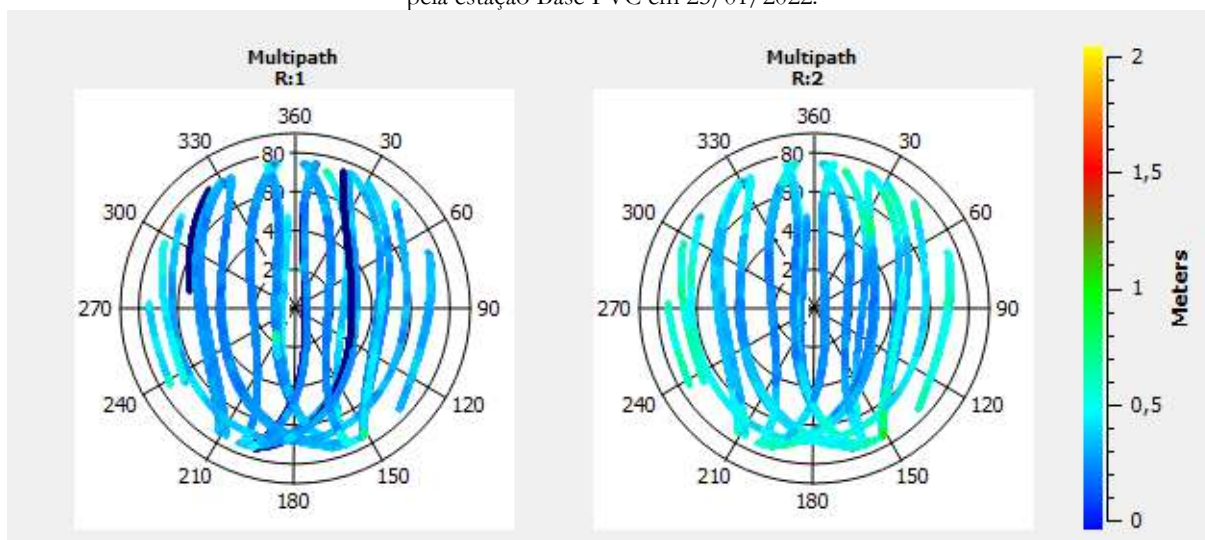


Figura 6. 10 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GLONASS observados pela estação Base PVC em 25/01/2022.



Analisando-se as figuras (Figura 6.3 e 6.7) verifica-se que no ano de 2022 houve mais perdas de sinal do que no ano de 2021, e os valores de PDOP ficaram inferiores a 6, contudo no ano 2022 percebe-se um pico mais elevado as 22 horas para a constelação GPS. Também se verifica um pequeno aumento dos efeitos de multicaminho em outras direções e elevações no ano de 2022 (Figura 5.8) do que aquela registrada no ano de 2021 (Figura 6.4) para um azimuth de 30 graus e uma elevação de cerca de 30 graus.

Com relação às observações da constelação GLONASS (Figura 6.5, Figura 6.6, Figura 6.9 e Figura 6.10) verifica-se uma fraqueza de geometria que acarreta numa elevação dos valores de PDOP em diversos instantes durante a coleta dos dados nos anos 2021 e 2022. Percebe-se ainda algumas perdas de sinal no ano 2022 a mais do que aquelas ocorridas no ano de 2021, a qual pode ser ocasionada pelos efeitos ionosféricos ou pela mudança do entorno, por exemplo, crescimento de vegetação.

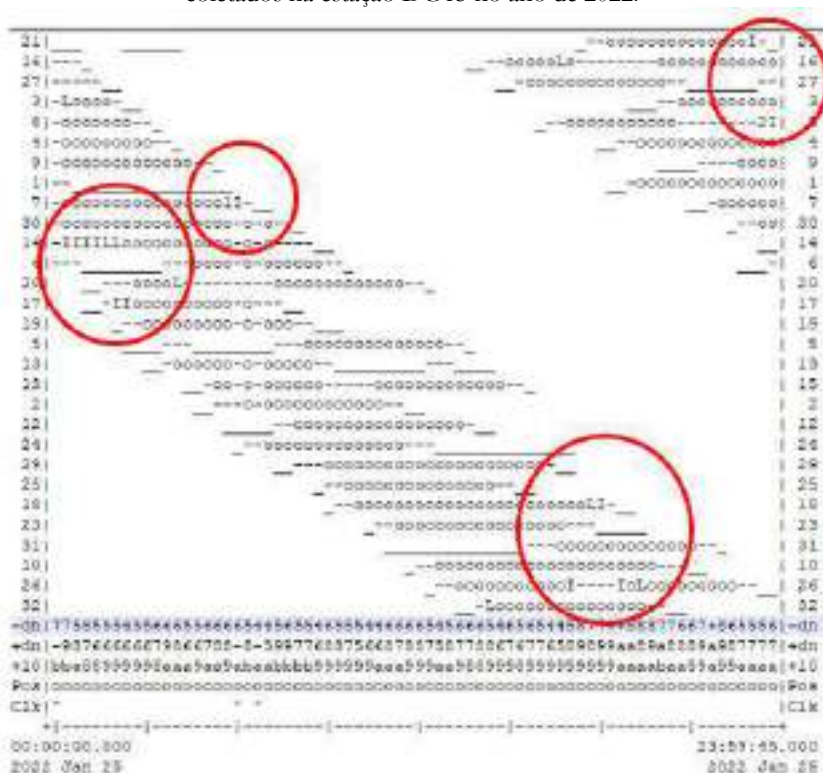
Como já exposto, a estação Base PVC é classificada como tendo pouco efeito de multicaminho, tendo sido adotada como estação base para os futuros processamentos relativos estáticos.

Na sequência são apresentadas as análises dos dados brutos coletados pela estação DG15. Inicialmente foca-se nos efeitos da ionosfera nos sinais recebidos dos satélites GPS. Na Figura 6.11 tem-se para o ano 2021 e na Figura 6.12 para o ano 2022 para a estação DG15. Visualmente já se percebe uma atividade maior nos dados no ano de 2022 do que no ano de 2021.

Figura 6. 11 - Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 no ano de 2021.



Figura 6. 12 –Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 no ano de 2022.



Para esta estação (DG15) analisou-se ainda a constelação observada, a elevação dos satélites, os valores de PDOP e o efeito de multicaminho atuante nos dias 25/06/2021 (Figura 6.13) e 25/01/2022 (Figura 6.15) para os satélites GPS.

Figura 6. 13 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação DG15, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/06/2021.

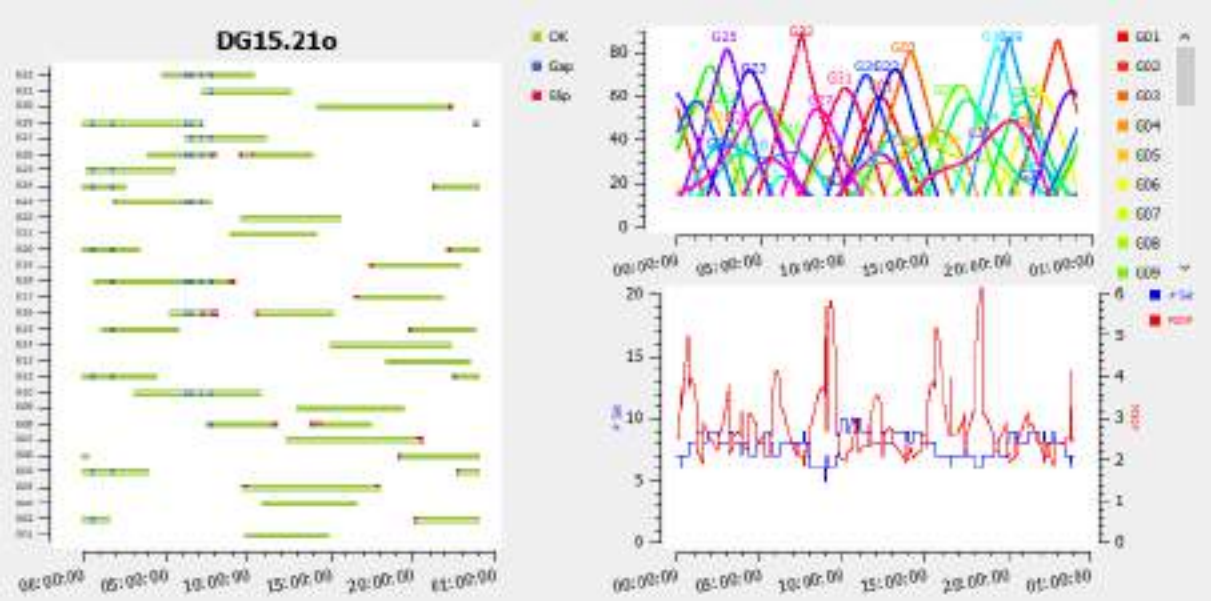


Figura 6. 14 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação DG15 em 25/06/2021.

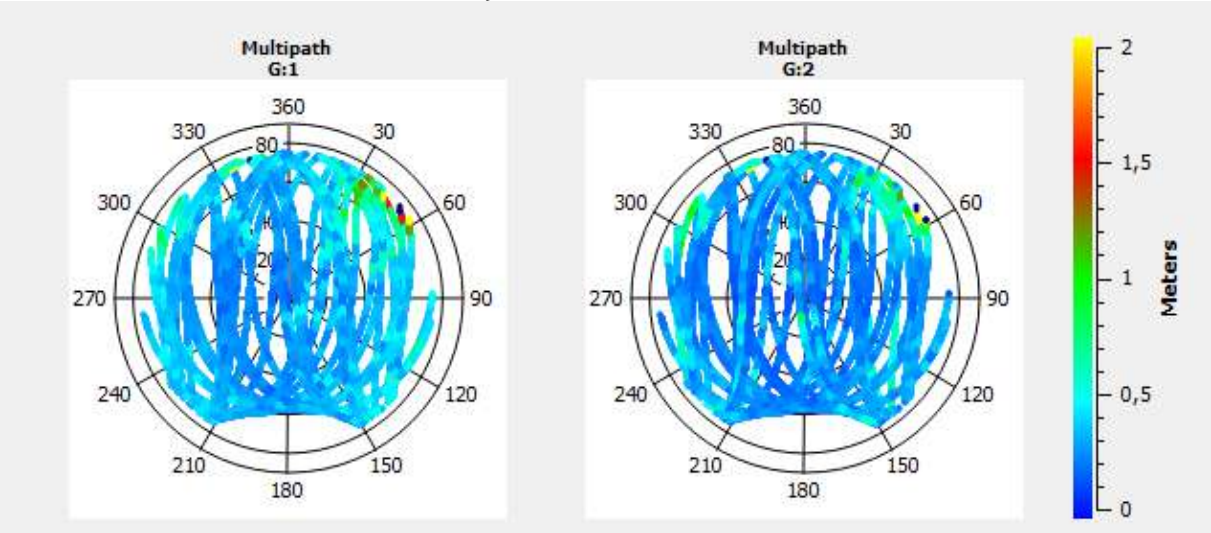


Figura 6. 15 – Os satélites da constelação GPS visíveis pela estação DG15, elevação de cada um dos satélites ao longo do tempo e valores de PDOP em 25/01/2022.

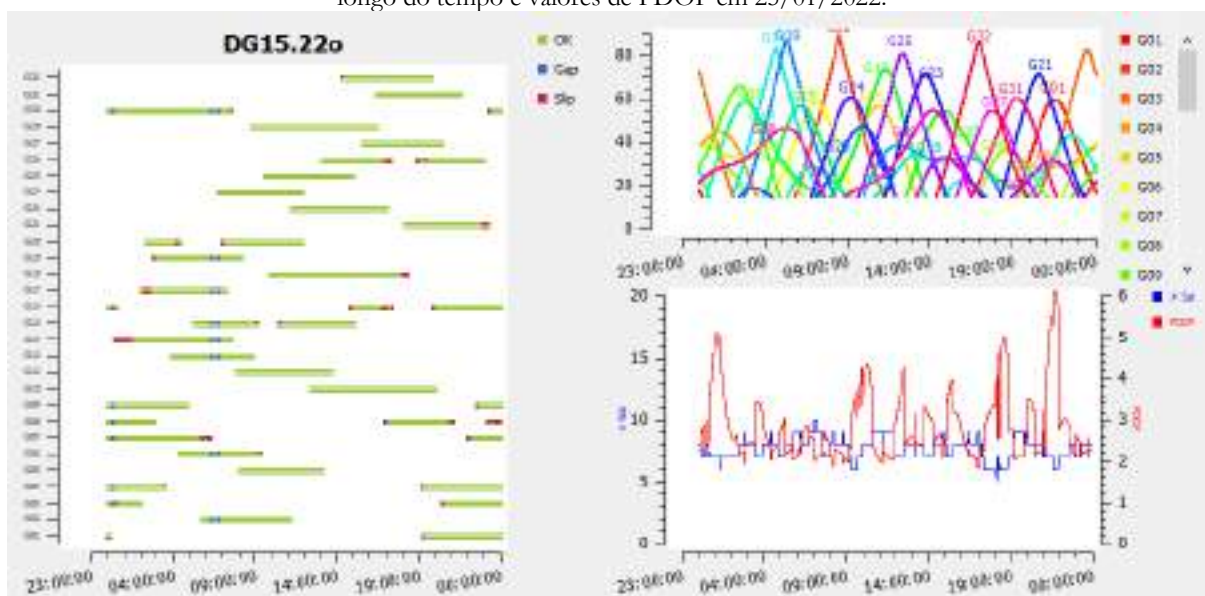
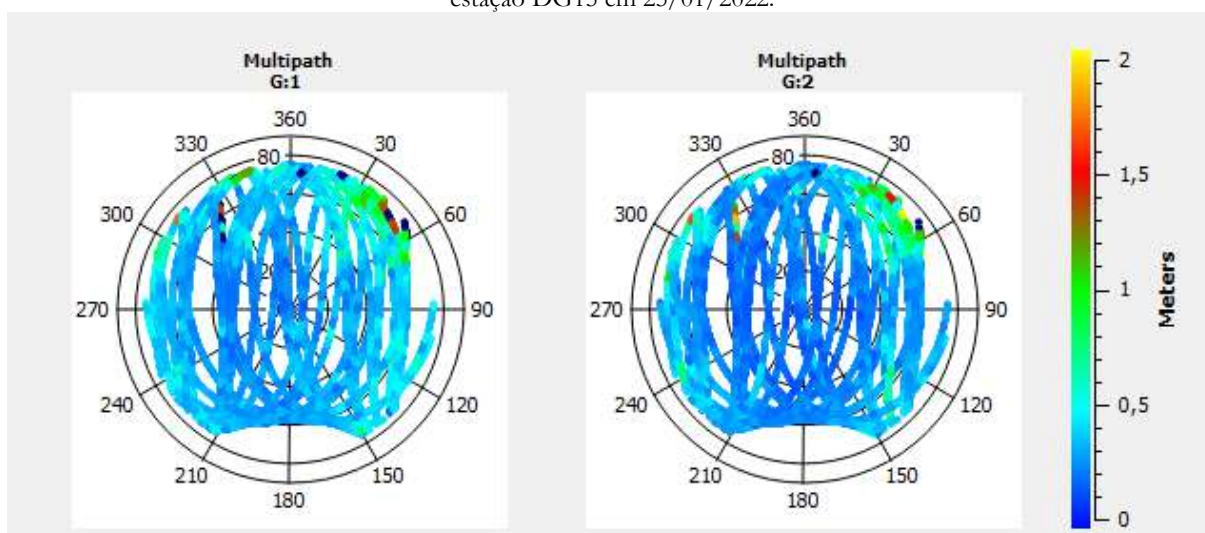


Figura 6. 16 – Valores de Multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 para os satélites GPS observados pela estação DG15 em 25/01/2022.



Analisando-se as figuras (Figura 6.13 e 6.15) verifica-se que no ano de 2022 houve mais perdas de sinal do que no ano de 2021, e os valores de PDOP foram inferiores a 6 para as observações dos satélites da constelação GPS. Também se verifica um aumento dos efeitos de multicaminho. No ano 2021 os valores mais elevados estão entre os azimutes de 30 a 60 graus para elevação de cerca de 20 graus (Figura 6.14). No ano de 2022 percebe-se valores mais elevados deste efeito entre os azimutes 300 e 60 graus para elevações inferiores a 30 graus (Figura 6.16).

6.1 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG15) em 25/06/2021 e 25/01/2022

Buscando efetuar uma análise preliminar da influência do efeito ionosférico na solução da coordenada da estação denominada de estação incógnita foram efetuados processamentos pelo método de posicionamento relativo estático por meio do programa RTKLIB (programa científico disponível para a comunidade). Empregou-se como estação base a Base PVC, que apresenta o menor efeito de multicaminho em relação às demais bases (Tabela 5.1).

Os dados da estação Base PVC e a estação incógnita DG15 foram processados pelo programa científico RTKLIB2.4.2. no modo relativo estático para o dia 25/06/2021 e para o dia 25/01/2022 buscando analisar a solução a ser alcançada em cada um dos anos. Na Tabela 6.1 estão indicados os parâmetros de processamento empregados no programa e na Tabela 6.2 estão apresentados os resultados dos processamentos efetuados.

Tabela 6. 1 – Parâmetros de Processamento para as estações Base PVC e DG15		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Método de posicionamento	Relativo estático	Relativo estático
Efemérides	Transmitidas	Transmitidas
Máscara de elevação	20 graus	20 graus
Correções ionosféricas	Off	Off
Correções Troposféricas	Off	Off
Frequências processadas	L1+ L2	L1+ L2
Filtro	Cwd	Cwd
Resolução das ambiguidades	Fix and holding	Fix and holding
Arquivo do modelo das antenas	Ant_igs_bcal.atx	Ant_igs_bcal.atx

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Tabela 6. 2 – Resultados dos Processamentos dia 25

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,3%	Fixa 76,3%
Número de satélites	07	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 26,90106"	Lat. = -9° 37' 26,90133"
	Long. = -35° 45' 06,20093"	Long. = -35° 45' 06,20104"
	Alt. Elipsoidal = -2,1255m	Alt. Elipsoidal = -2,1328 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	999,9	3,0

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Percebe-se que no ano de 2022 quando se teve uma atividade maior da ionosfera a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (76,3%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 7,3mm. Outras correções foram empregadas visando minimizar os efeitos da ionosfera, o ionex tec (aplicando o arquivo codeg0250.21i fornecido pela <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/ionex/2022/025/>) e a iono free. Contudo, eles forneceram uma porcentagem menor de ambiguidades resolvidas, sendo 9,65 e 11,7%, respectivamente, acarretando diferenças de altitude iguais a 1,7 a 8,4 cm.

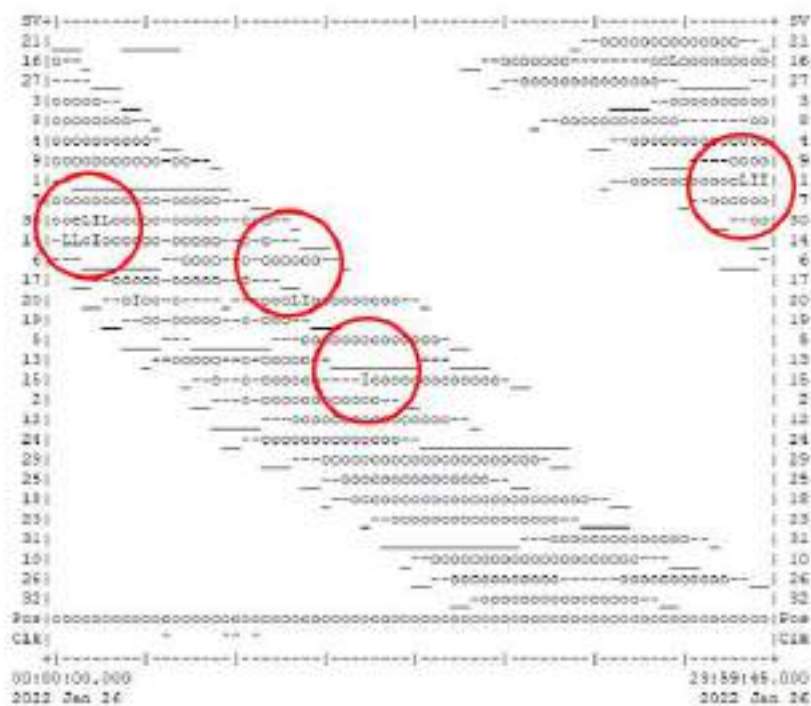
6.2 Análise da Presença de Efeitos Ionosféricos nos Dados Brutos das estações Base PVC e DG15 em 26/06/2021 e 26/01/2022

Nas Figuras 6.17 (26/06/2021) e 6.18 (26/01/2022) estão apresentadas as análises quanto aos efeitos da ionosfera nos sinais recebidos dos satélites GPS nos dias indicados para a estação Base PVC e nas figuras 6.19 (26/06/2021) e 6.20 (26/01/2022) para a estação DG15.

Figura 6. 17 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 26/06/2021.



Figura 6. 18 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 26/01/2022.



Comparando as figuras 6.17 e 6.18 percebe-se que no ano de 2022 houve mais atividade ionosférica do que aquela que ocorreu no ano de 2021.

Figura 6. 19 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 26/06/2021.



Figura 6. 20 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 26/01/2022.



Na Figura 6.20 tem-se para o ano 2022 e na Figura 6.19 para o ano 2021 para a estação DG15. Visualmente já se percebe uma atividade maior nos dados no ano de 2022 do que no ano de 2021.

6.3 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG15) em 26/06/2021 e 26/01/2022

Efetuada-se os mesmos processamentos para os dias 26/06/2021 e 26/01/2022 para as estações Base PVC e DG15 obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.3.

Tabela 6. 3 – Resultados dos Processamentos dia 26

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 98,3%	Fixa 91,6%
Número de satélites	05	05
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 26,90103"	Lat. = -9° 37' 26,90120"
	Long. = -35° 45' 06,20066"	Long. = -35° 45' 06,20092"
	Alt. Elipsoidal = -2,1289m	Alt. Elipsoidal = -2,1371 m
	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
Precisão interna	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	999,9	6,6

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

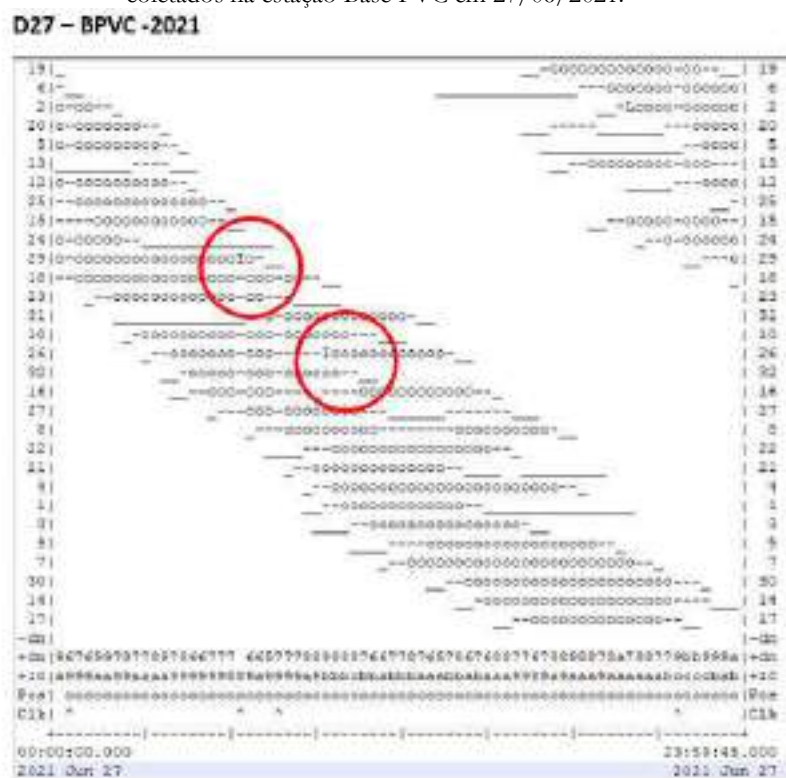
Percebe-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (91,6%) da aquela obtida no ano de 2021. Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 8,2mm.

6.4 Análise da Presença de Efeitos Ionosféricos nos Dados Brutos das estações Base PVC e DG15 em 27/06/2021 e 27/01/2022

Os efeitos da ionosfera nos sinais recebidos dos satélites GPS no dia 27/06/2021 na estação Base PVC pode ser visualizado na Figura 6.21 e para a estação DG15 na Figura 6.23. Os mesmos efeitos para o dia 27/01/2022 na estação na estação Base PVC pode ser visualizado na Figura 6.22 e para a estação DG15 na Figura 6.24.

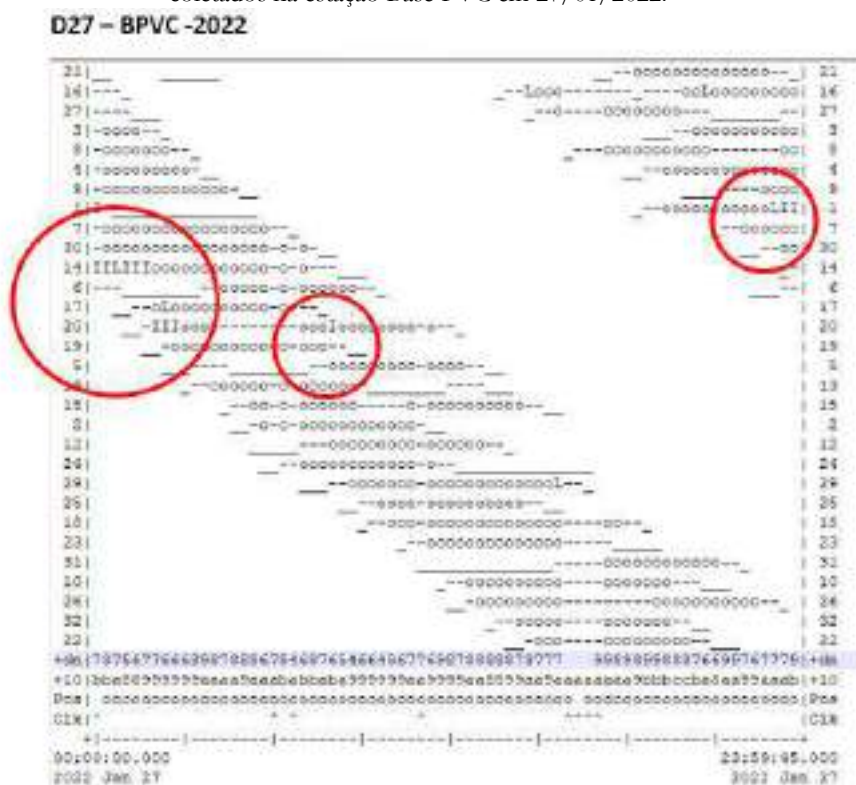
Analisando-se as figuras 6.21 e 6.22, bem como, as figuras 6.23 e 6.24 também se percebe maiores efeitos da ionosfera nos sinais recebidos dos satélites GPS no ano de 2022.

Figura 6. 21 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 27/06/2021.



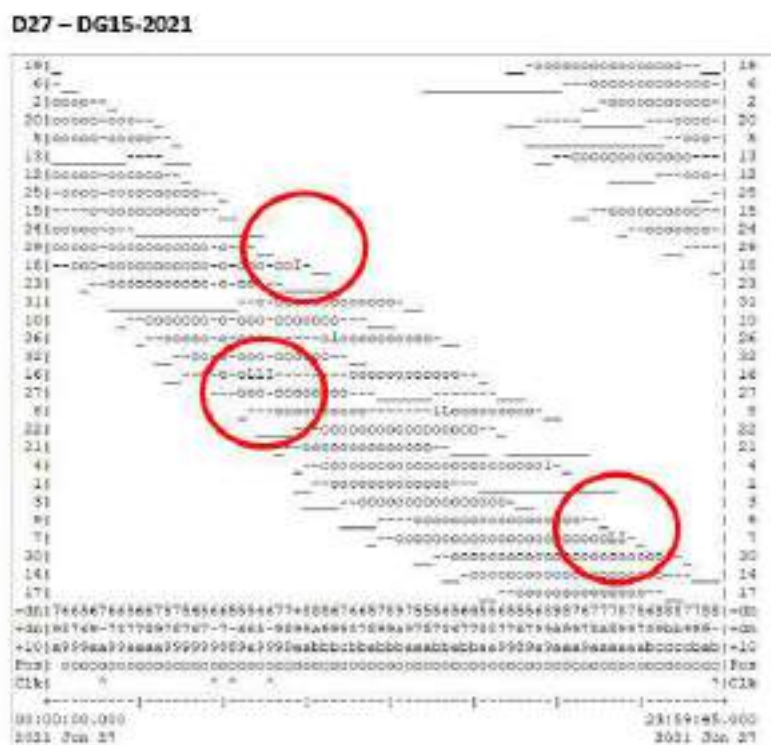
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 22 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 27/01/2022.



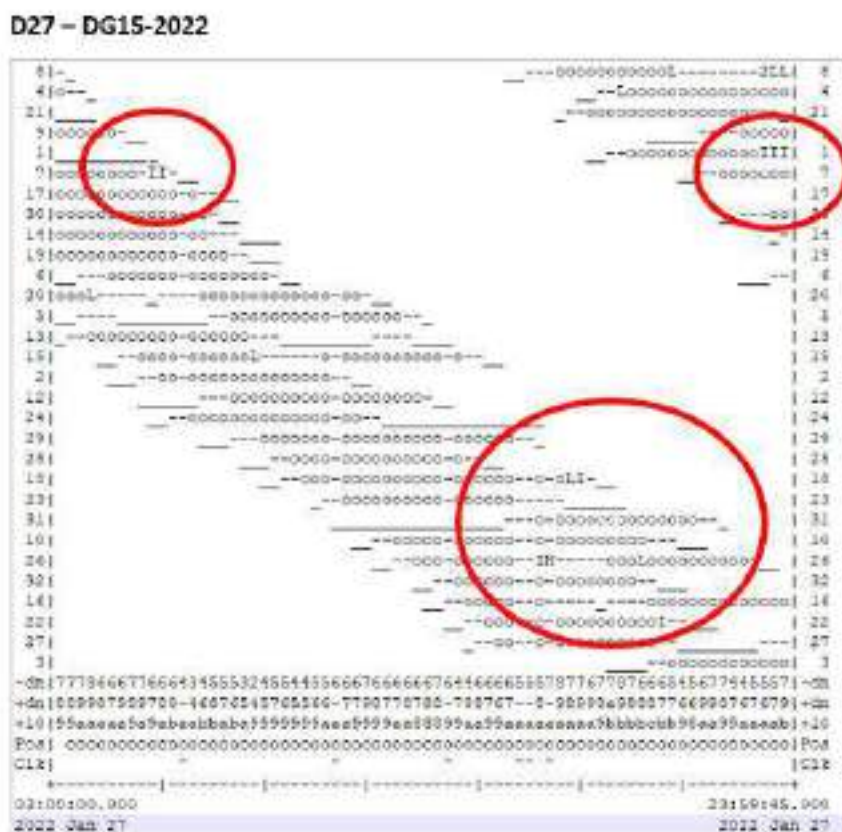
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 23 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 27/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 24 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 27/01/2022.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.5 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG15) em 27/06/2021 e 27/01/2022

Os resultados dos processamentos efetuados para os anos de 2021 e 2022 para o dia 27 estão apresentados na Tabela 6.4. A percentagem de ambiguidades fixadas para a solução do ano de 2021 foi igual a 99,5% sendo superior a percentagem obtida para o ano de 2022 (89,6%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 6,59 cm. Também de verificar que a imprecisão da coordenada vertical no ano de 2022 foi superior àquela obtida no ano de 2021.

Tabela 6. 4 – Resultados dos Processamentos dia 27

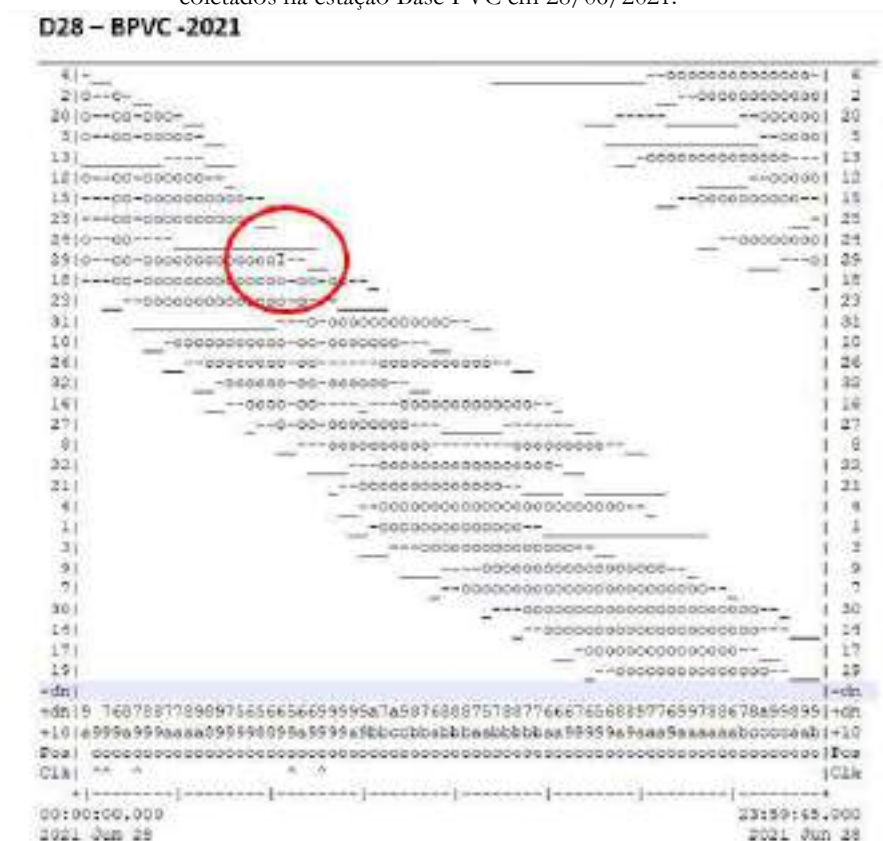
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,5%	Fixa 89,6%
Número de satélites	05	07
	Lat. = -9° 37' 26,90105"	Lat. = -9° 37' 26,89974"
Coordenadas geodésicas	Long. = -35° 45' 06,20082"	Long. = -35° 45' 06,20097"
	Alt. Elipsoidal = -2,1265m	Alt. Elipsoidal = -2,1924 m
	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0015
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0010
Precisão interna	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0035
Ratio	999,9	3,2

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.6 Análise da Presença de Efeitos Ionosféricos nos Dados Brutos das estações Base PVC e DG15 em 28/06/2021 e 28/01/2022

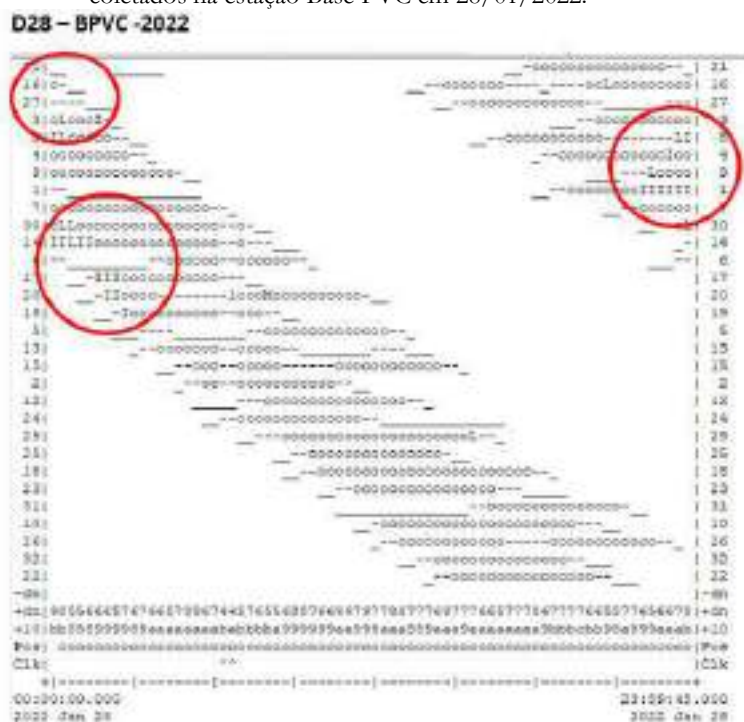
Por meio do programa TEQC foram avaliados os efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados nas estações Base PVC e DG15 nos dias 28/06/2021 e 28/01/2022. Nas figuras 6.25 e 6.26 tem-se estes efeitos para os anos 2021 e 2022, respectivamente, para a estação Base PVC e nas figuras 6.27 e 6.28 para a estação DG15 nos anos 2021 e 2022, respectivamente. Conforme ocorreu nos demais dias analisados também se percebe um efeito de multicaminho no ano de 2022 superior ao ano de 2021.

Figura 6. 25 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 28/06/2021.



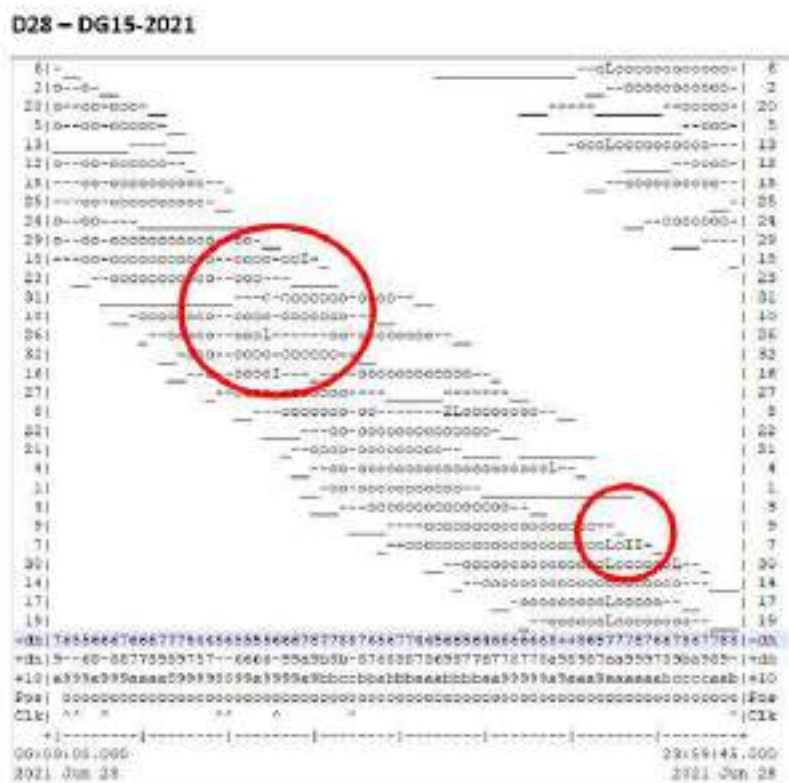
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 26 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 28/01/2022.



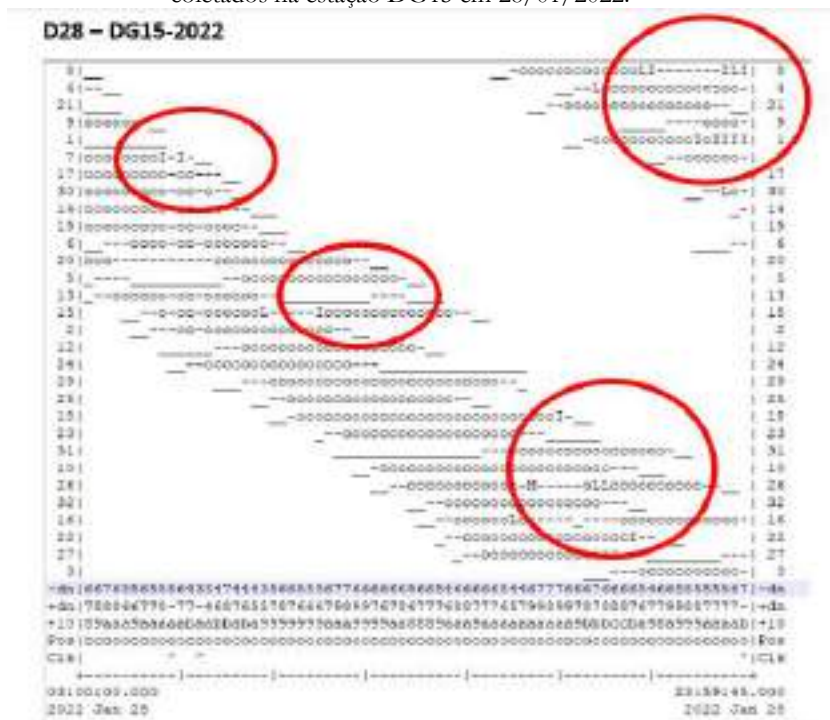
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 27– Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 28/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 28 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 28/01/2022.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.7 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG15) em 28/06/2021 e 28/01/2022

Efetuando-se os mesmos processamentos para estes dias para as estações Base PVC e DG15 obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.5. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (76,7%) da aquela obtida no ano de 2021. Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 2,7mm.

Tabela 6. 5 – Resultados dos Processamentos dia 28		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,4%	Fixa 76,7%
Número de satélites	05	06
	Lat. = -9° 37' 26,90091"	Lat. = -9° 37' 26,90132"
Coordenadas geodésicas	Long. = -35° 45' 06,20092"	Long. = -35° 45' 06,20099"
	Alt. Elipsoidal = -2,1357m	Alt. Elipsoidal = -2,1330 m
	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0015
Precisão interna	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0010
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0035
Ratio	999,9	100,1

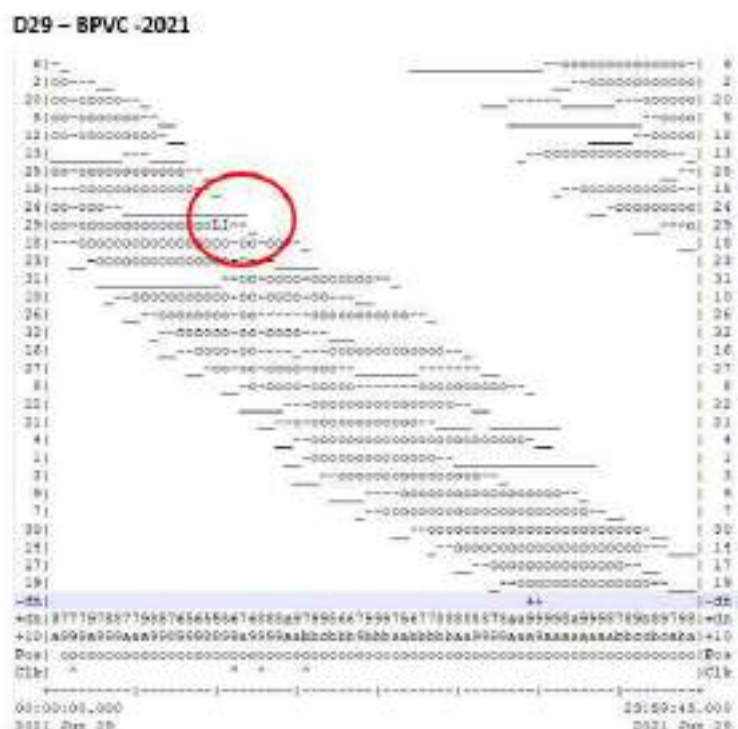
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.8 Análise da Presença de Efeitos Ionosféricos nos Dados Brutos das estações Base PVC e DG15 em 29/06/2021 e 29/01/2022

Os efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados nas estações Base PVC e DG15 nos dias 29/06/2021 e 29/01/2022.

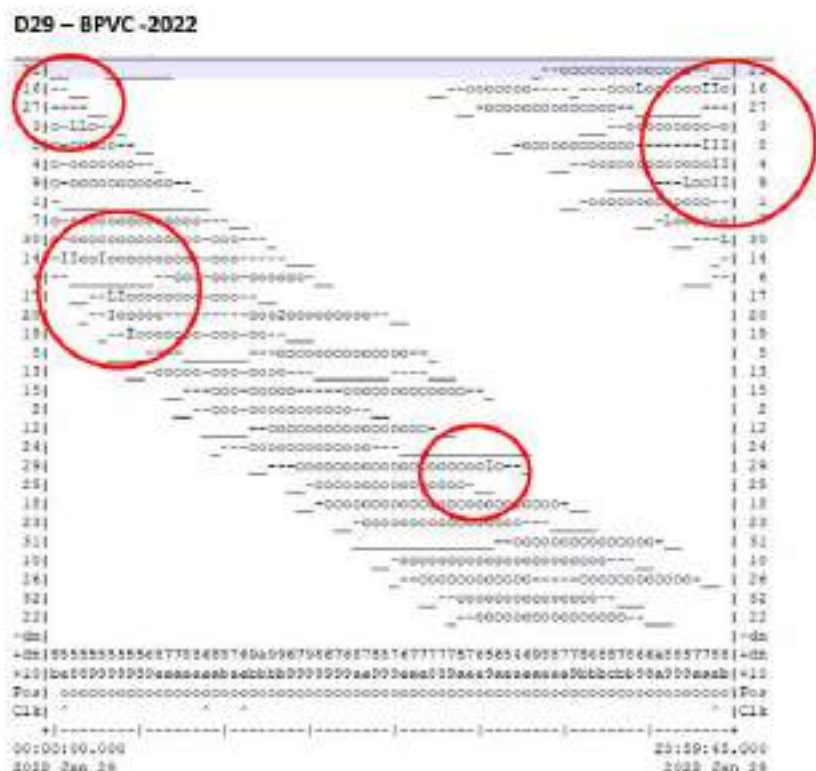
Nas figuras 6.29 e 6.30 tem-se estes efeitos para os anos 2021 e 2022, respectivamente, para a estação Base PVC e nas figuras 6.31 e 6.32 para a estação DG15 nos anos 2021 e 2022, respectivamente. Conforme ocorreu nos demais dias analisados também se percebe um efeito de multicaminho no ano de 2022 superior ao ano de 2021.

Figura 6. 29 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 29/06/2021.



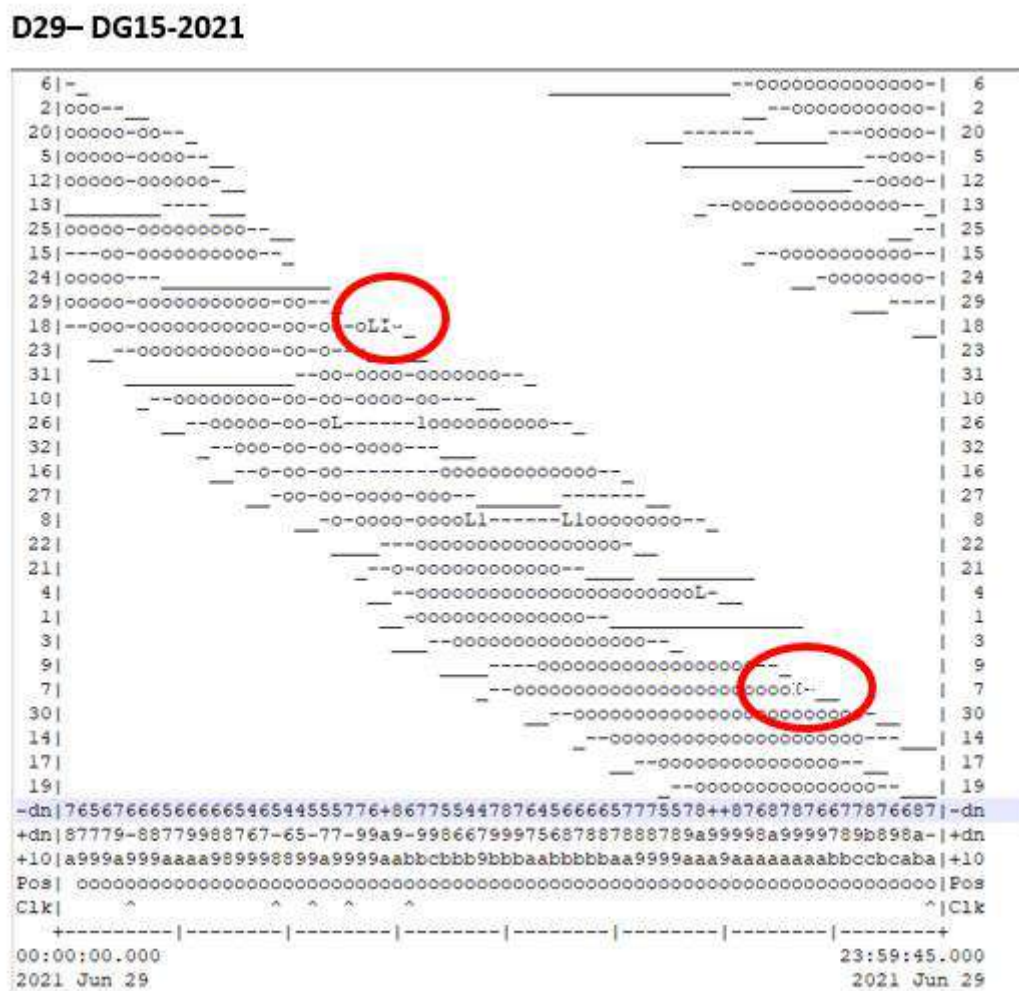
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 30 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 29/01/2022.



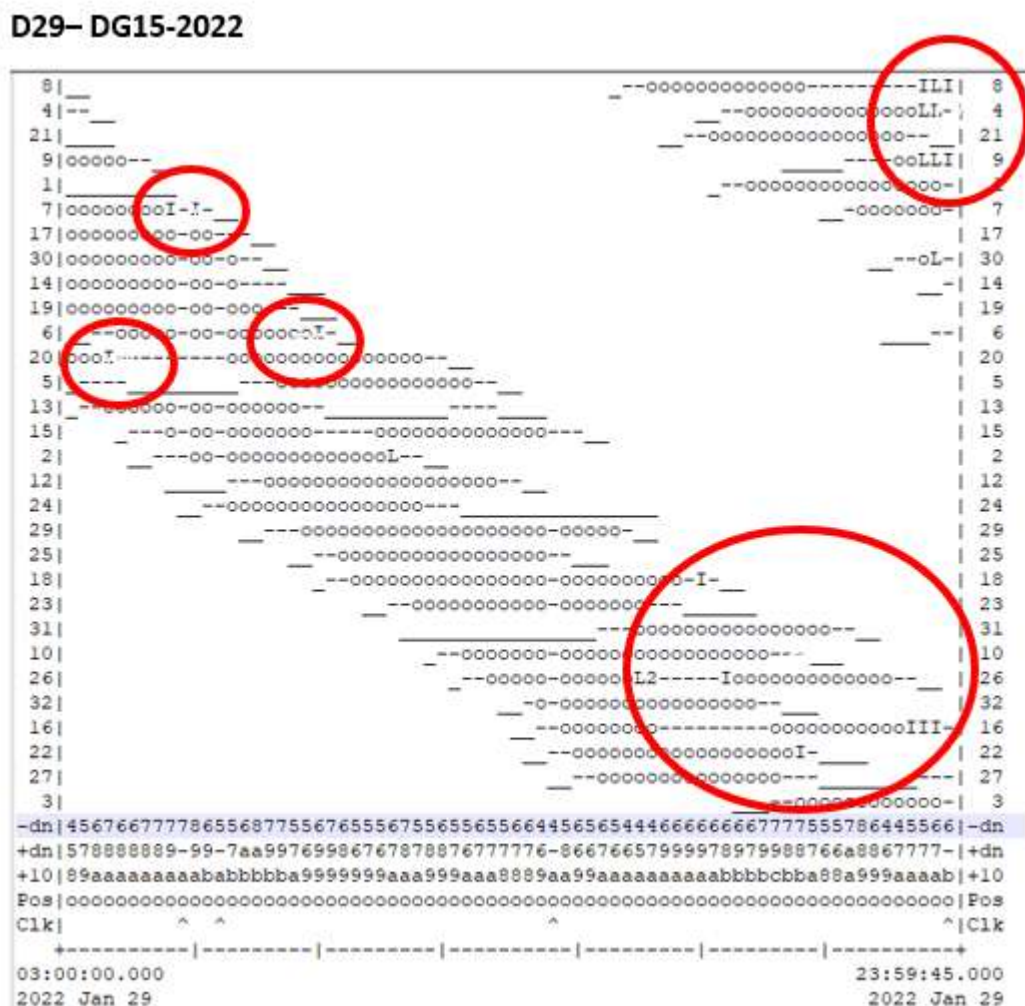
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 31 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 29/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 32 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 29/01/2022.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.9 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG15) em 29/06/2021 e 29/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG15 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.6. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (82,7%) da aquela obtida no ano de 2021. Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 1,83cm.

Tabela 6. 6 – Resultados dos processamentos dia 29

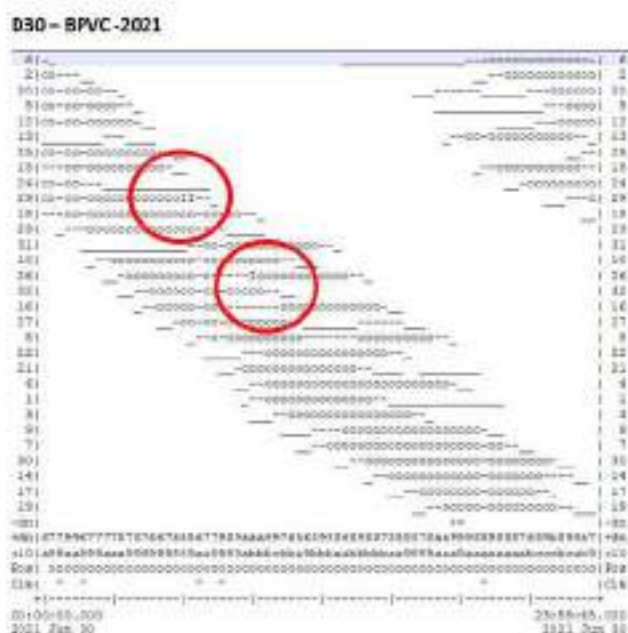
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,7%	Fixa 82,7%
Número de satélites	05	07
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 26,90097"	Lat. = -9° 37' 26,90145"
	Long. = -35° 45' 06,20083"	Long. = -35° 45' 06,20112"
	Alt. Elipsoidal = -2,1284m	Alt. Elipsoidal = -2,1467 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	999,9	16

Fonte: equipe técnica do projeto (2023)

6.10 Análise da Presença de Efeitos Ionosféricos nos Dados Brutos das estações Base PVC e DG15 em 30/06/2021 e 30/01/2022

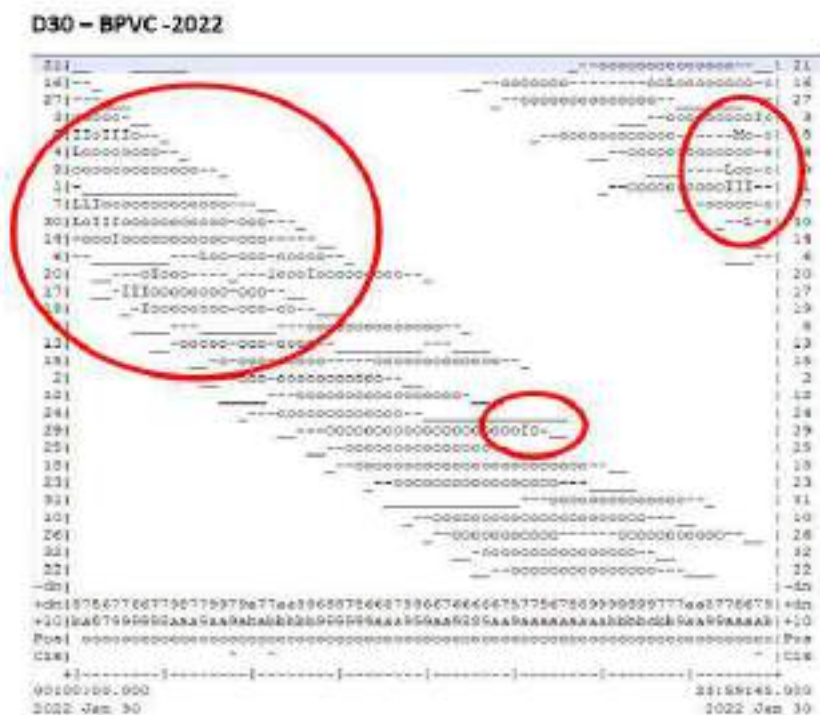
Por meio do programa TEQC foram avaliados os efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados nas estações Base PVC e DG15 nos dias 30/06/2021 e 30/01/2022. Nas Figuras 6.33 e 6.34 tem-se estes efeitos para os anos 2021 e 2022, respectivamente, para a estação Base PVC e nas figuras 6.35 e 6.36 para a estação DG15 nos anos 2021 e 2022, respectivamente. Conforme ocorreu nos demais dias analisados também se percebe um efeito de multicaminho no ano de 2022 superior ao ano de 2021.

Figura 6. 33 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 30/06/2021.



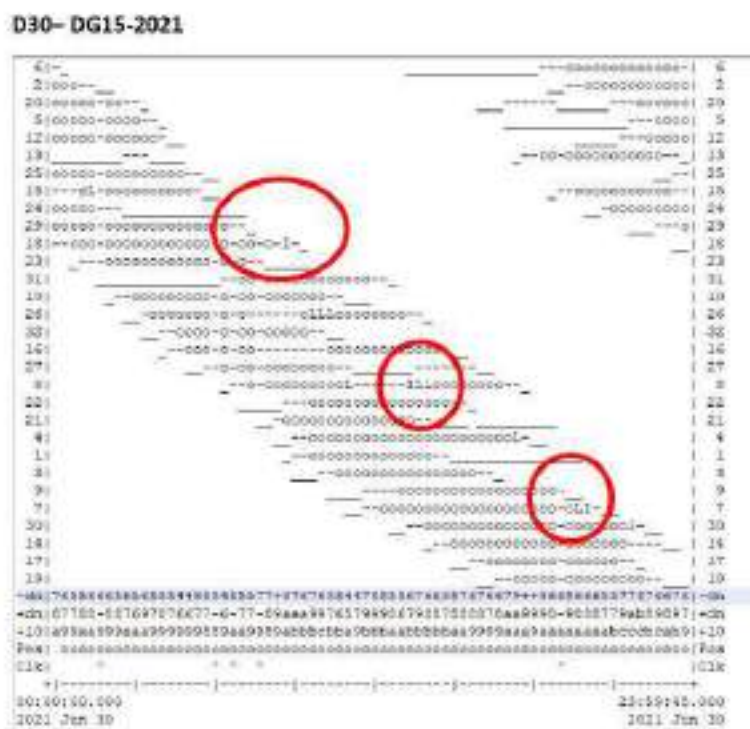
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 34 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação Base PVC em 30/01/2022.



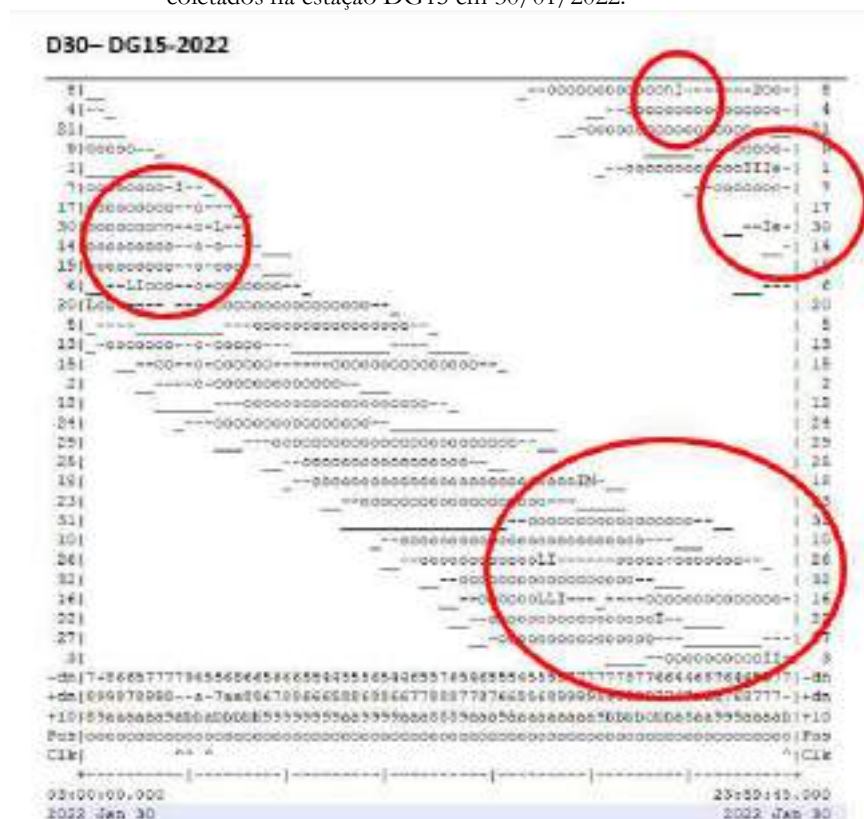
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 35 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 30/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 36 – Plot gerado pelo programa TEQC indicando a atuação de efeitos ionosféricos nos dados GPS coletados na estação DG15 em 30/01/2022.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.11 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG15) em 30/06/2021 e 30/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG15 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.7. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (82,7%) da aquela obtida no ano de 2021. Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 3,64cm.

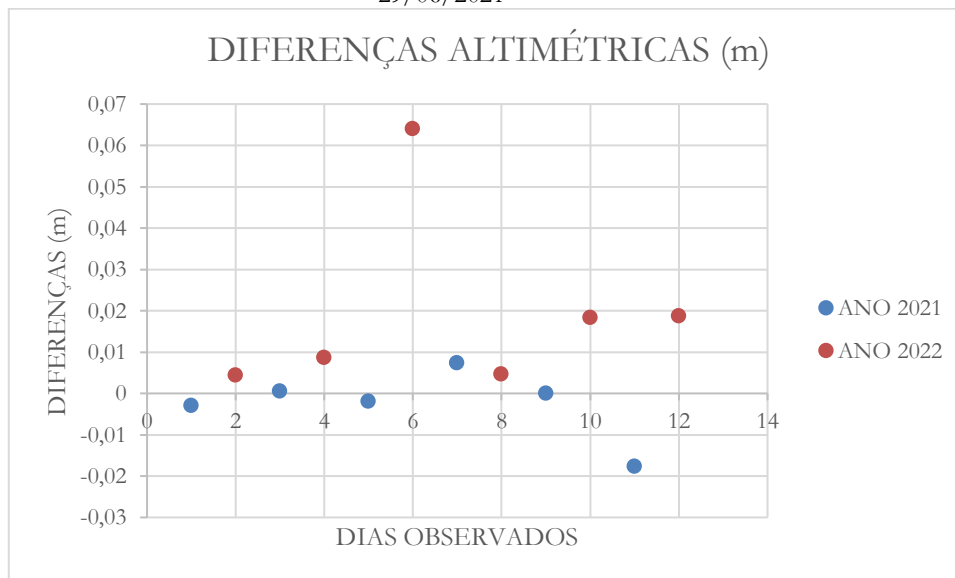
Tabela 6. 7 – Resultados dos Processamentos dia 30

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 98,1%	Fixa 82,7%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 26,90101"	Lat. = -9° 37' 26,90141"
	Long. = -35° 45' 06,20084"	Long. = -35° 45' 06,20101"
	Alt. Elipsoidal = -2,1107m	Alt. Elipsoidal = -2,1471 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0003
Ratio	999,9	170,7

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Adotando-se a solução do dia 29/06/2021 como a mais precisa e calculando-se as diferenças entre as demais altitudes elipsoidais com relação a altitude deste dia elaborou-se o gráfico indicado na Figura 6.37. Observa-se que as maiores diferenças estão no mês de janeiro de 2022 para os dias processados. Analisando as diferenças nos dias observados em 2021 tem-se valores entre 0,0005 m e 0,0177 m. Para os dias do ano 2022 tem-se diferenças entre 0,0044 m e 0,064 m.

Figura 6. 37 – Diferenças entre as Altitudes Elipsoidais da estação DG15 tendo como referência a obtida no Dia 29/06/2021



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

As figuras que apresentam os Efeitos Ionosféricos nos Dados Brutos das estações DG16 E DG18 nos 25/06/2021 a 30/06/2021 e nos dias 25/01/2022 a 30/01/2022 se encontram no Apêndice 03. Analisando as figuras percebe-se que existem mais efeitos nos dias analisados no ano de 2022 do que nos dias do ano de 2021, assim como ocorreu para a estação DG15.

6.12 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG16) em 30/06/2021 e 30/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG16 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.8. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (80,7%) da aquela obtida no ano de 2021 (98,4%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 2,84 cm.

Tabela 6. 8 – Resultados dos processamentos dia 30 Base PVC x DG16		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 98,4%	Fixa 80,7%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 30,93326"	Lat. = -9° 37' 30,93376"
	Long. = -35° 45' 18,68840"	Long. = -35° 45' 18,68865"
	Alt. Elipsoidal = -1,7244m	Alt. Elipsoidal = -1,7528 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0003
Ratio	999,9	175,9

Fonte: equipe técnica do projeto (2023)

6.13 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG16) em 29/06/2021 e 29/01/2022

Na Tabela 6.9 observa-se os resultados de processamentos dos dados coletados pelas estações Base PVC e DG16 para os dias indicados. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (84,0%) da aquela obtida no ano de 2021 (99,8%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0126m.

Tabela 6. 9 – Resultados dos Processamentos dia 29 Base PVC x DG16

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,8%	Fixa 84,0%
Número de satélites	05	07
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 30,93321"	Lat. = -9° 37' 30,93371"
	Long. = -35° 45' 18,68839"	Long. = -35° 45' 18,68867"
	Alt. Elipsoidal = -1,7422m	Alt. Elipsoidal = -1,7548 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	999,9	19,2

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.14 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG16) em 28/06/2021 e 28/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG16 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.10. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (76,9%) da aquela obtida no ano de 2021 (99,5%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0102cm.

Tabela 6. 10 – Resultados dos Processamentos dia 28 Base PVC x DG16

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,5%	Fixa 76,9%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 30,93316"	Lat. = -9° 37' 30,93363"
	Long. = -35° 45' 18,68845"	Long. = -35° 45' 18,68858" alt.
	Alt. Elipsoidal = -1,7496m	Ellipsoidal = -1,7394 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0003
Ratio	999,9	100,7

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.15 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG16) em 27/06/2021 e 27/01/2022

Na Tabela 6.11 observa-se os resultados de processamentos dos dados coletados pelas estações Base PVC e DG16 para os dias indicados. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (90,1%) do que aquela obtida no ano de 2021 (99,8%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0485 cm.

Tabela 6. 11 – Resultados dos processamentos dia 27 Base PVC x DG16		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,8%	Fixa 90,1%
Número de satélites	05	07
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 30,93330"	Lat. = -9° 37' 30,93219"
	Long. = -35° 45' 18,68837"	Long. = -35° 45' 18,68841"
	Alt. Elipsoidal = -1,7398m	Alt. Elipsoidal = -1,7883 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0016
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0011
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0039
Ratio	999,9	3,0

Fonte: equipe técnica do projeto (2023)

6.16 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG16) em 26/06/2021 e 26/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG16 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.12. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (92,8%) do que aquela obtida no ano de 2021 (98,4%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0301cm.

Tabela 6. 12 – Resultados dos Processamentos dia 26 Base PVC x DG16

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 98,4%	Fixa 92,8%
Número de satélites	05	07
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 30,93327"	Lat. = -9° 37' 30,93320"
	Long. = -35° 45' 18,68823"	Long. = -35° 45' 18,68742"
	Alt. Elipsoidal = -1,7424m	Alt. Elipsoidal = -1,7123 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0014
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0012
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0033
Ratio	999,9	3,1

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.17 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG16) em 25/06/2021 e 25/01/2022

Na Tabela 6.13 observa-se os resultados de processamentos dos dados coletados pelas estações Base PVC e DG16 para os dias indicados. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (76,6%) da aquela obtida no ano de 2021 (91,9%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,019mm.

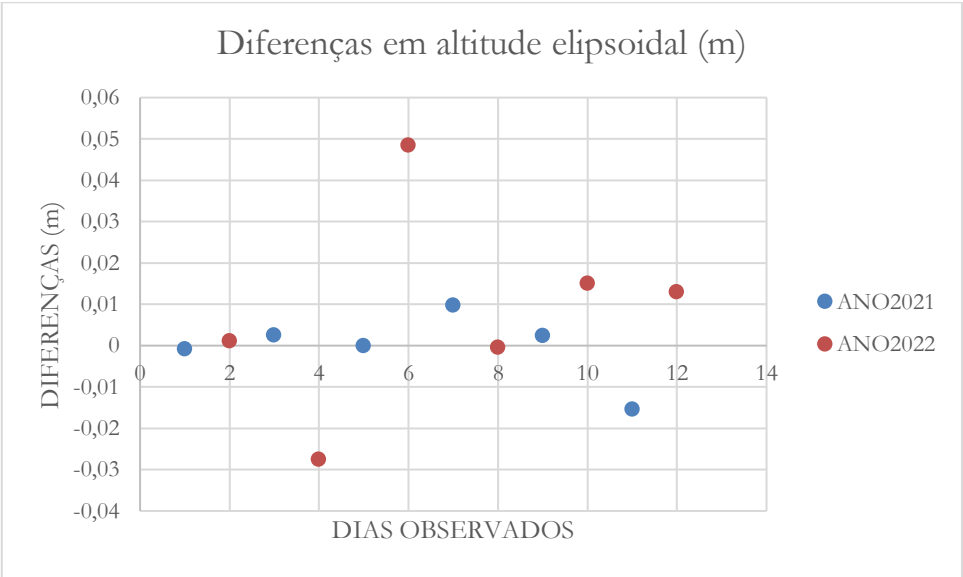
Tabela 6. 13 – Resultados dos Processamentos dia 25 Base PVC x DG16

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 91,9%	Fixa 76,6%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 30,93331"	Lat. = -9° 37' 30,93362"
	Long. = -35° 45' 18,68850"	Long. = -35° 45' 18,68861"
	Alt. Elipsoidal = -1,7390m	Alt. Elipsoidal = -1,7409 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	523,6	3,0

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Adotando-se a solução do dia 27/06/2021 como a mais precisa e calculando-se as diferenças entre as demais altitudes elipsoidais com relação a altitude deste dia elaborou-se o gráfico indicado na Figura 6.38. Observa-se que as maiores diferenças estão no mês de janeiro de 2022 para os dias processados. Analisando as diferenças nos dias observados em 2021 tem-se valores entre 0,0008 m e 0,0154 m. Para os dias do ano 2022 tem-se diferenças entre 0,0004 m e 0,0485 m.

Figura 6. 38 – Diferenças entre as Altitudes Elipsoidais da estação DG16 tendo como referência a obtida no Dia 27/06/2021



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.18 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG18) em 30/06/20221 e 30/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG18 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.14. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (80,9%) da aquela obtida no ano de 2021 (98,4%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0267 cm.

Tabela 6. 14 – Resultados dos processamentos dia 30 Base PVC x DG18		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 98,4%	Fixa 80,9%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 24,84935"	Lat. = -9° 37' 24,84977"
	Long. = -35° 45' 23,47762"	Long. = -35° 45' 23,47779"
	Alt. Elipsoidal = -6,2219m	Alt. Elipsoidal = -6,2486 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0003
Ratio	999,9	231,6

Fonte: equipe técnica do projeto (2023)

6.20 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG18) em 29/06/20221 e 29/01/2022

Na Tabela 6.15 observa-se os resultados de processamentos dos dados coletados pelas estações Base PVC e DG18 para os dias indicados. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (83,8%) da aquela obtida no ano de 2021 (99,9%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,02663 cm.

Tabela 6. 15 – Resultados dos Processamentos dia 29 Base PVC x DG18		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,9%	Fixa 83,8%
Número de satélites	05	05
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 24,84931"	Lat. = -9° 37' 24,87611"
	Long. = -35° 45' 23,47762"	Long. = -35° 45' 23,53388"
	Alt. Elipsoidal = -6,2387m	Alt. Elipsoidal = -6,5050 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0006
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0012
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0015
Ratio	999,9	3,0

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.21 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG18) em 28/06/20221 e 28/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG18 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.16. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (77,0%) da aquela obtida no ano de 2021 (99,5%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0122cm.

Tabela 6. 16 – Resultados dos Processamentos dia 28 Base PVC x DG18

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,5%	Fixa 77,0%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 24,84927"	Lat. = -9° 37' 24,84967"
	Long. = -35° 45' 23,47768"	Long. = -35° 45' 23,47444"
	Alt. Elipsoidal = -6,2464m	Alt. Elipsoidal = -6,2342 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	999,9	100,6

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.22 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG18) em 27/06/2022 e 27/01/2022

Na Tabela 6.17 observa-se os resultados de processamentos dos dados coletados pelas estações Base PVC e DG18 para os dias indicados. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (87,4%) da aquela obtida no ano de 2021 (99,8%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0443 cm.

Tabela 6. 17 – Resultados dos Processamentos dia 27 Base PVC x DG18

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 99,8%	Fixa 87,4%
Número de satélites	05	07
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 24,84940"	Lat. = -9° 37' 24,84841"
	Long. = -35° 45' 23,47761"	Long. = -35° 45' 23,47765"
	Alt. Elipsoidal = -6,2365m	Alt. Elipsoidal = -6,2808 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0015
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0011
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0037
Ratio	999,9	3,7

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.23 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG18) em 26/06/20221 e 26/01/2022

Processando os dados coletados pelas estações Base PVC e DG18 para os dias indicados obteve-se os resultados de processamentos indicados na Tabela 6.18. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (86,3%) da aquela obtida no ano de 2021 (98,4%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,091mm.

Tabela 6. 18 – Resultados dos Processamentos dia 26 Base PVC x DG18		
	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 98,4%	Fixa 86,3%
Número de satélites	05	05
	Lat. = -9° 37' 24,84937"	Lat. = -9° 37' 24,84967"
Coordenadas geodésicas	Long. = -35° 45' 23,47748"	Long. = -35° 45' 23,47771"
	Alt. Elipsoidal = -6,2387m	Alt. Elipsoidal = -6,2296 m
	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
Precisão interna	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	999,9	7,8

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

6.24 Análise da Influência de Efeitos Ionosféricos na Solução das Coordenadas (Base PVC x DG18) em 25/06/20221 e 25/01/2022

Na Tabela 6.19 observa-se os resultados de processamentos dos dados coletados pelas estações Base PVC e DG18 para os dias indicados. Verifica-se que no ano de 2022, quando se teve uma atividade maior da ionosfera, a percentagem de ambiguidades inteiras determinadas foi menor (78,2%) do que aquela obtida no ano de 2021 (91,9%). Analisando-se apenas a diferença de altitude elipsoidal percebe-se uma diferença em módulo de 0,0002mm.

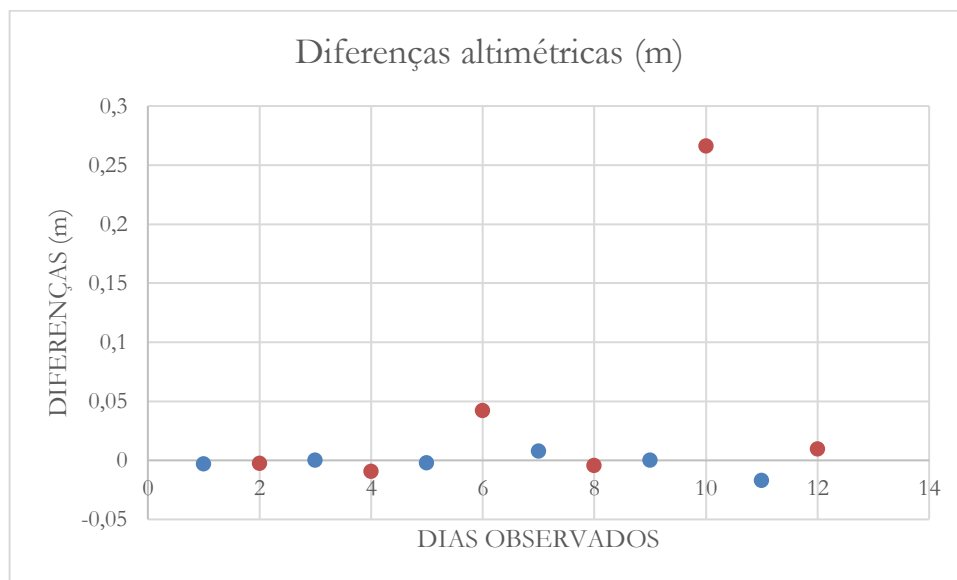
Tabela 6. 19 – Resultados dos Processamentos dia 25 Base PVC x DG18

	Junho/2021	Janeiro/2022
Solução das ambiguidades	Fixa 91,9%	Fixa 78,2%
Número de satélites	05	06
Coordenadas geodésicas	Lat. = -9° 37' 24,84941"	Lat. = -9° 37' 24,84961"
	Long. = -35° 45' 23,47773"	Long. = -35° 45' 23,47777"
	Alt. Elipsoidal = -6,2359m	Alt. Elipsoidal = -6,2361 m
Precisão interna	Sdn (m) = 0,0001	Sdn (m) = 0,0001
	Sde (m) = 0,0001	Sde (m) = 0,0001
	Sdu (m) = 0,0002	Sdu (m) = 0,0002
Ratio	743,10	3,9

Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Adotando-se a solução do dia 29/06/2021 como a mais precisa e calculando-se as diferenças entre as demais altitudes elipsoidais com relação a altitude deste dia elaborou-se o gráfico indicado na Figura 6.39. Observa-se que as maiores diferenças estão no mês de janeiro de 2022 para os dias processados. Analisando as diferenças nos dias observados em 2021 tem-se valores entre 0,0000m e 0,0168 m. Para os dias do ano 2022 tem-se diferenças entre 0,0026m e 0,26635 m.

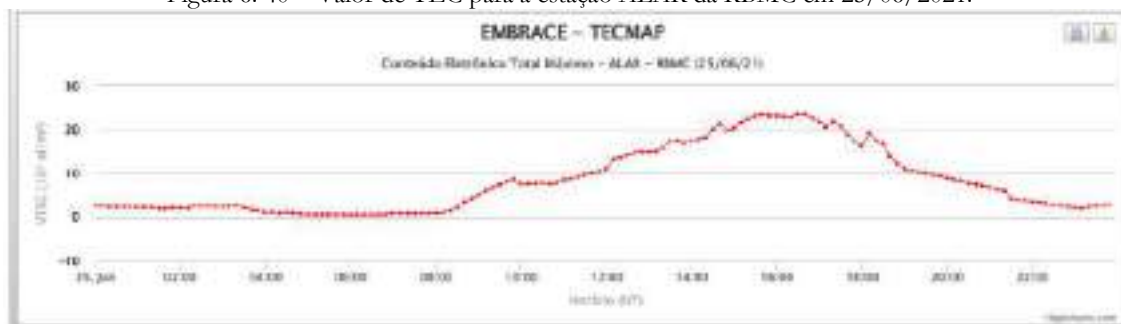
Figura 6. 39 - Diferenças entre as Altitudes Elipsoidais da estação DG18 tendo como referência a obtida no Dia 29/06/2021



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

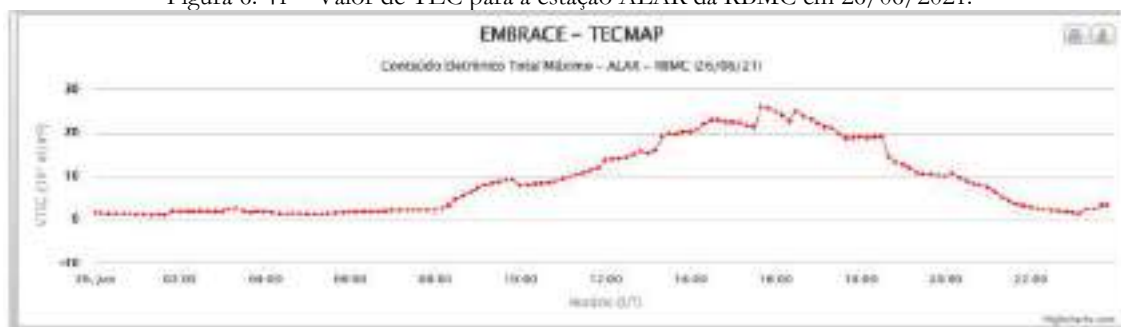
Nas figuras 6.40 a 6.45 podem ser visualizados os valores de TEC para a estação da RBMC ALAR de 25/06/2021 a 30/06/2021 obtidos em <https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/tec-map-grafico/>.

Figura 6. 40 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 25/06/2021.



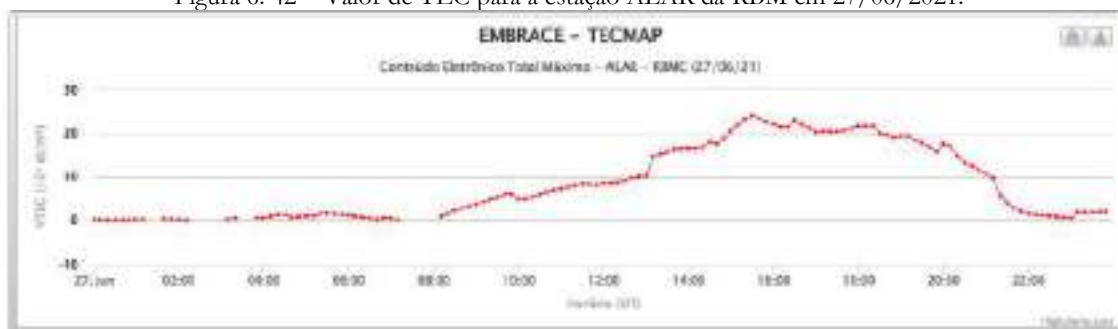
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 41 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 26/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 42 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBM em 27/06/2021.



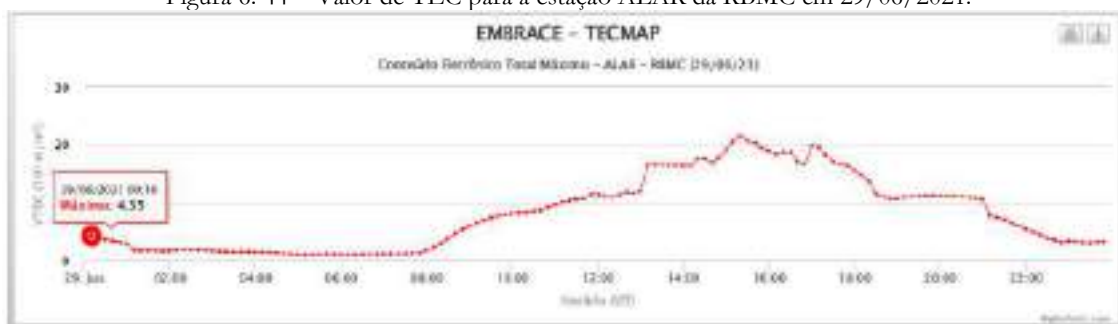
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 43 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 28/06/2021.



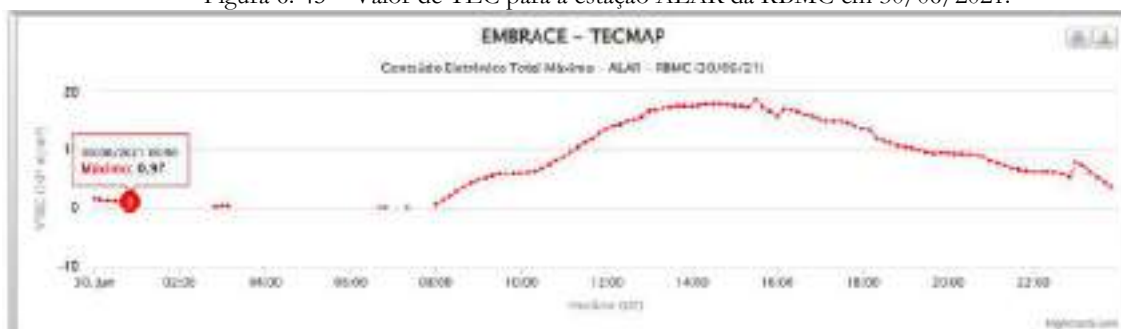
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 44 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 29/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

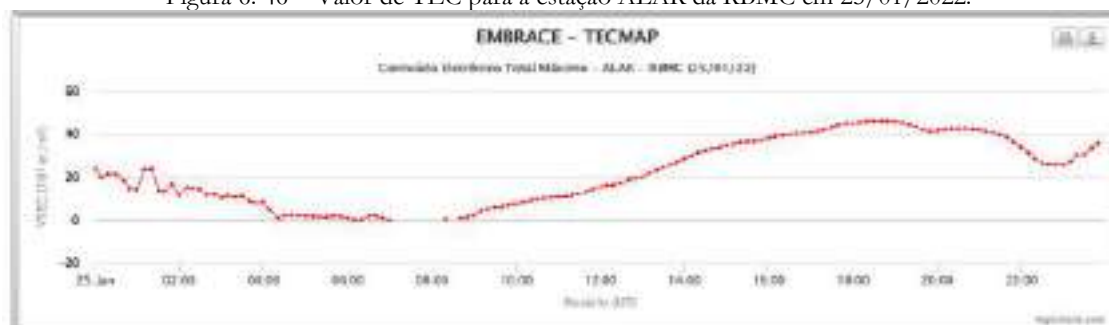
Figura 6. 45 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 30/06/2021.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

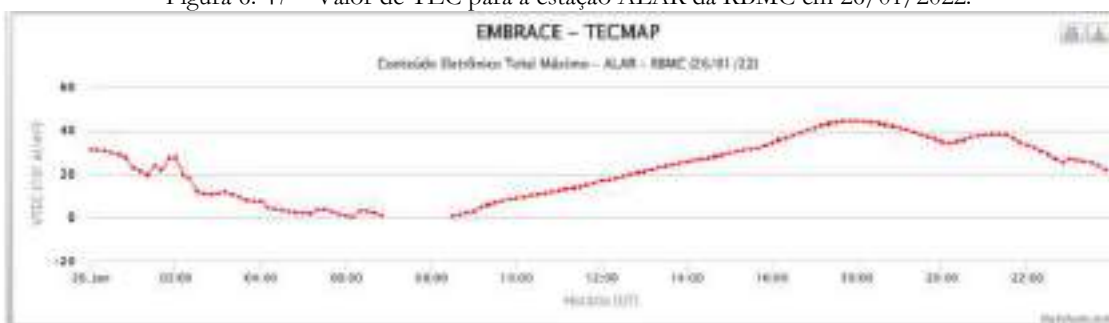
Nas figuras 6.46 a 6.51 podem ser visualizados os valores de TEC para a estação da RBMC ALAR de 25/01/2022 a 30/01/2022 obtidos em <https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/tec-map-grafico/>.

Figura 6. 46 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 25/01/2022.



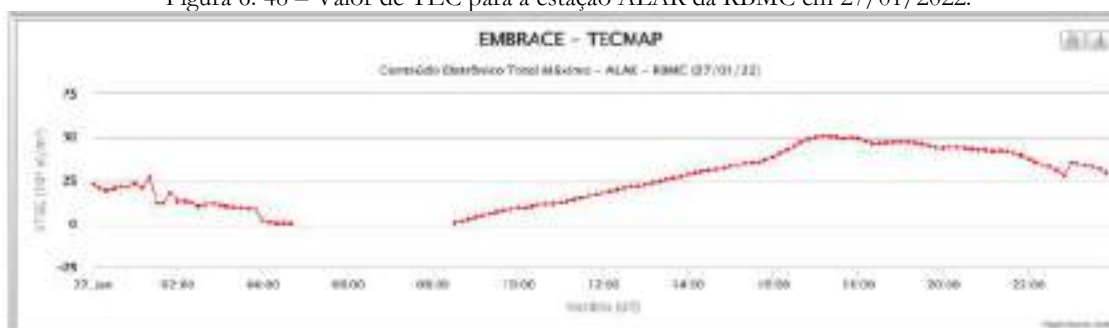
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 47 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 26/01/2022.



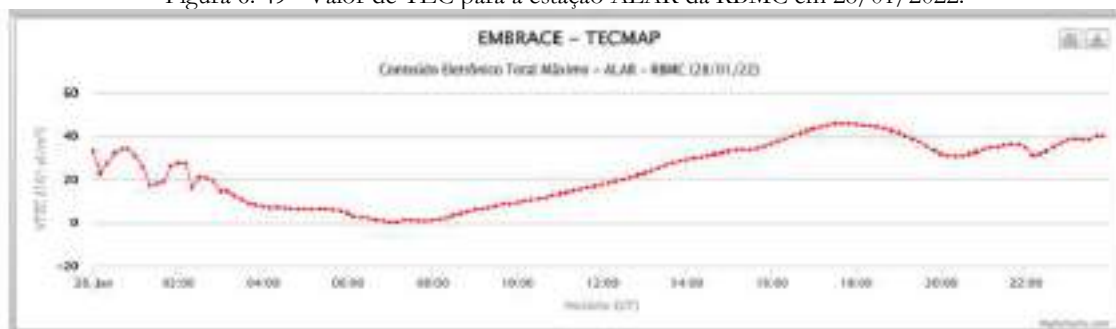
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 48 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 27/01/2022.



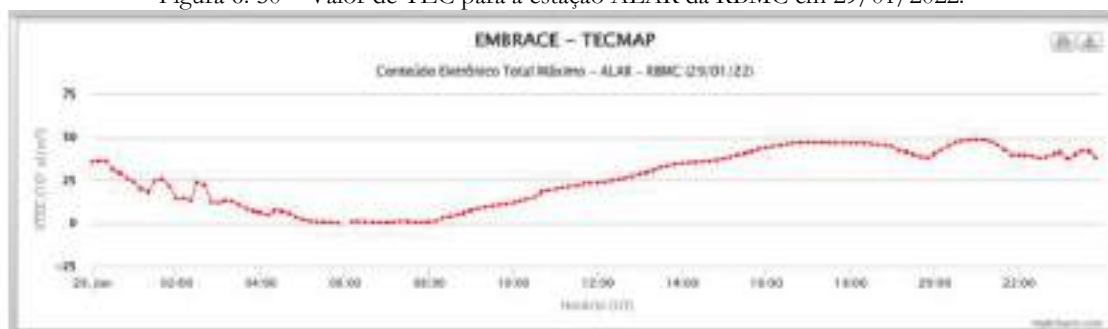
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 49– Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 28/01/2022.



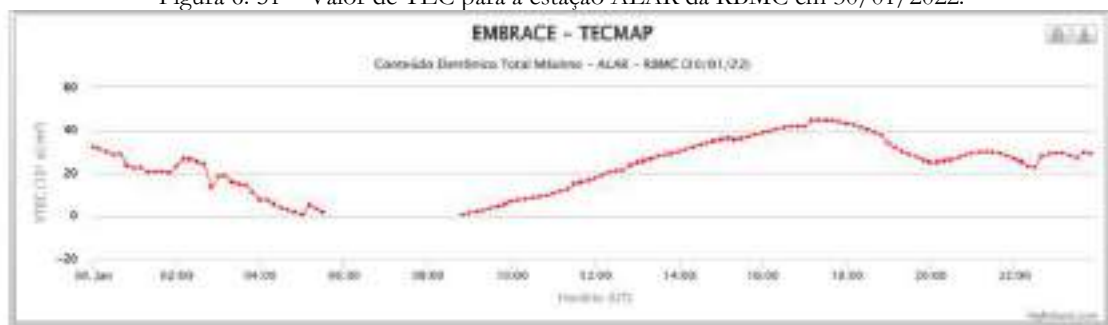
Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 50 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 29/01/2022.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Figura 6. 51 – Valor de TEC para a estação ALAR da RBMC em 30/01/2022.



Fonte: Equipe técnica do Projeto (2023)

Pelas figuras visualizadas anteriormente (Fig. 6.40 a Fig. 6.45) percebe-se que os valores de TEC no Ano de 2022 são superiores àqueles obtidos no ano de 2021 para a estação ALAR da RBMC que se situa na área em estudo. Estas figuras mostram o aumento dos efeitos ionosféricos em janeiro do ano de 2022 quando comparados com junho do ano de 2021.

Capítulo 7: Análise da Rede Processada, Velocidades e Cargas

Esta análise baseia-se no emprego de dados coletados por 6 estações pertencentes à rede SIRGAS-CON e que formam parte da densificação da última solução do Sistema de Referência Terrestre Internacional, ITRS (ITRF 2014). Estas são: BRFT, SAVO, SALU, CHPI, BRAZ e UFPR (Figura 7.1) as quais foram processadas junto com as estações Base UCS, Base Exército, Base PVC, DG15, DG16 e DG18 localizadas na área em estudo (Figura 7.2). O período a ser avaliado corresponde a cerca de 1 ano e meio, entre janeiro de 2021 e junho de 2022. Foram processados dados de um dia da semana em particular (quartas-feiras) visando minimizar o efeito dos sinais periódicos presentes (marés terrestres, marés oceânicas) (Amagua et al 2019). Na Tabela 7.1 apresentam-se as diferentes estações, o código, denominação e localização de cada uma delas.

Figura 7. 1 – Estações Bases BRFT, SAVO, SALU, CHPI, BRAZ e UFPR



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 2 – Estações a serem analisadas Base UCS, Base Exército, Base PVC, DG15, DG16 e DG18.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Tabela 7. 1– Estações GNSS da Rede Geodésica em Estudo

Número	Código	Nome	Localização
01	93793	BRFT	Fortaleza
02	93235	SAVO	Salvador
03	93950	SALU	São Luiz
04	93920	CHPI	Cachoeira Paulista
05	91200	BRAZ	Brasília
06	93970	UFPR	Curitiba
07	---	Base	Maceió
		Exército	
08	---	BASC	Maceió
09	---	Base PVC	Maceió
10	---	DG15	Maceió
11	---	DG16	Maceió
12	---	DG18	Maceió

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

O processamento dos dados coletados pelas estações foi efetuado utilizando o programa científico GAMIT/GLOBK, versão 10.71 (Herring et al 2018) desenvolvido em conjunto pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), o Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) e o Scripps Institution of Oceanography (SIO). Através deste programa foi estimado o conjunto de coordenadas e velocidades de cada uma das estações, além de parâmetros adicionais como órbitas de satélites e parâmetros de orientação da Terra (Herring, et al., 2010).

Inicialmente, tem-se a fase de obtenção dos dados. Sendo ela composta pelos rinex das estações da rede empregada e das estações a serem analisadas (Base UCS, Base Exército, Base PVC, DG15, DG16 e DG18). Foram ainda incorporados os parâmetros atmosféricos, modelos de carga oceânica, GPS-UTC, tabelas de nutação (IERS/IGS) e demais parâmetros globais em conformidade com o estabelecido na IERS Conventions 2010. As coordenadas de entrada no processamento devem ter a priori uma precisão melhor que 5 cm com o intuito de conseguir a convergência da solução na etapa de ajustamento. Em geral, estas podem ser obtidas pelo serviço PPP online do IBGE ou por outro programa que efetue processamento no modo PPP.

A segunda fase consiste no processamento dos dados. Nesta fase está sendo empregado um módulo do GAMIT que possibilita a obtenção das posições diárias estimadas das estações. Posteriormente, por meio do módulo GLOBK gera-se a estimativa das posições e velocidades das estações, gerando as séries temporais (E,N,U) que em conjunto com os dados das campanhas anteriores possibilitam o início da terceira fase deste processamento.

Esta terceira fase possibilita as análises da consistência interna e externa das soluções, além da apreciação individual das próprias séries de coordenadas.

No pós-processamento relativo foram utilizadas seis estações de monitoramento contínuo (BRFT, SAVO, SALU, CHPI, BRAZ e UFPR), pertencentes à RBMC (Tabela 6.2) e a rede SIRGAS-CON, de modo a adequar as posições dos pontos a uma realização do ITRF (ITRF2014). Tudo isso faz parte da recente solução multianual SIRGAS (ou seja, SIR17P01), que está alinhada ao sistema IGS14, época 2015.0 (Sánchez e Drewes 2020). Para uma estabilização das soluções individuais foi aplicado uma restrição generalizada (em inglês: loosely constrained solutions) minimizando seus ajustes ao estimar uma translação e rotação geral da rede (parâmetros de Helmert) em um processo iterativo (Amagua et al. ,2022).

As estações de monitoramento contínuo utilizadas no processamento possuem uma distância aproximada entre 580 e 2800 km (Tabela 7.2) em relação à área em estudo, tomando como base a estação Base Exército. As altitudes elipsoidais estão entre 18 e 1.106 m, em SALU e BRAZ, respectivamente.

Tabela 7. 2 – Distância Aproximada entre as estações da RBMC e a Área em Estudo e as Altitudes Elipsoidais

Estação	Cidade/Estado	Distância Aproximada em Relação à Área de estudo (km)	Altitude Elipsoidal (m)
BRFT	Eusébio/Fortaleza	1400	21,681
SAVO	Salvador/Bahia	580	76,320
SALU	São Luís/Maranhão	1500	18,984
CHPI	Cachoeira Paulista/São Paulo	1900	617,415
BRAZ	Brasília/Distrito Federal	1400	1.106,020
UFPR	Curitiba/Paraná	2800	925,807

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

No pós-processamento relativo utilizando o GAMIT-GLOBK, as soluções D-LCS (*Daily Loosely Constrained Solutions*) foram calculadas utilizando estratégia de “linha da base”, na qual os parâmetros de órbita foram considerados fixos e apenas as coordenadas do local, os atrasos atmosféricos zenitais (ZTD) e os parâmetros de orientação da Terra (EOP) foram resolvidos utilizando as órbitas finais do IGS. No processamento foram considerados diversos modelos de acordo com a convenção IERS (*International Earth Rotation Systems*) 2010, com o intuito de modelar e/ou minimizar as diferentes fontes de erros presentes no posicionamento. A Tabela 7.3 apresenta alguns dos modelos utilizados no processamento.

Tabela 7. 3 – Modelos da Convenção IERS 2010 Utilizados no Processamento dos Dados

Fenômeno	Modelo Convenção IERS 2010
Movimento do Polo	Modelo PMSDNUT2
Precessão e Nutação do CIP (Celestial Intermediate Pole)	IAU2006/2000PN
Carga de Maré Oceânica	FES2004
Carga de Maré Atmosférica Causada pelos constituintes semi diurnos S1 e S2	Modelo de Ray e Ponte (2003)
Deslocamento do centro de fase da antena GNSS	BCAL/LAGEH/UFPR

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Outros efeitos, como efeitos ionosféricos, efeitos troposféricos e efeitos de não carregamento também foram modelados de acordo com a IERS 2010.

A consistência das soluções foi avaliada por meio de valores de WRMS (Weighted Root Mean Square), também conhecido como repetibilidade das soluções. O WRMS representa o erro médio quadrático ponderado das operações realizadas em campo que reflete os dados afetados por erros orbitais, erros de atraso atmosféricos, efeitos de multicaminho, entre outros (LI, 2021). Conforme

indicado por Sánchez et al. (2015) os níveis estabelecidos para as sessões de posicionamento GPS devem estar de 2 a 4mm para coordenadas horizontais e de 10 a 15 mm para as coordenadas verticais. Contudo, estes valores dependem muito do período analisado e do número de estações envolvidas. Neste estudo, estes valores podem ser maiores, ou seja, estarem entre 8 e 12 mm para coordenadas horizontais e entre 20 e 30 mm para as coordenadas verticais.

Na Tabela 7.4 são apresentadas as incertezas finais obtidas para cada coordenada local topocêntrica para cada estação, os quais possibilitam uma análise da confiabilidade do processamento.

Tabela 7. 4 – Estatísticas da Consistência das Soluções Finais.

Estação	WRMS E (mm)	WRMS N (mm)	WRMS U (mm)
Base	8,0	10,3	23,4
Exército			
BASC	8,1	10,1	20,5
Base PVC	8,4	10,4	22,9
DG15	8,8	8,8	21,4
DG16	8,5	9,7	19,5
DG18	9,2	10,9	19,2

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Para analisar os deslocamentos locais, torna-se necessário representar as séries de coordenadas como coordenadas locais topocêntricas transformando do sistema geocêntrico para o sistema local topocêntrico (E, N, U), onde o eixo “E” aponta para a direção leste e é perpendicular ao eixo “N”, ambos contidos no plano topocêntrico, e o eixo “U” coincide com a normal ao elipsóide que passa pelo vértice escolhido como a origem do sistema (SIMÕES et. al, 2017). Portanto, para cada ponto estudado as coordenadas foram transformadas de coordenadas cartesianas tridimensionais (X_i, Y_i, Z_i) em coordenadas locais topocêntricas (E_i, N_i, U_i) da seguinte forma (NADAL, C.):

$$\begin{bmatrix} E_i \\ N_i \\ U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\varphi_0 & \cos\varphi_0 \\ 0 & -\cos\varphi_0 & \sin\varphi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ -\cos\lambda_0 & -\sin\lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix}$$

Sendo:

E_i, N_i, U_i : coordenadas locais topocêntricas dos vértices i ;

X_i, Y_i, Z_i : coordenadas cartesianas dos vértices i ;

φ_0, λ_0 : latitude e longitude da origem do sistema; e

X_0, Y_0, Z_0 : coordenadas cartesianas ortogonais da origem do sistema.

Visando avaliar a consistência das séries temporais, ou seja, avaliar as discontinuidades e perturbações foram analisados os valores de post-RMS. Estes valores indicam se os resultados obtidos representam uma estabilização ruim do referencial e/ou perturbações irregulares nos dados ou se, de fato, trata-se de algum processo físico como resultado de uma dinâmica local isolada. Na Tabela 7.5 estão indicados os valores de Pre-RMS e Post-RMS obtidos para o ano de 2021, o ano de 2022 e para o conjunto total de dados.

Tabela 7. 5 – Estatísticas de Estabilização do Sistema de Posição por Ano e para o Conjunto Todo

Ano	Estações Utilizadas	Pre-RMS (mm)	Post-RMS (mm)
2021	6	26,70	2,71
2022	6	23,30	1,46
2021/2022	5 (exceto BRFT)	27,10	2,93

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Foi utilizado um mínimo de cinco estações em todas as iterações. Os valores do Post RMS de cada uma das soluções anuais e multianuais se encontra dentro do intervalo esperado, indicando a confiabilidade do referencial de cada solução, permitindo assumir que as discontinuidades na série temporal e perturbações irregulares podem se tratar de eventos físicos (por exemplo: processos de deslizamento, eventos sismológicos ou rastejo). Vale ressaltar que o nível esperado que garante a consistência do processo de estabilização para um ajuste local é de aproximadamente 6 a 10 mm para uma série com 1 ano de observação (Amagua et al., 2022). Segundo as normas do SIRGAS os valores de Post-RMS devem ser de 8 a 10 vezes menor que os valores de Pre-RMS.

A análise das séries pode indicar diversas perturbações, conforme citado anteriormente. Para esclarecer este fator apresenta-se na sequência alguns exemplos indicados em Herring et al (2018). O autor mostra que a instalação de pilares metálicos nas imediações de uma estação de observação (Figura 7.3) pode provocar modificações na série de dados.

Figura 7. 3 – Exemplo da Influência na série devido a instalação de objetos nas imediações da estação de observação.



Figure 2. Station EOCG at the Santa Barbara Emergency Operations Center. Seismic vault is located in the foreground. Photo courtesy of Dan Deleman, USGS. Photo was taken sometime between July and December 2014.



Figure 3. Subsidence at EOCG. Note the seismic vault has clearly subsided, and the yellow posts have been recently installed. Photo courtesy of Dan Deleman, USGS. Photo taken on January 6, 2015.

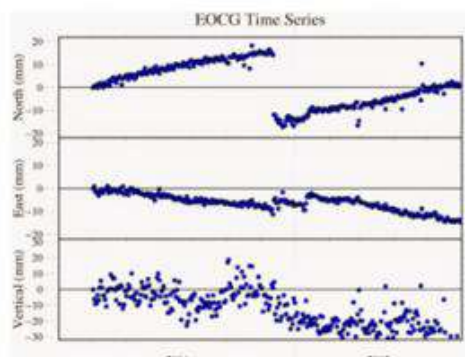
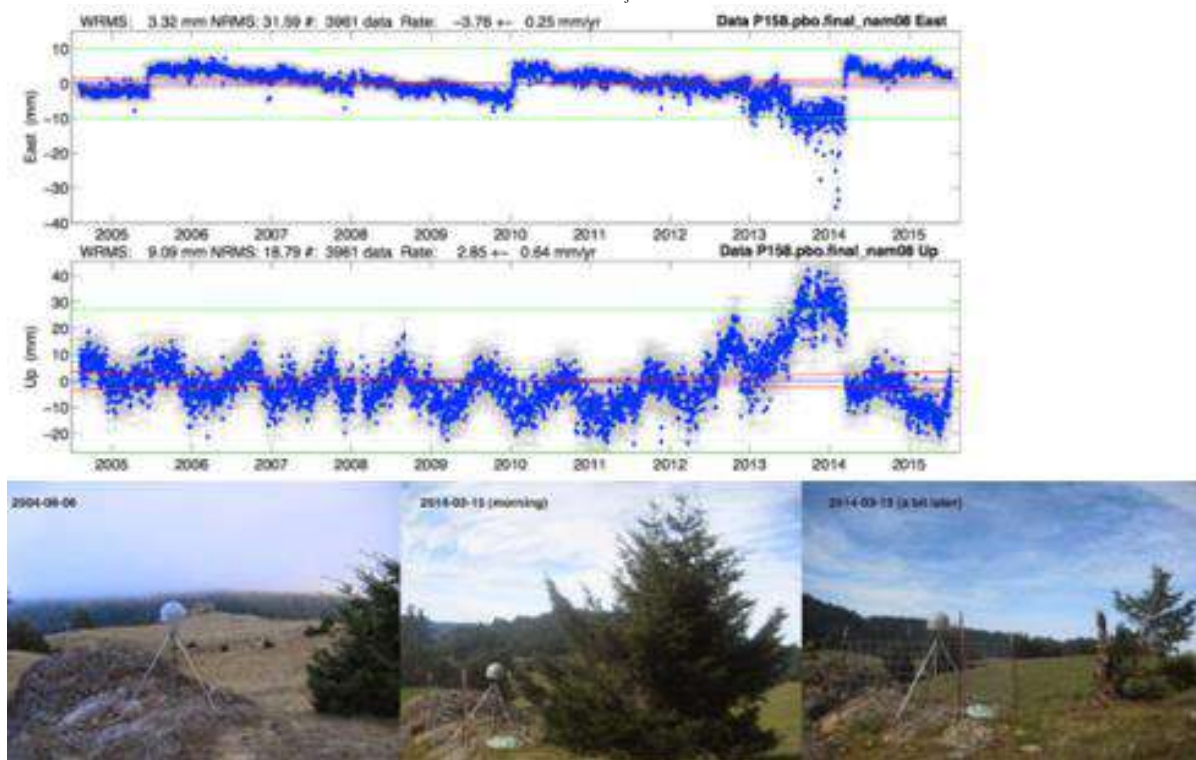


Figure 1. Original EOCG time series, in the North America-fixed (NAM08) reference frame.

Fonte: Herring et al (2018)

Na Figura 7.4 o referido autor indica que o crescimento de vegetação nas imediações de uma estação também poderá causar alterações na série, neste caso houve interferências nas coordenadas E e U.

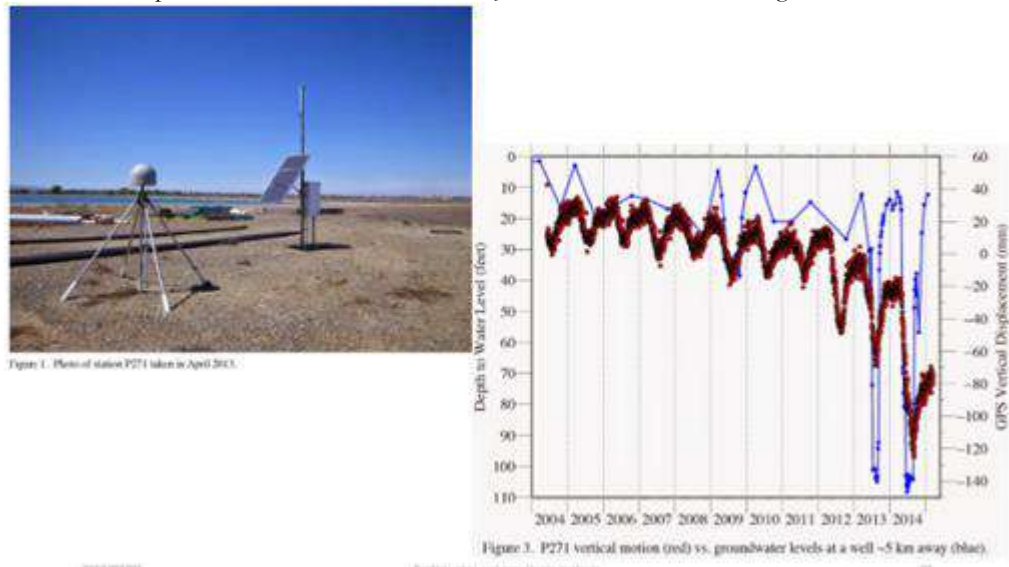
Figura 7. 4 – Exemplo da Influência na série da estação de observação em face do crescimento da vegetação nas imediações.



Fonte: Herring et al (2018)

Herring et al (2018) indica ainda que a série pode ser afetada pela retirada de água subterrânea. Na Figura 7.5 a estação analisada é fortemente afetada por esta retirada de água apresentando um sinal periódico.

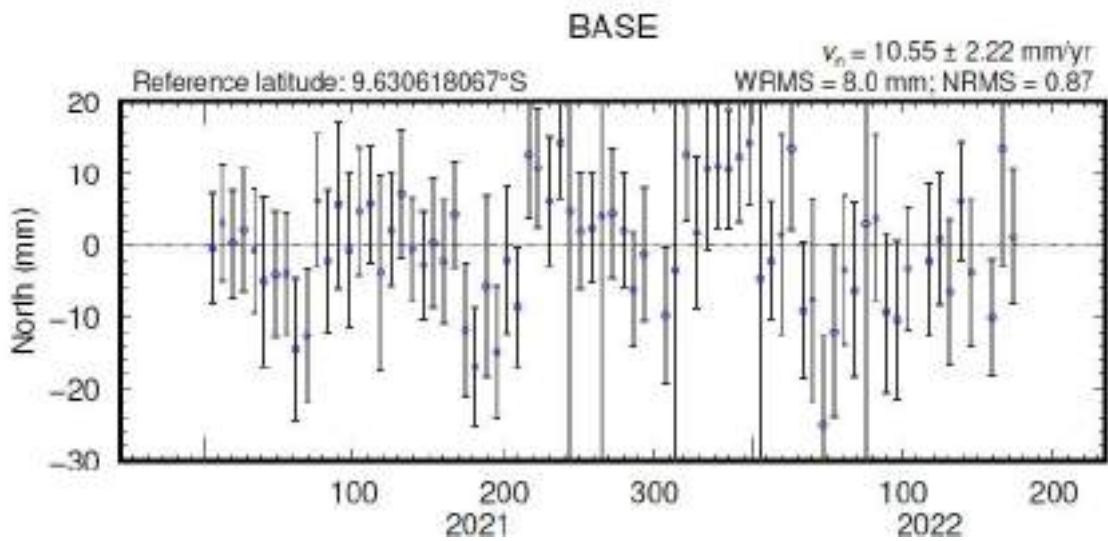
Figura 7. 5 – Exemplo da Influência na série da estação em face da retirada de água subterrânea.



Fonte: Herring et al (2018)

Na sequência apresenta-se a série para duas estações, Base Exército e DG18. As demais encontram-se no Apêndice 04. Na Figura 7.6 percebe-se a variação da coordenada local topocêntrica N das soluções diárias obtidas com o processamento dos dados apresentando um WRMS igual a 8 mm.

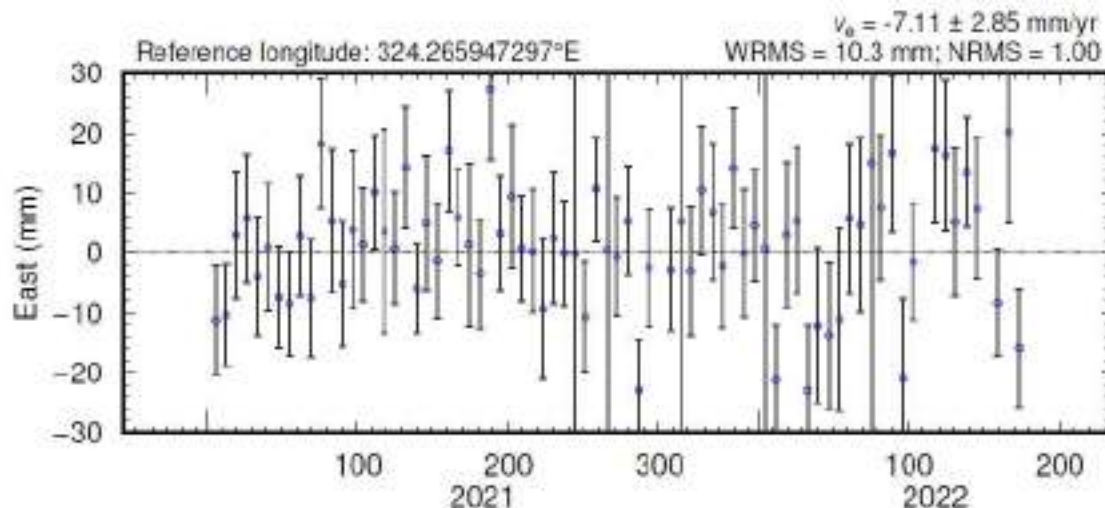
Figura 7. 6 – Variação da Coordenada Local Topocêntrica N para as soluções diárias para a estação Base Exército.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

A coordenada local topocêntrica E (Figura 7.7) apresentou um WRMS de 10,3 mm.

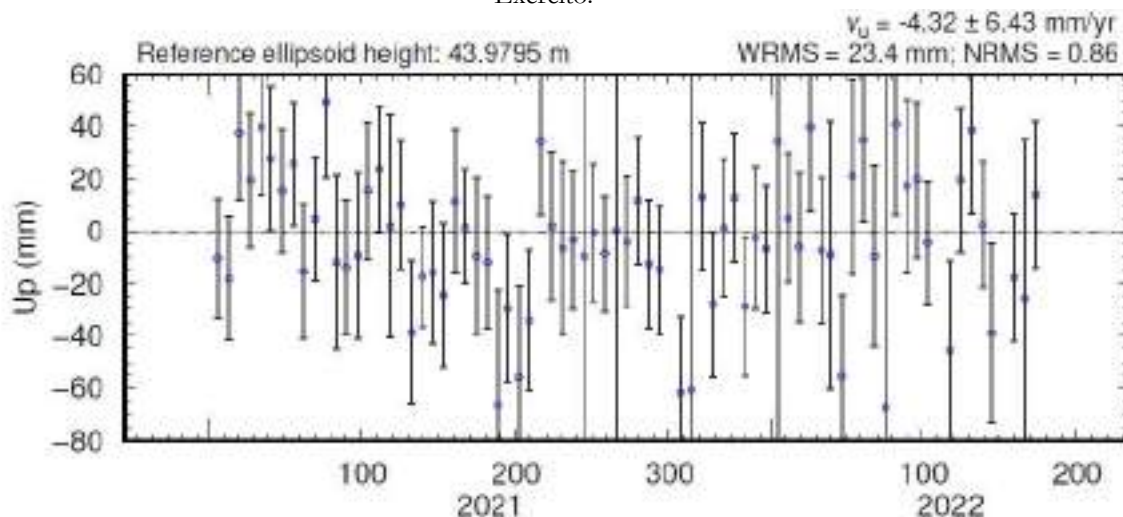
Figura 7. 7 – Variação da Coordenada Local Topocêntrica E para as soluções diárias para a estação Base Exército.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na figura 7.8 visualiza-se a variação da coordenada local topocêntrica U tendo um WRMS de 23,4 mm. Percebe-se que há variação significativa o que indica que existe um processo interno correlacionado. Também se sabe que quando a velocidade da estação apresenta um comportamento senoidal existem cargas atuantes.

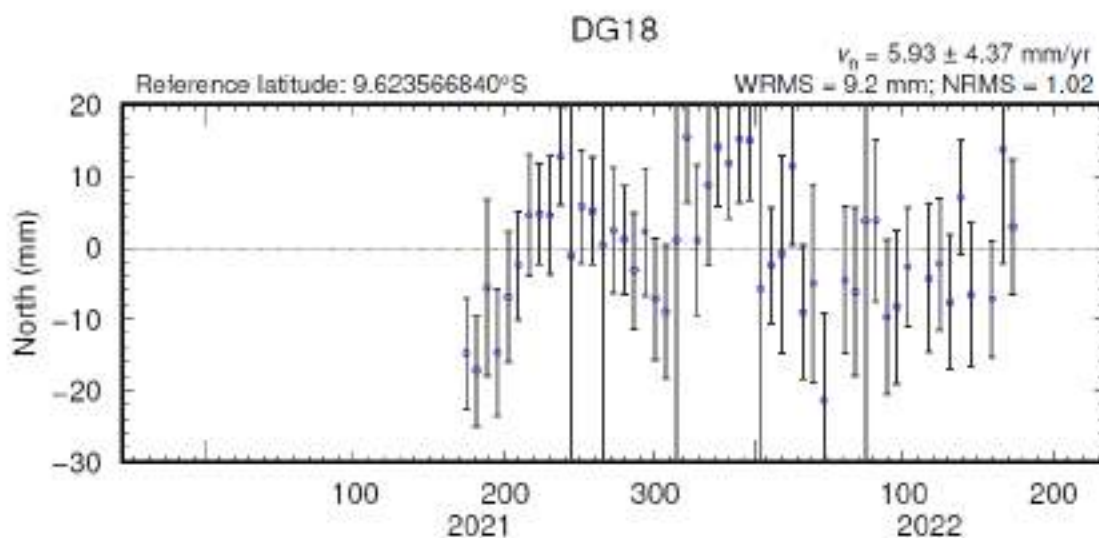
Figura 7. 8 – Variação da Coordenada Local Topocêntrica U para as soluções diárias para a estação Base Exército.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

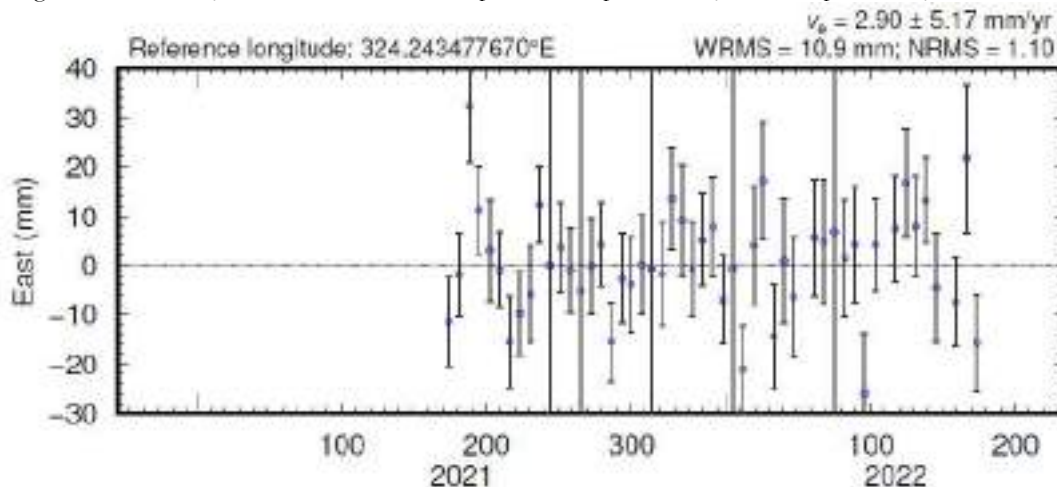
Na Figura 7.9, Figura 7.10 e na Figura 7.11 visualizam-se as variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U, respectivamente, para a estação DG18. Os valores de WRMS foram iguais a 9,2 mm, 10,9 mm e 19,2 mm, respectivamente.

Figura 7. 9 – Variação da Coordenada Local Topocêntrica N para as soluções diárias para a estação DG18.



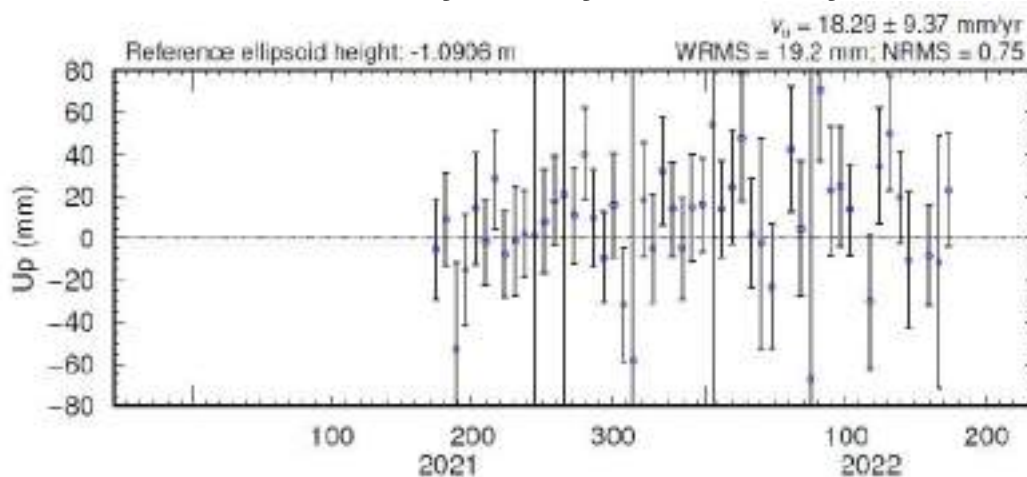
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 10 – Variação da Coordenada Local Topocêntrica E para as soluções diárias para a estação DG18.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 11 – Variação da Coordenada Local Topocêntrica U para as soluções diárias para a estação DG18.

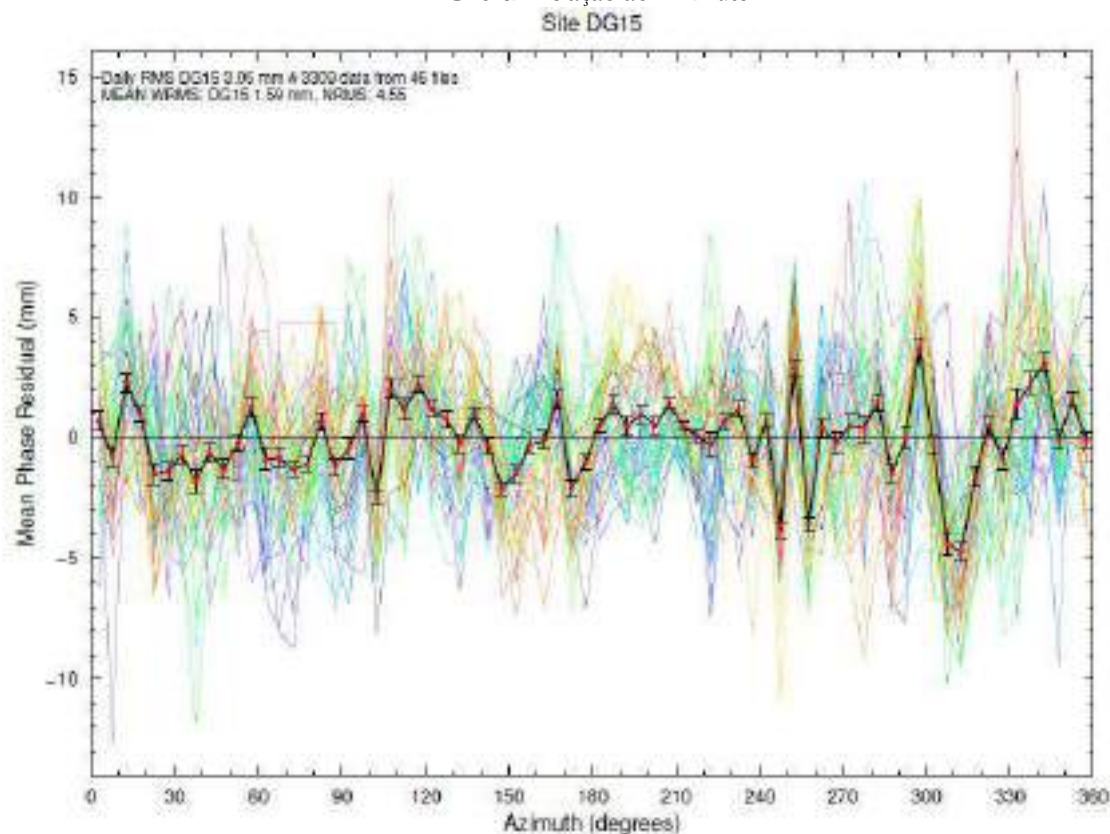


Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 7.12 observam-se os resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG15 em relação ao Azimute, a linha em preto representa os valores médios. Pelo gráfico percebe-se que entre os azimutes 300 e 330 graus há uma obstrução significativa com 40 graus de elevação.

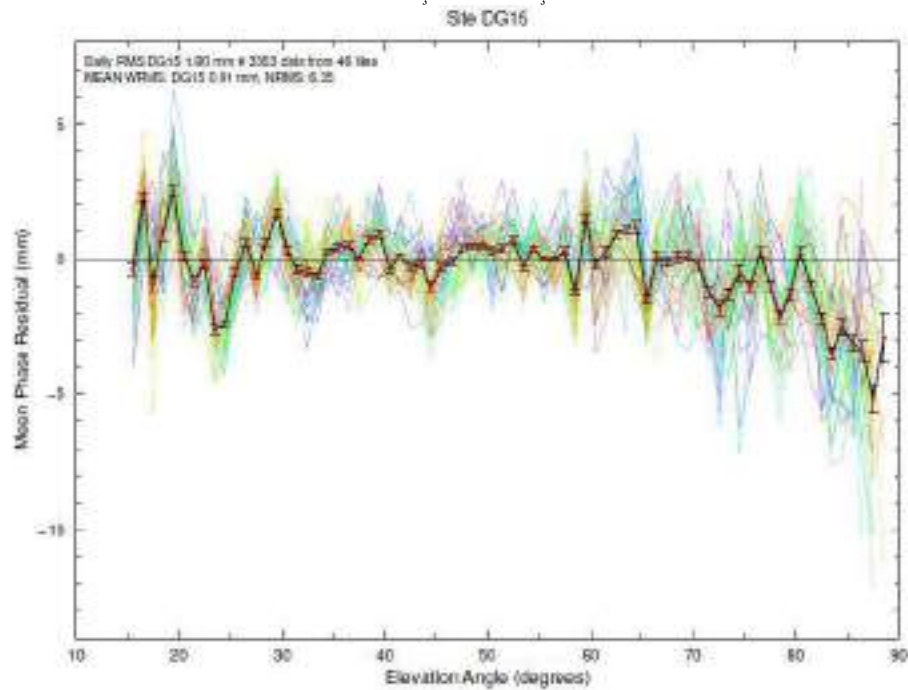
Os resíduos para todas as soluções em relação à elevação dos satélites podem ser observados na Figura 7.13 e os valores médios também estão representados pela linha preta. Percebe-se que entre as elevações de 80 a 90 graus estes resíduos são elevados, podendo ocorrer devido a alguns fatores como, por exemplo, um pássaro ter pousado na antena, interferência de rádio, um objeto que exerça uma obstrução no local. Os resíduos terem sido altos no zênite é um fator estranho e que se precisa investigar. Existe uma alta probabilidade de se ter uma obstrução de sinal ou uma obstrução física afetando as observações conforme comentado anteriormente. Pelo diagrama de obstruções indicado na sequência (Figura 6.14) nos parece que pode haver alguma interferência devido a presença do painel solar, contudo maiores investigações devem ser efetuadas.

Figura 7. 12 - Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG15 em relação ao Azimute



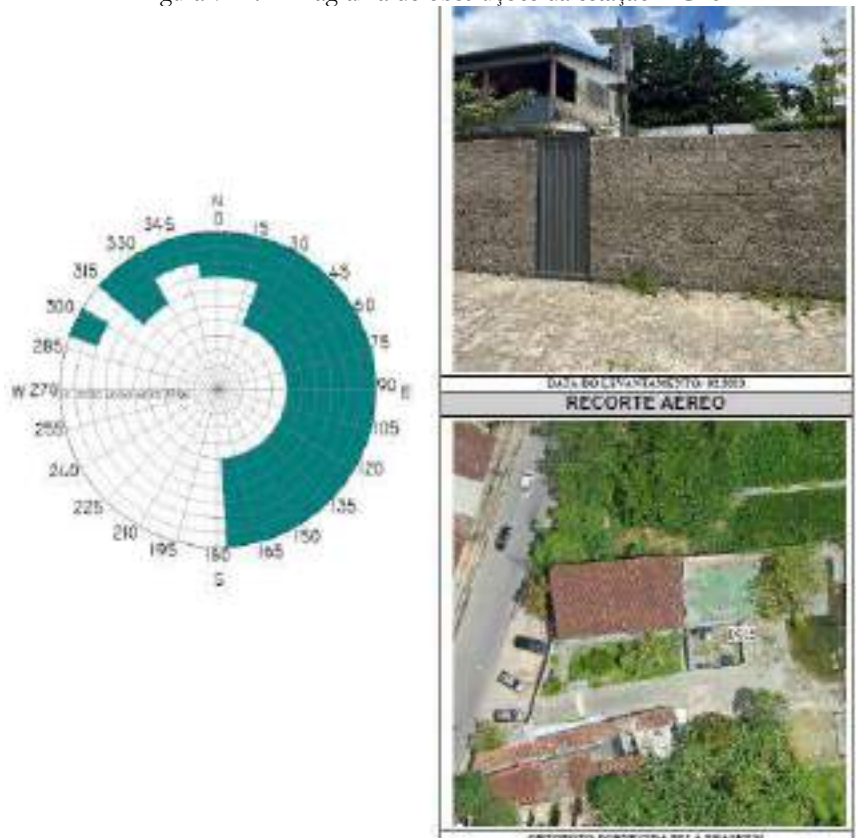
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 13 - Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG15 em relação a Elevação



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

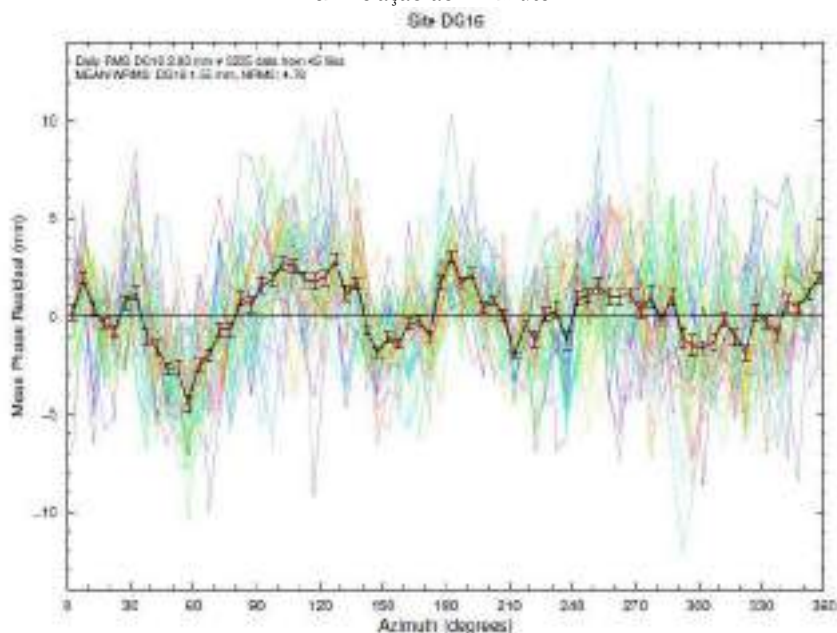
Figura 7. 14 – Diagrama de obstruções da estação DG15.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

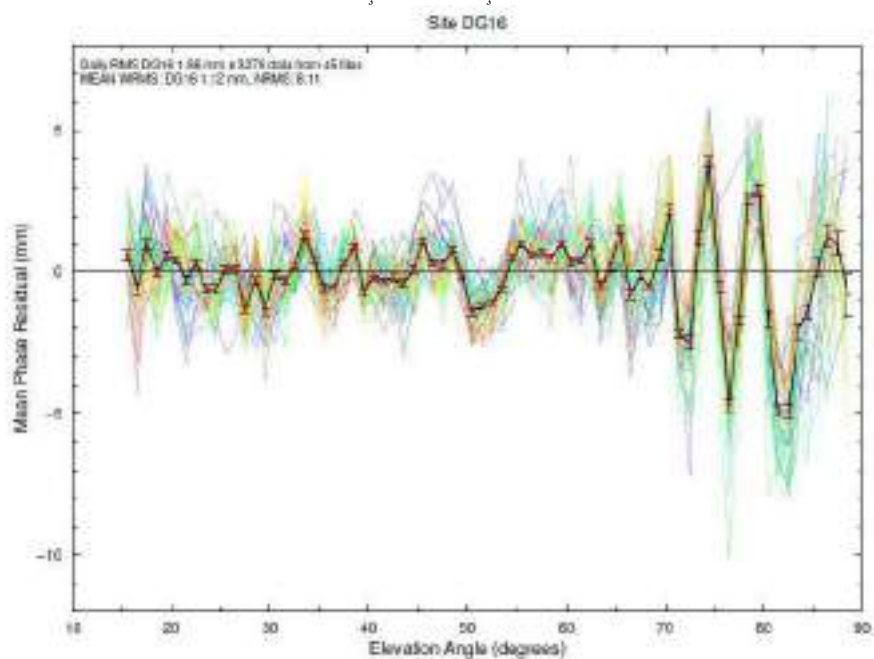
Para a estação DG16, os resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas em relação ao Azimute estão apresentados na Figura 7.15. Na Figura 7.16 tem-se os resíduos para todas as soluções em relação à elevação dos satélites. Percebe-se que entre as elevações de 70° a 90° estes resíduos são mais elevados. Este fato também carece de mais investigações.

Figura 7. 15 - Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG16 em relação ao Azimute



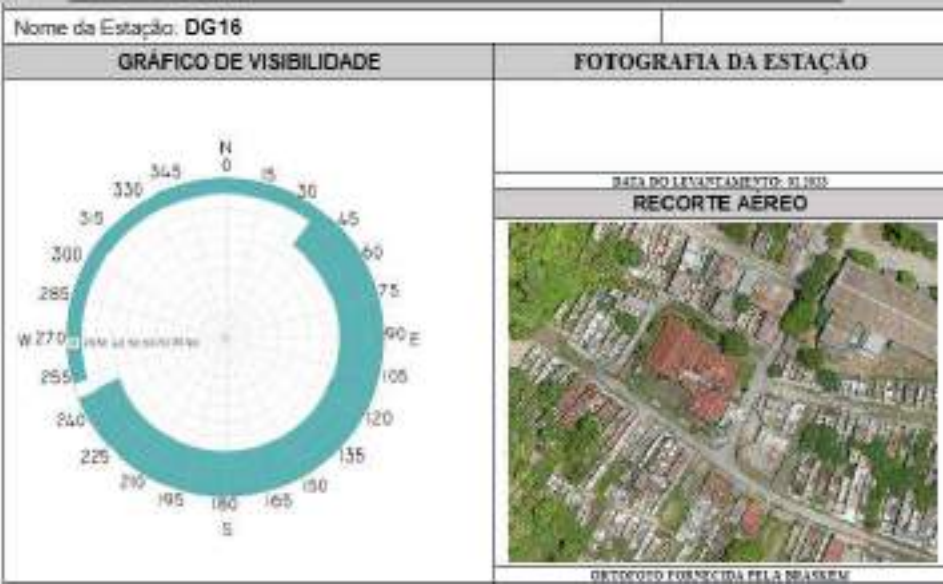
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 16 - Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG16 em relação a Elevação



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023).

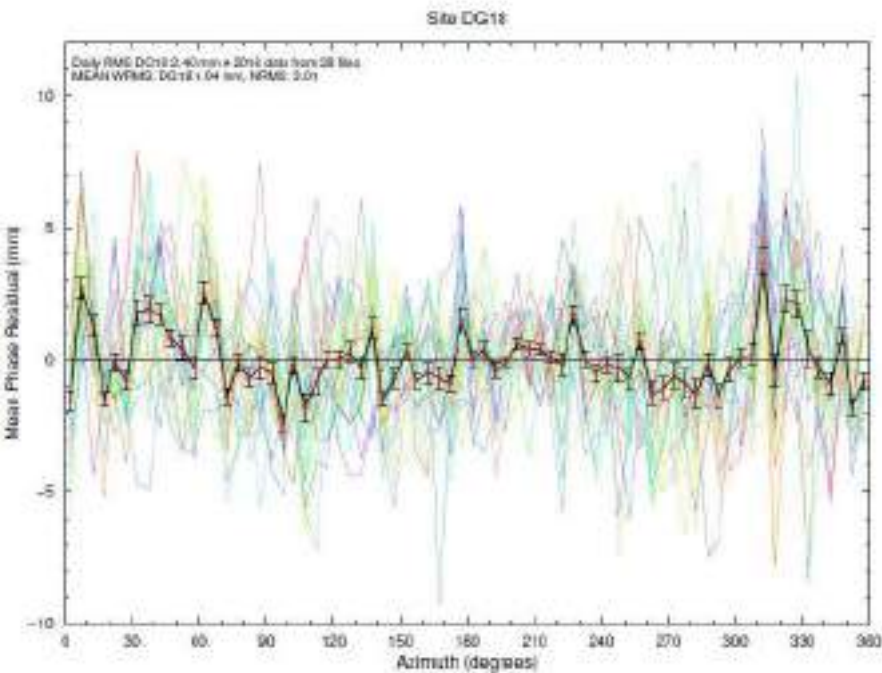
Figura 7. 17 – Diagrama de obstruções da estação DG15.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

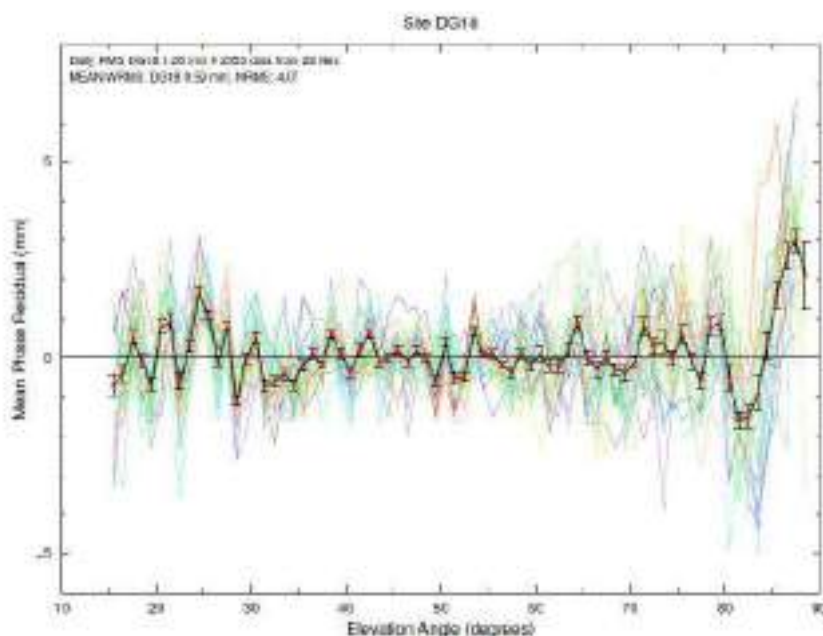
Na Figura 7.18 visualizam-se os resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG18 em relação aos azimutes. Já os resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG18 em relação à elevação dos satélites podem ser observados na Figura 7.19 e os valores médios também estão representados pela linha preta. Percebe-se que entre as elevações 80° a 90° estes resíduos são mais elevados.

Figura 7. 18 - Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG18 em relação ao Azimute.



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 19 - Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG18 em relação a Elevação



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

7.1 Velocidades das Estações

As velocidades absolutas estimadas de deslocamento, em cada uma das componentes, dos pontos podem ser observadas na Tabela 7.6. Destaca-se que por se tratar de velocidades absolutas elas representam somente o comportamento do ponto observado, não de toda a área de estudo.

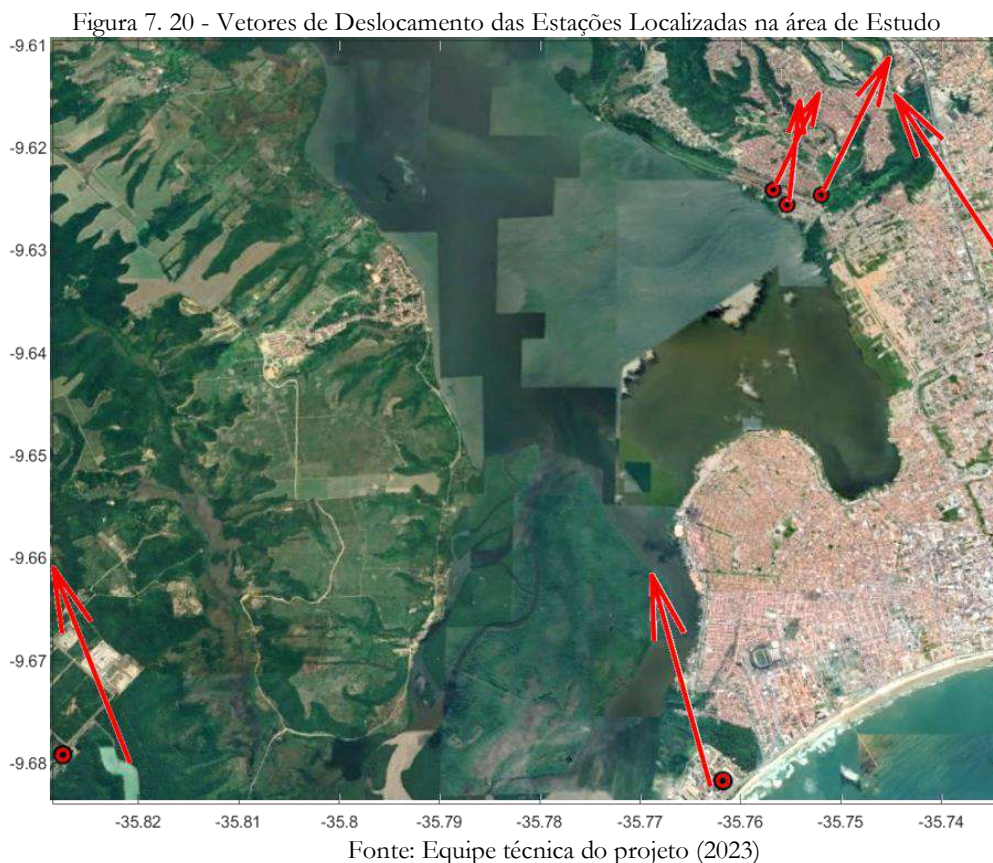
Os deslocamentos dos marcos DG15, DG16 e DG18 mostram a deformação da área em estudo. As bases locais (Base Exército, Base PVC e BASC) são fixadas em relação à placa continental.

Tabela 7. 6 - Velocidade Absoluta dos Pontos

ESTAÇÃO	East		North		Up	
	Velocidade (mm/a)	Sigma (mm/a)	Velocidade (mm/a)	Sigma (mm/a)	Velocidade (mm/a)	Sigma (mm/a)
Base	-7,11	2,85	10,55	2,22	-4,32	6,43
Exército						
BASC	-3,94	2,87	13,84	2,31	-0,70	5,85
Base PVC	-5,15	4,41	12,80	3,56	12,21	9,90
DG15	4,36	2,59	8,63	2,59	-9,39	6,34
DG16	0,73	2,86	6,59	2,51	-6,16	5,80
DG18	2,90	5,17	5,93	4,37	18,29	9,37
BRAZ	-1,04	0,79	12,41	0,70	-2,41	1,52
BRFT	-2,72	2,13	11,81	2,88	3,44	6,14
CHPI	-4,63	0,63	13,18	0,82	-1,86	1,07
SALU	-1,69	1,74	10,86	2,92	-5,71	3,87
SAVO	-6,00	1,61	13,37	1,42	-0,71	1,83
UFPR	-2,36	0,95	11,52	1,53	3,22	1,64

Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 7.20 são apresentados os vetores de deslocamento das estações localizadas na área de estudo, os seja as bases (Base UCS, Base PVC, Base Exército) e dos marcos (DG15, DG16 e DG18). Verifica-se que os marcos DG15, DG16 e DG18 têm um deslocamento NE.



7.2 Análise das Cargas

Visando minimizar erros no posicionamento por satélites é necessário levar-se em conta os erros provenientes do meio e dentre eles citam-se as cargas por pressão atmosférica, oceânica e hidrológica. As duas primeiras fazem parte dos principais efeitos de resposta elástica da Terra induzida pelas forças gravitacionais externas.

O efeito de carga atmosférica é gerado pelas variações de pressão do ar, baixas e altas, em relação a uma pressão média, o qual influi no deslocamento da superfície terrestre em escalas de tempo prolongadas. De acordo com VanDam e Herring Thomas (1994), os deslocamentos superficiais devido às mudanças da pressão atmosférica podem representar cerca de 24 por cento da variância total das altitudes elipsoidais. Segundo Wijaya et al (2013) esta carga pode gerar erros na componente vertical dos pontos de até 10 mm por ano.

O ciclo hidrológico está ligado à troca de água nos seus diferentes estados físicos pelas regiões da biosfera (atmosfera, oceanos, mares, rios, geleiras, águas superficiais, entre outros), produzindo o movimento das massas (princípio de conservação de massa), e conseqüentemente o carregamento

e deformação da superfície terrestre. A sua modelagem no processamento pode melhorar ao redor dos 5 mm o valor das variâncias de cada componente (TREGONING et al., 2009; DILL et al., 2015).

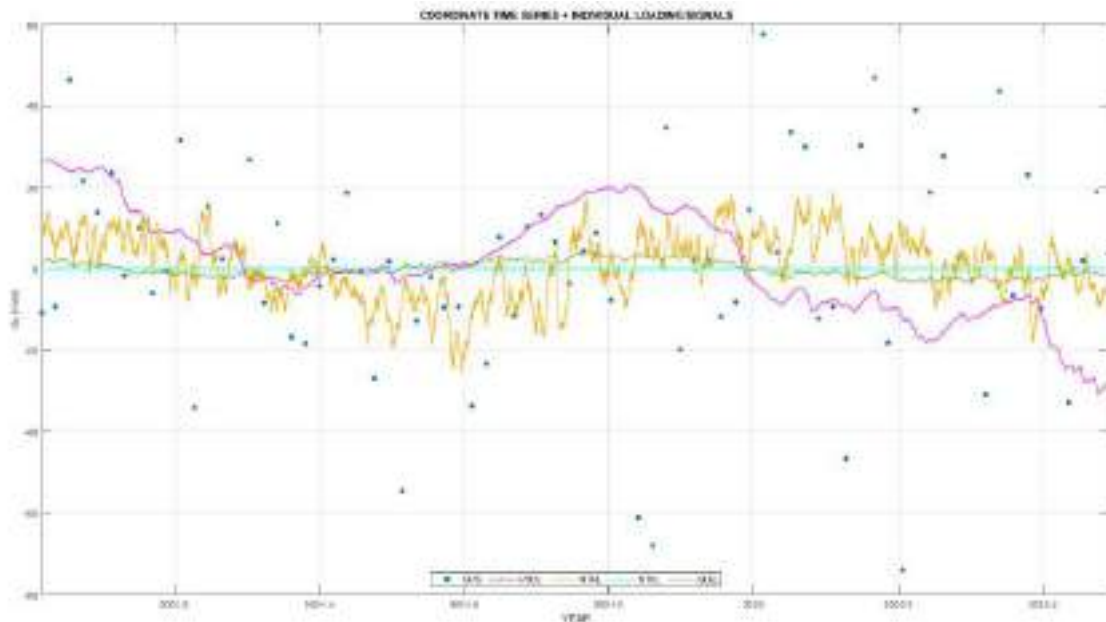
A carga oceânica, por sua vez, compreende o efeito secundário de maré, devido à resposta elástica da crosta terrestre às marés oceânicas, produzindo a deformação do fundo do mar e um deslocamento superficial da superfície terrestre adjacente (Amagua, 2018).

Desde 2011 o IERS estabeleceu como uma de suas prioridades a avaliação da inclusão de modelos de carga por pressão atmosférica na geração de suas soluções geodésicas (GPS, SLR, VLBI, DORIS), visando sempre melhorar a acurácia das soluções.

Mediante as séries calculadas e a modelagem matemática para a inclusão dessas cargas foi possível gerar as figuras que serão apresentadas na sequência para cada uma das estações da área em estudo. Destaco que a programação para o cálculo dessas cargas foi desenvolvida pelo doutorando Christian Amagua Pillapanta em sua dissertação de mestrado (2018) sendo complementada em sua tese de doutorado (em fase de finalização).

Na Figura 7.21 apresenta-se a modelagem de diferentes efeitos de carga para a estação Base UCS, destacando-se em rosa o efeito de carga hidrológica (HYDL), em ocre o efeito de carga atmosférica (NTAL), em azul claro o efeito da carga oceânica (NTOL) e em verde musgo o efeito de carga da equação do nível do mar (SLEL) (Amagua, 2022). Os pontos azuis representam as componentes verticais da série. O sinal da carga hidrológica é o de maior amplitude, seguido do sinal de carga atmosférica, da carga SLEL e do sinal de NTOL.

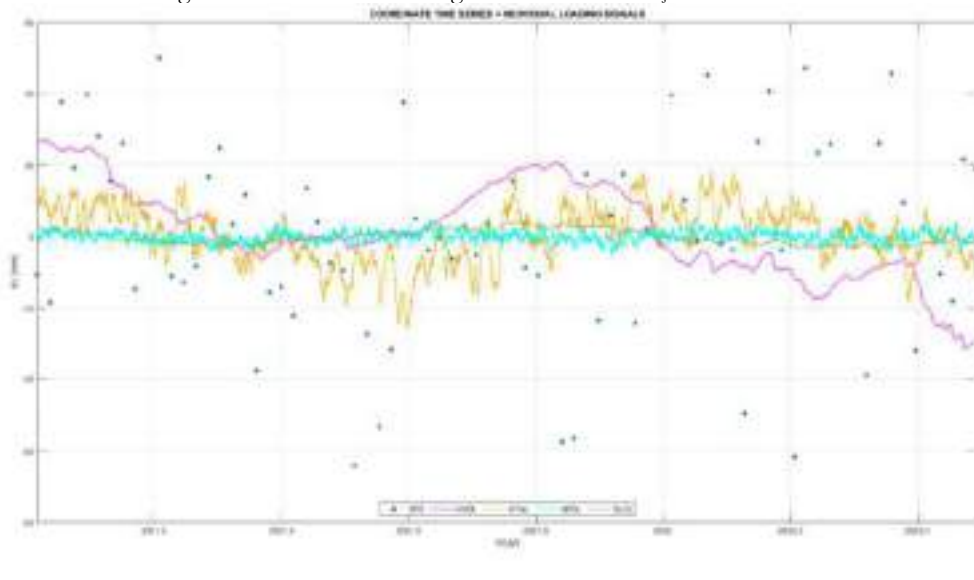
Figura 7. 21 - Efeito das Cargas atuantes na Estação Base UCS



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Da mesma forma, e seguindo o mesmo padrão de cores, tem-se as cargas para a estação Base Exército (Figura 7.22). Neste caso também o sinal da carga hidrológica é o de maior amplitude, seguido do sinal de carga atmosférica estando o efeito das cargas NTOL e SLEL muito próximas.

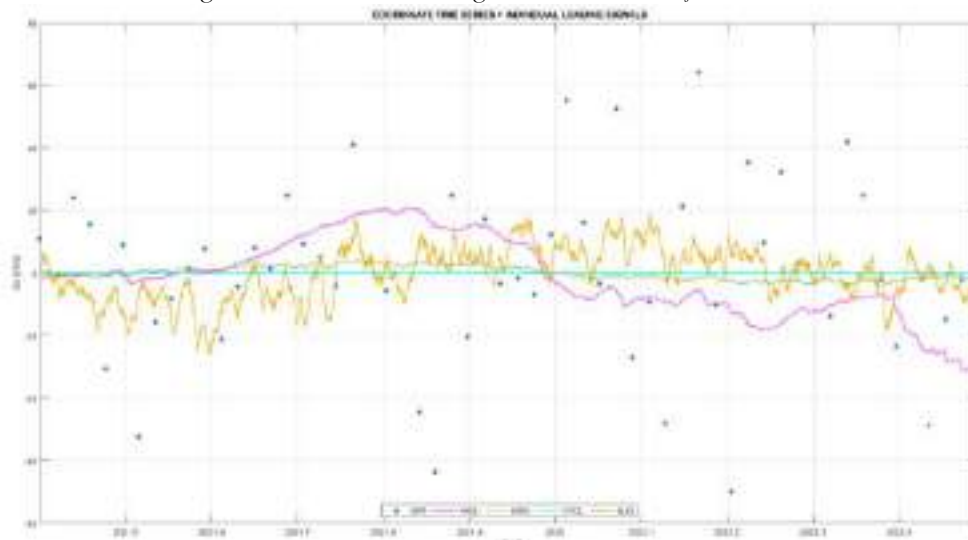
Figura 7. 22 - Efeito das Cargas atuantes na Estação Base Exército



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Na Figura 7.23 apresenta-se a modelagem de diferentes efeitos de carga para a estação Base PVC, sendo o sinal da carga hidrológica é o de maior amplitude, seguido do sinal de carga atmosférica.

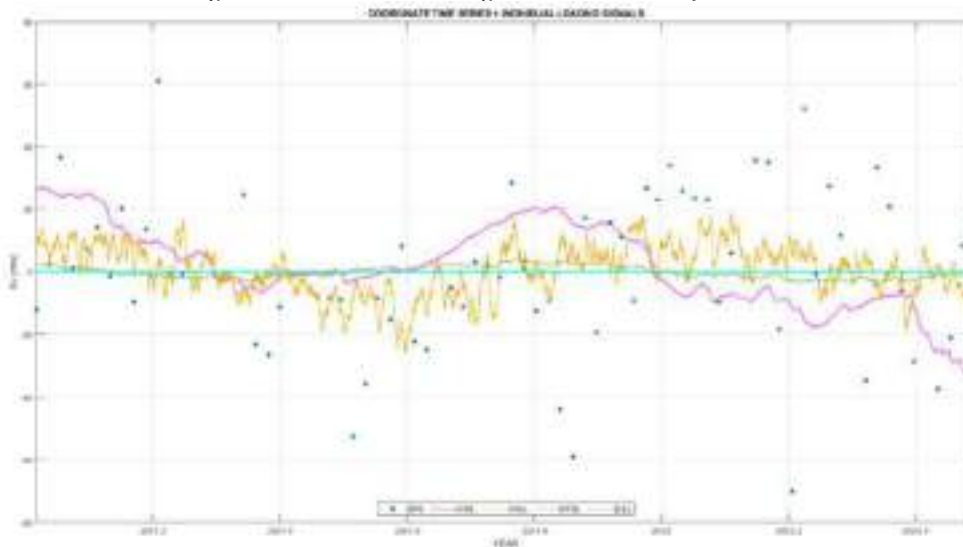
Figura 7. 23 - Efeito das Cargas atuantes na Estação Base PVC



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

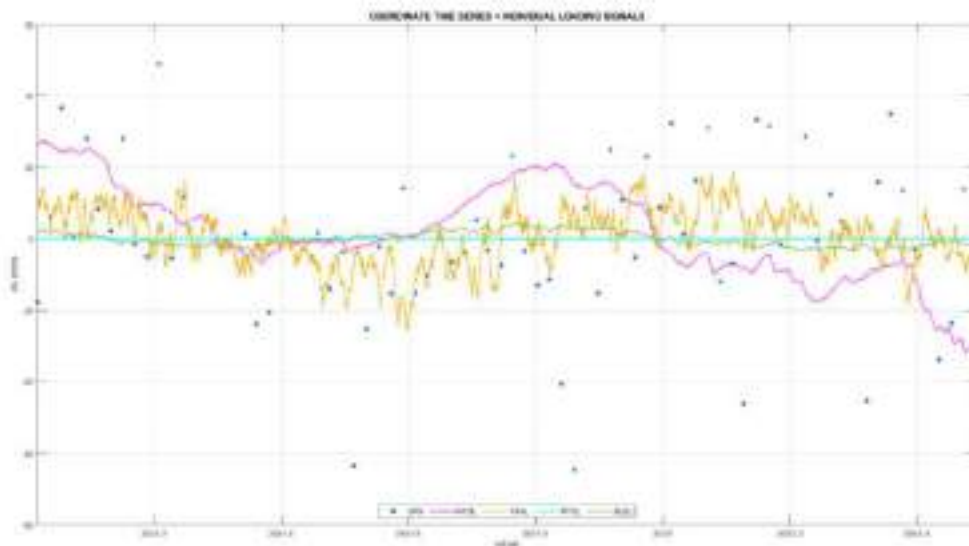
Nas Figuras 7.24, 7.25 e 7.26 estão apresentadas as modelagens de diferentes efeitos de carga para as estações DG15, DG16 e DG18, respectivamente. Nestas estações o sinal da carga hidrológica continua a ser o de maior amplitude, seguido do sinal de carga atmosférica.

Figura 7. 24 - Efeito das Cargas atuantes na Estação DG15



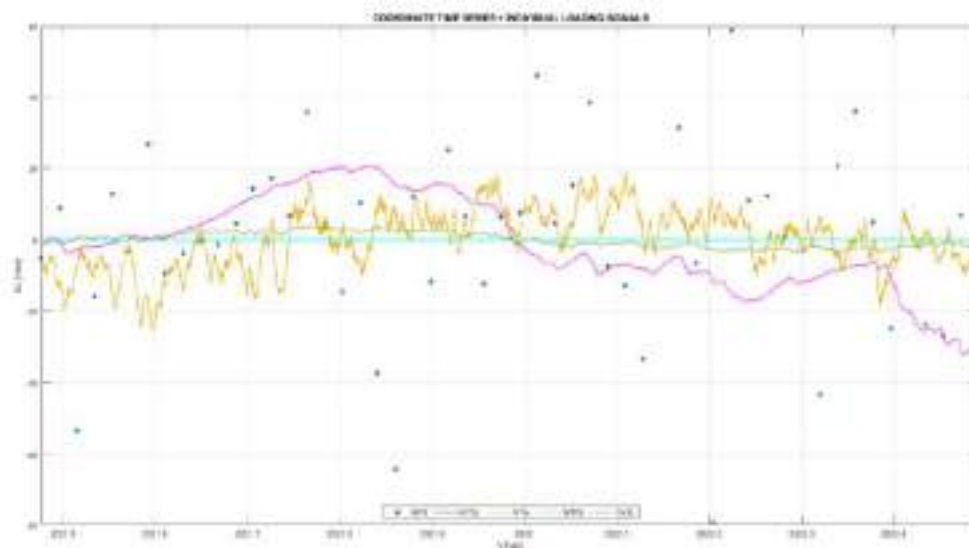
Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 25- Efeito das Cargas atuantes na Estação DG16



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Figura 7. 26 - Efeito das Cargas atuantes na Estação DG18



Fonte: Equipe técnica do projeto (2023)

Percebe-se pela análise das Figuras 7.21 a 7.26 que as cargas apresentam movimento de longo período, mas que ainda existe um movimento de curto período que precisa ser investigado. Verifica-se que ele ocorre em todas as estações que estão nesta área em estudo.

Pesquisas continuam a ser efetuadas no que concerne aos efeitos de carga, inclusive a contribuição do vapor de água na carga hidrológica.

Capítulo 8: Síntese dos trabalhos desenvolvidos, conclusões e sugestões de melhorias na rede DGNSS.

Este capítulo compõe um panorama geral de sugestões de melhoria para a rede DNGSS, após análise dos dados fornecidos.

Durante todo o processo de análise, foram utilizados os dados brutos coletados pelos receptores DGNSS, sendo estes analisados em função de suas bases. Os softwares utilizados para as análises são científicos e livres de quaisquer influências comerciais, garantindo assim a segurança nas investigações realizadas.

Trata-se de uma rede de monitoramento GNSS robusta e densa o suficiente para a realização do monitoramento da área em questão, diante das análises, pode-se perceber que a rede atende o nível de precisão para fins de monitoramento, porém, ainda há possibilidade de aprimorar alguns pontos na tentativa de atingir uma melhor acurácia em função da capacidade tecnológica. As sugestões apresentadas nesse relatório atendem o objetivo geram com foco na qualidade dos dados.

As análises da acurácia da rede geodésica implantada devem ser acompanhadas e continuadas de forma a garantir a acurácia existente e identificar possíveis fontes de degradação do sinal. É importante ainda destacar a integração das redes de monitoramento (nivelamento + GNSS), que proporcionaria uma análise mais completa da rede e a determinação mais adequada do modelo geoidal local e consequentemente a determinação dos recalques verticais. Desta forma, são descritos a seguir as sugestões referentes as principais análises realizadas:

Quanto a Calibração da Antena sugere-se:

- a. Aplicar sempre os parâmetros de calibração das antenas no processamento dos dados quando se almejam posicionamentos precisos;
- b. Verificar se todas as antenas estão orientadas para o norte no momento da instalação;

- c. Ao substituir uma antena não se deve esquecer de orientá-la para o Norte.;
- d. Verificar os parâmetros de PCO e PCV que estão sendo empregados para a antena TRM 68040.01 (AG-25) na rede.
- e. A utilização de antenas que não tenham seus parâmetros de calibração conhecidos (IGS) devem ser calibradas;
- f. Sugere-se a calibração periódica das antenas de forma a manter o cuidado com a acurácia dos dados coletados. Indica-se que antenas com mais de 5 anos de idade devem ser calibradas pelo menos 3 dias e a periodicidade ficará a critério da variação alcançada entre os valores de PCO e PCV da calibração própria destas com os parâmetros médios do modelo fornecidos pelo IGS.

Quanto as análises de Deslocamento de Placa

- a. Foi observado que a velocidade de deslocamento nas estações de monitoramento DGNSS existentes está no sentido noroeste;
- b. As velocidades de deslocamento encontradas foram de 1,166 cm/ano em latitude e -0,3 cm/ano em longitude, estando dentro do esperado, conforme previsto na rede de monitoramento contínuo do SIRGASCOM.
- c. Sugere-se a aplicação das correções de deslocamento em todas as estações da rede, usando o mesmo modelo de correção do IBGE nos processamentos PPP (VEMOS2000), de forma a manter todas as coordenadas da rede de monitoramento no mesmo referencial, pertencente ao Sistema Geodésico Brasileiro, SIRGAS2000, época 2000,4.

Quanto ao Efeito da Troposfera sugere-se

- a. Usar sempre o mesmo modelo de refração troposférica nas estações da rede RTK;
- b. Usar sempre o mesmo modelo de refração troposférica para todo conjunto de dados a serem processados;
- c. Ao utilizar o mesmo modelo de correção da troposfera a implicação de que o mesmo erro sistemático será gerado em todas as estações (antenas), e com isso o risco de soar falsos alertas de subsidência em função da influência da Troposfera muito provavelmente não acontecerá;

- d. A diferença percebida entre os modelos implementados no Topcon Tools foi de 4mm e essa variação do modelo troposférico pode afetar os resultados, podendo influenciar na definição de limiares de alerta;
- e. A diferença entre o uso de modelo troposférico Saastamonien ou sem o uso deste modelo não forneceram diferenças entre as altitudes como RTKLIB;
- f. Houve com o RTKLIB uma diferença de 0,003mm com uso de modelo troposférico Saastamonien apenas quando se modificou a máscara de elevação, contudo verificou-se que estas soluções foram melhores;
- g. Os modelos ZTD e ZTD+grad não são recomendados para soluções RTK e com pouco tempo de observação, visto que, parâmetros são estimados no ajustamento (inicialmente para a solução flutuante e posteriormente para a solução fixa das ambiguidades). Os valores das precisões internas das coordenadas para as soluções com esta modelagem foram superiores às aquelas obtidas com o modelo Saastamonien.

Quanto ao Multicaminho sugere-se

- a. As estações com muito efeito de multicaminho devem ser reavaliadas (localização e o entorno) visando a minimização deste efeito;
- b. Analisar a possibilidade de aplicar diferentes máscaras de elevação para as estações da rede;
- c. Os alertas avaliados ocorreram principalmente por mudança do número de satélites observados, por perdas de soluções, pelas coordenadas serem obtidas por meio dos reais das ambiguidades (float), dessa forma sugere-se a verificação da fixação das ambiguidades, HDOP e variação no número de satélites quando os limiares de alerta forem acionados;
- d. Como ocorreram picos superiores a 6 para os PDOP dos satélites da constelação GLONASS, verificar a interferência do uso da constelação GLONASS na solução RTK, quando os picos dos PDOP forem superiores a 6 para essa constelação, para inferência do uso do Glonass ou não na solução. As análises da solução RTK só podem ser efetuadas mediante os arquivos gerados pelas estações com as coordenadas em tempo real (em geral no formato NMEA). Também novos estudos serão realizados com no pós-processamento dos dados. Com estas novas análises novas sugestões para a rede podem ser definidas.
- e. Verificar a possibilidade de utilização de atenuador do efeito do multicaminho sobre a antena (Stelth).
- f. Estações sujeitas a movimentação de veículos e máquinas no entorno deveriam ser documentadas para que se pudesse ter um histórico nos dias em que tais manobras ocorrerem.

- g. Estudo dos tipos de filtros disponíveis na solução RTK e parametrização de cada um para ficar mais adequada a emissão de alerta que não contemple a variação natural do posicionamento GNSS na posição;

Quanto aos efeitos da Ionosfera sugere-se

Para os dados avaliados em janeiro de 2022, ficou evidente a presença de efeitos ionosféricos nos dados brutos coletados nas estações Base PVC, DG15, DG16 e DG18, sendo esses superiores ao que ocorreu em junho de 2021. Consequentemente ocorreram variações na Solução das Coordenadas obtidas por meio do método relativo estático;

- a. As coordenadas calculadas para as estações incógnitas nos períodos de maior atividade ionosférica foram obtidas com uma menor % de ambiguidades resolvidas do que as obtidas em 2021;
- b. Houve um aumento nos saltos de ciclo dos dados da semana de janeiro de 2022 em relação aos dados da semana de julho de 2021.
- c. O emprego dos modelos *iono free* e *ionotec* disponíveis no programa RTKLIB não proporcionam soluções com um aumento na % de ambiguidades fixadas no processamento dos dados da semana de janeiro de 2022, mas sim uma redução. Cabe lembrar que o arquivo codeg0250.21i utilizado, no segundo caso, tem uma grade de resolução e que neste caso a área em estudo é pequena;
- d. Acredita-se que em anos em que atividade ionosférica é maior seria interessante verificar os limiares de alerta para um possível ajuste, principalmente nos horários mais críticos;
- e. É importante analisar um período mais longo de dados para se poder analisar melhor os efeitos ionosféricos e buscar correlacionar informações com explosões solares, bolhas de cintilação e outros.

Quanto as Cargas atuantes nas estações DGNSS sugere-se:

- a. Avaliar pelo menos 3 anos de dados para que melhores análises no que tange a estes efeitos de carga possam ser efetuadas segundo recomendado por Amagua et al, (2018);
- b. Se houver interesse nesta análise das séries deve-se manter uma documentação das estações no que tange a equipamentos e antenas empregados durante os anos;
- c. Nas estações em que se tem vegetação no entorno também se pode manter uma documentação quanto a pré-poda e pós-poda;

- d. Se houver instalações de objetos nas imediações das estações deve-se também registrar;
- e. Investigar o efeito de curto período atuante nas séries.
- f. Analisando a estatística da estabilização do sistema de posição por ano e para o conjunto total de dados, os resultados do RMS pós-processado se encontram dentro dos valores de 8 a 10 vezes inferiores aos RMS pré-processados, atendendo as normas do SIRGAS
- g. Em condições ideais, são necessários 3 anos de dados para poder efetuar melhores análises quanto os efeitos de cargas;

Quanto a Geometria das Estações de Base

- a. Dentre as 3 estações de base analisadas, a “Base” localizada no Quartel, é a que apresenta maior proximidade com as estações de monitoramento e também a que apresenta maior incidência de multicaminhos.
- b. A estação de Base PVC é a que apresenta menor multicaminho, porém a mais distante das estações de monitoramento;
- c. Em anos de maior atividade atmosférica, até linhas de base curta (menores que 10km) podem ser afetadas, dessa forma, considerar a rigidez nas análises das bases.
- d. A geometria das estações de base pode ser melhorada implementando a posição do ponto mais a oeste (próximo ao município de Coqueiro Ceco), para que fique aproximadamente um triângulo equilátero com os dois outros lados.

Referências

Wegener, Alfred (julho de 1912). «Die Entstehung der Kontinente». International Journal of Earth Sciences (em alemão). 3 (4). doi:10.1007/BF02202896

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, (2022). NBR 13.133 – Execução de levantamentos topográficos. Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

AMAGUA, Christian Gonzalo Pilapanta et al. Analysis of local surface displacement using repeated GPS measurements: a case study of the Guabirota area, Curitiba, Brazil. DOI 10.1590/s1982 - 21702022000100005. 2022

AMAGUA, Christian Gonzalo Pilapanta et al. Análisis y Caracterización de Señales de Ruido en Series Temporales GPS y su Influencia en la Determinación de Velocidades. Brasil, 2019. Slide. Disponível em: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol24/26_Pilapanta_et_al_2019_Noise_GPS_signals.pdf. 2022.

AMAGUA, C.G. P. Avaliação do impacto do efeito de carga por pressão atmosférica em posicionamento GPS de alta precisão nas regiões do equador continental e da Amazônia brasileira. Dissertação de mestrado. UFPR, 2018. <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/55157/R%20-%20D%20-%20CHRISTIAN%20GONZALO%20PILAPANTA%20AMAGUA.pdf>

AMAGUA, C.G. P Krueger, C.P. and Criollo, A.R.T. 2018. Stochastic Model Of The Brazilian Gps Network Coordinates Time Series. Boletim de Ciências Geodésicas, 24 (4), pp.545–563. DOI:10.1590/s1982-21702018000400033.

AMEIGE, R.A. Estudo de caso: monitoramento de deslocamentos de solo utilizando observações gps na região do Guabirota, Curitiba, Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, UFPR, 2022.

APOLONIO, A.; Krueger, C.P. e Amagua. C.G.P. Análise De Séries Temporais De Uma Estação Da Rede Brasileira De Monitoramento Contínuo Dos Sistemas GNSS. 2019. https://sirgas.ipgh.org/docs/Boletines/Bol24/26_Pilapanta_et_al_2019_Noise_GPS_signals.pdf 2019.

DILL, R. et al. Applying local Green's functions to study the influence of the crustal structure

on hydrological loading displacements. **Journal of Geodynamics**, Elsevier Ltd, v. 88, p. 14–22, 2015. ISSN 02643707.

HERRING T.A. Floyd, M.A. King, R.W. and Mc Clusky, S.C. 2015. *GLOBK Reference Manual*.

HERRING, T.A. King, R.W. Floyd, M.A. and Mcclusky, S.C. 2018. *GAMIT. Reference Manual*. Massachusetts Institute of Technology.

HERRING T.A. Floyd, M.A. and Perry, M. Dealing with earthquakes and other non-linear motion. Data GPS Processing and Analysis with gamit/GLOBK and track.

INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS). ITRF2020 is available online. 2022. Disponível em: <https://lists.igs.org/pipermail/igsmail/2022/008187.html>. Acesso em: 06 de jul. 2022.

LI, Yu. Analysis of GAMIT/GLOBK in high-precision GNSS data processing for crustal deformation. *Earthquake Research Advances*, v. 1, n. 3, p. 100028, 2021.

NADAL, C. Transformação De Coordenadas Geodésicas Em Topográficas E Vice-Versa. - Sistemas de Referência e Tempo em Geodésia. Notas de Aula.

SÁNCHEZ, L. DREWES, H. BRUNINI, C. MACKERN, M. V. and MARTÍNEZ-DÍAZ, W. 2015. SIRGAS Core Network Stability. In: *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. pp.183–191. DOI:10.1007/1345_2015_143.

SÁNCHEZ, L. and Drewes, H. 2020. Geodetic Monitoring of the Variable Surface Deformation in Latin America. In: *International Association of Geodesy Symposia*. DOI:10.1007/1345_2020_91.

SEEBER, G., *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlin:Walter de Gruyter, 2003.

TREGONING, P. et al. Detecting hydrologic deformation using GRACE and GPS. **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. 15, p. 1–6, 2009. ISSN 00948276.

VANDAM, T. M.; HERRING THOMAS, h. Detection of atmospheric pressure loading using very long baseline interferometry measurements. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, n. B3, p. 4505–4517, 1994. ISSN 01480227.

WANNINGER, L. The Occurrence of Ionospheric Disturbances above Japan and Their Effects on Precise GPS Positioning. *Proceedings of the CRCM 93*, Kobe, December 6-11, 1993, p. 175-179.

WIJAYA, D. D. et al. Atmospheric Pressure Loading. In: BÖHM, J.; SCHUH, H. (Ed.). **Atmospheric Effects in Space Geodesy**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 137–157. ISBN 978-3-642-36932-2.

Referências eletrônicas

<http://8oanobemilie.blogspot.com/2011/06/america-do-sul-e-seus-aspectos.html>
Ano: 2011



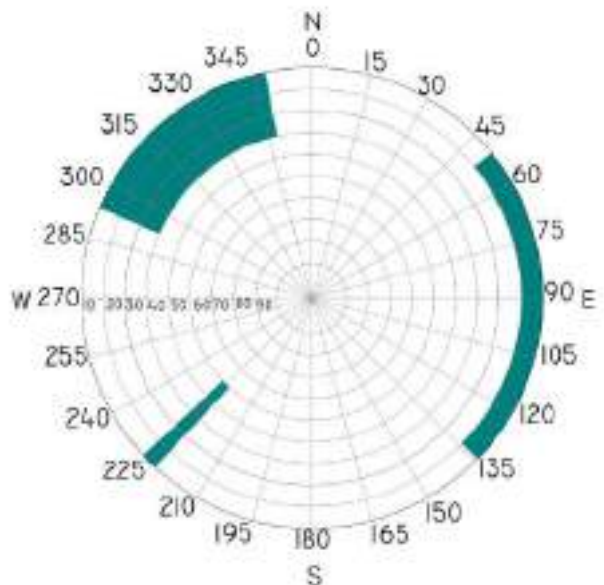



<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html?=&t=downloads>

<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/ionex/2022/025/>

<https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/tec-map-grafico/>.

APÊNDICES

**APÊNDICE 01: INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DAS ESTAÇÕES
REFERENTES AO ÍTEM 2 - MAPAS AZIMUTAL**

<div>   <div> <h1>MAPA DE VISIBILIDADE</h1> <p>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p> </div> </div>	
Nome da Estação: DG01	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO
	
	DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023
	RECORTE AÉREO
	
ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM	
VISIBILIDADE PANORÂMICA	
	



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

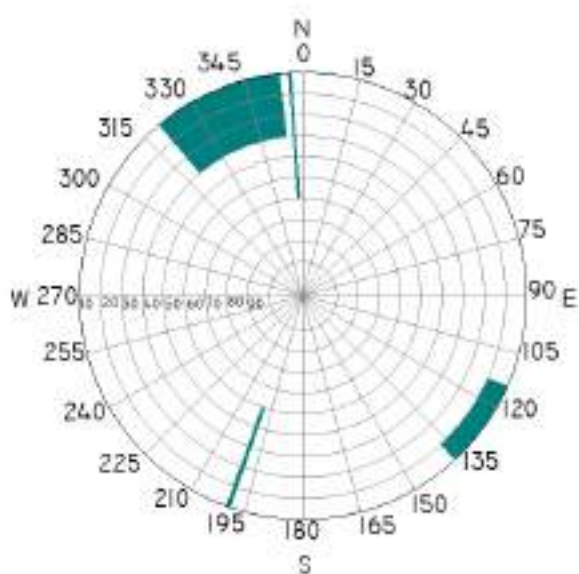


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG02**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023



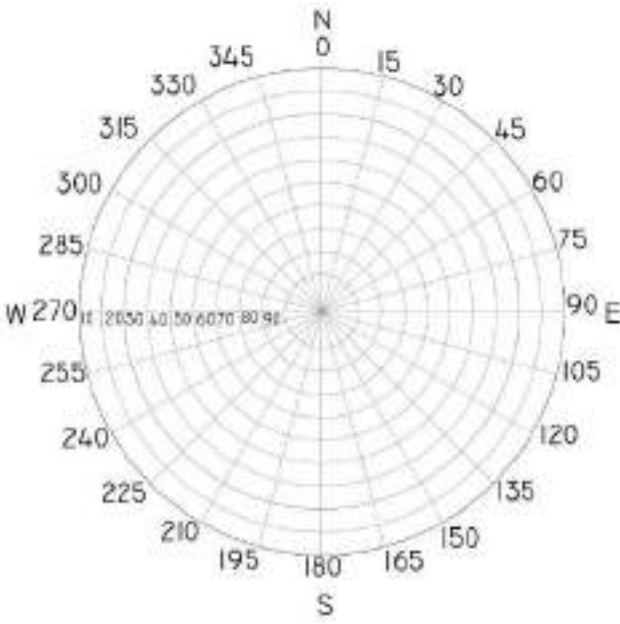



RECORTE AÉREO



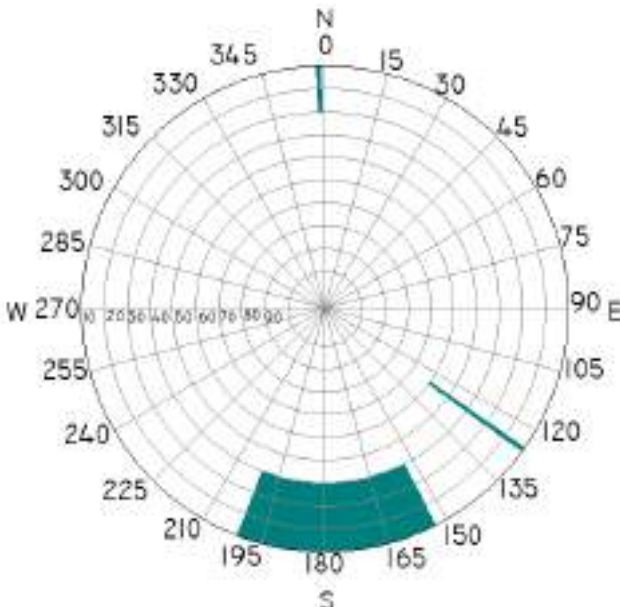





ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





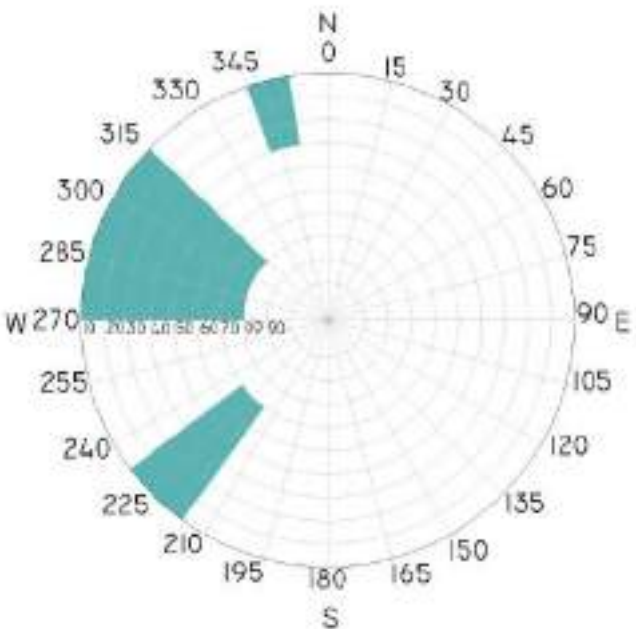


<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;"> <h2>MAPA DE VISIBILIDADE</h2> <p>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p> </div> </div>	
Nome da Estação: DG03	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE 	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO  <p>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</p>
RECORTE AÉREO 	
<p>ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM</p>	
VISIBILIDADE PANORÂMICA 	



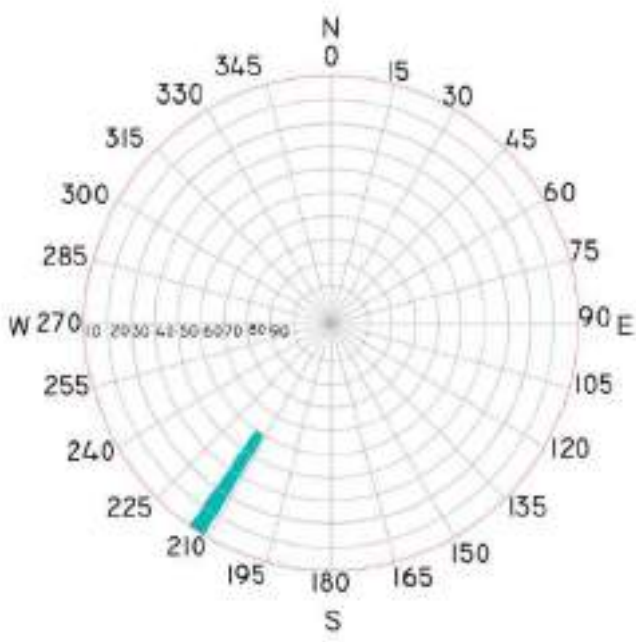



<div>   </div> <div> <h1>MAPA DE VISIBILIDADE</h1> <p>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p> </div>	
Nome da Estação: DG04	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO
	
	DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023
	RECORTE AÉREO
	
	ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM
VISIBILIDADE PANORÂMICA	
	



ID: 5891495

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.

<div><div><div>UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS</div></div><div></div><div><div>MAPA DE VISIBILIDADE</div><div>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</div></div></div>	
Nome da Estação: DG05	
<div>GRÁFICO DE VISIBILIDADE</div> <div></div>	<div>FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO</div> <div></div> <div>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</div> <div>RECORTE AÉREO</div> <div>ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM</div>
<div>VISIBILIDADE PANORÂMICA</div> <div></div>	

<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  <h2 style="margin: 0;">MAPA DE VISIBILIDADE</h2> <p>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p> </div> </div>	
Nome da Estação: DG06	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE 	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO  <p>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</p> RECORTE AÉREO  <p>ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM</p>
VISIBILIDADE PANORÂMICA 	



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

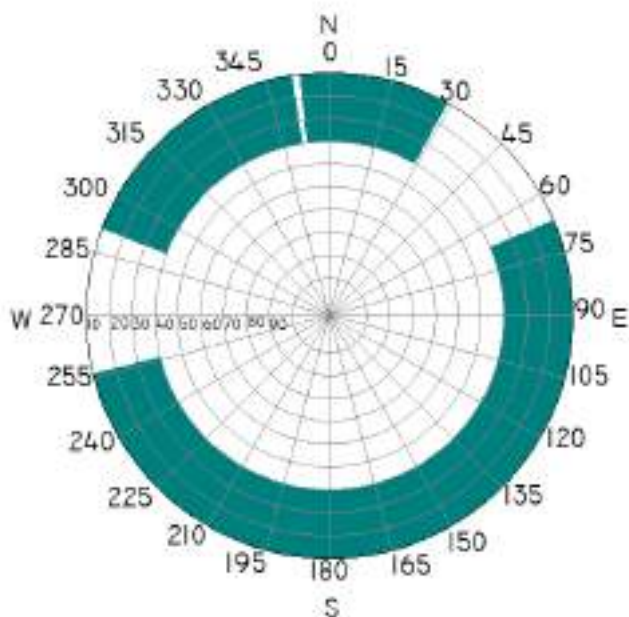


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG07**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

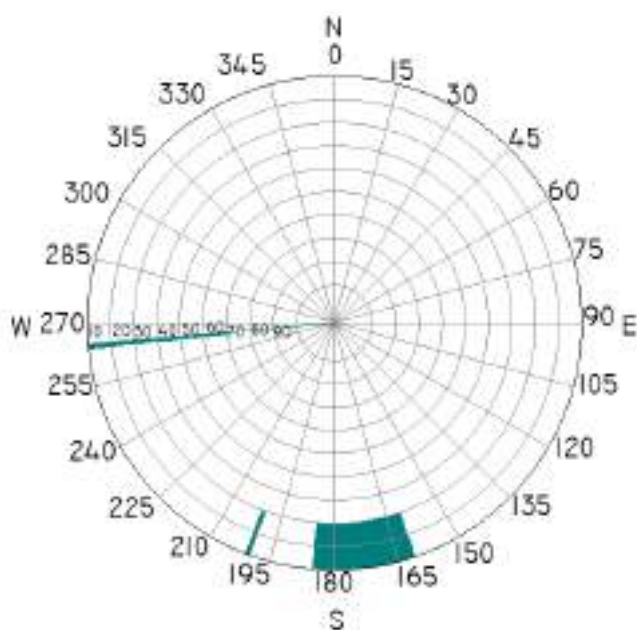


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG08**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

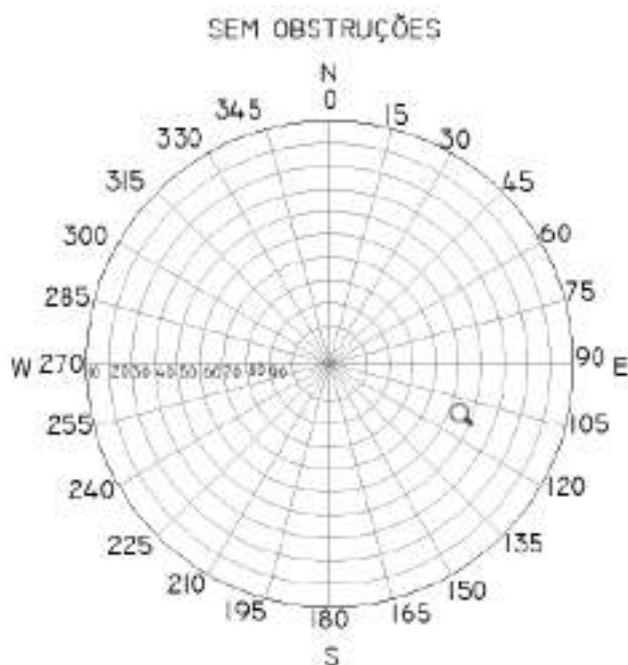


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG09**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

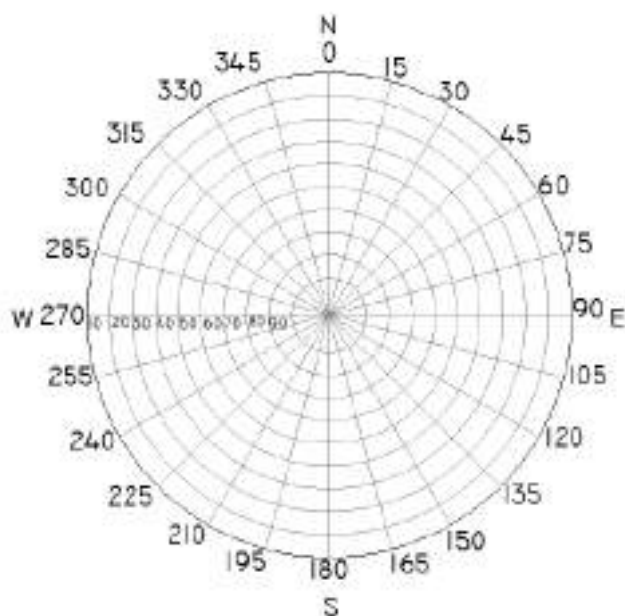


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG10**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

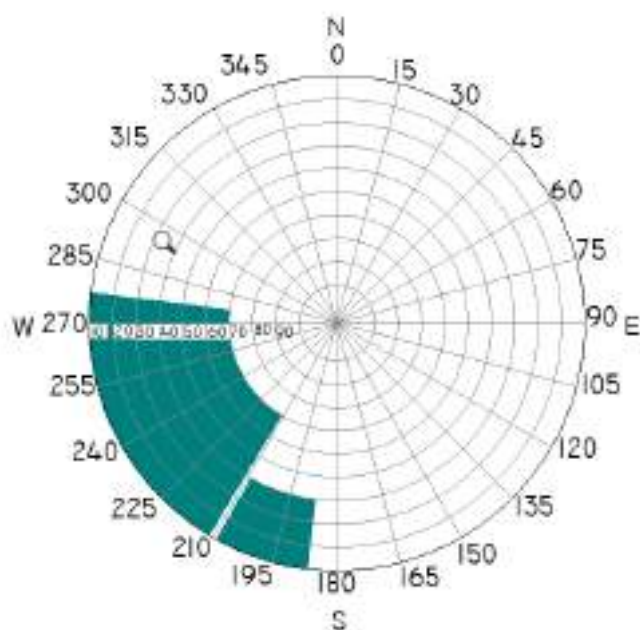


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG11**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

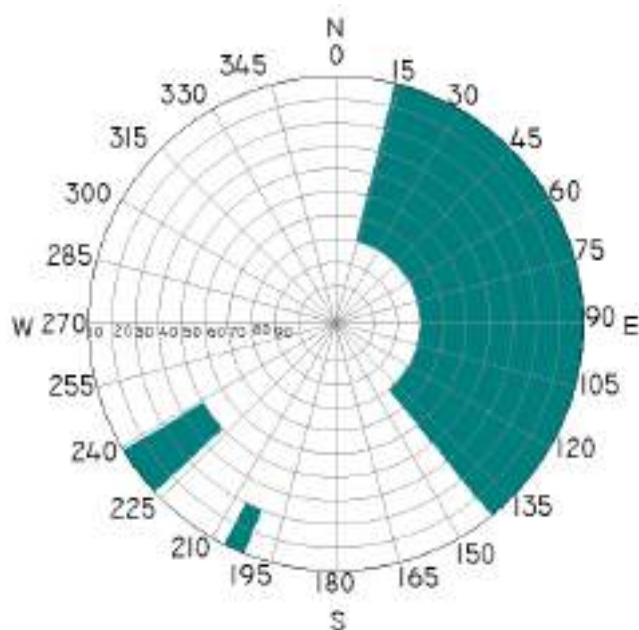


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG12**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

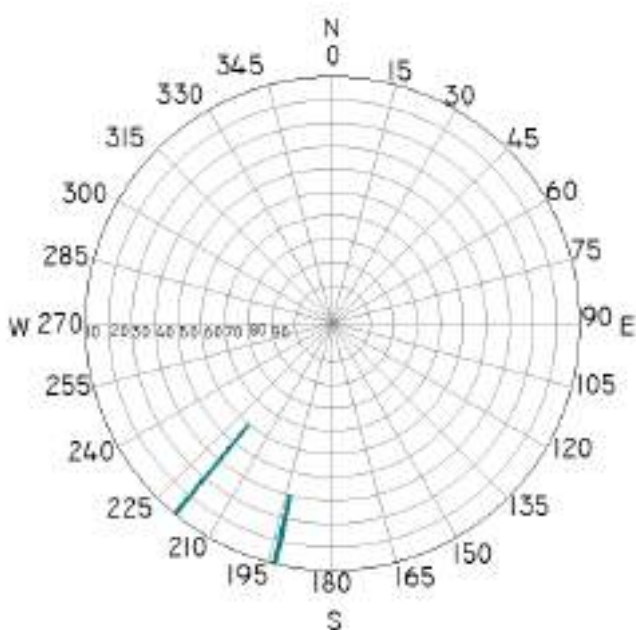


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG13**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

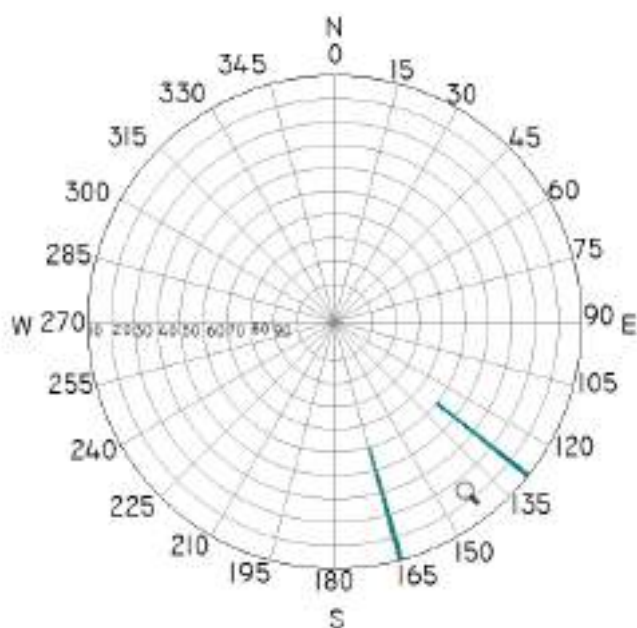


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG14**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

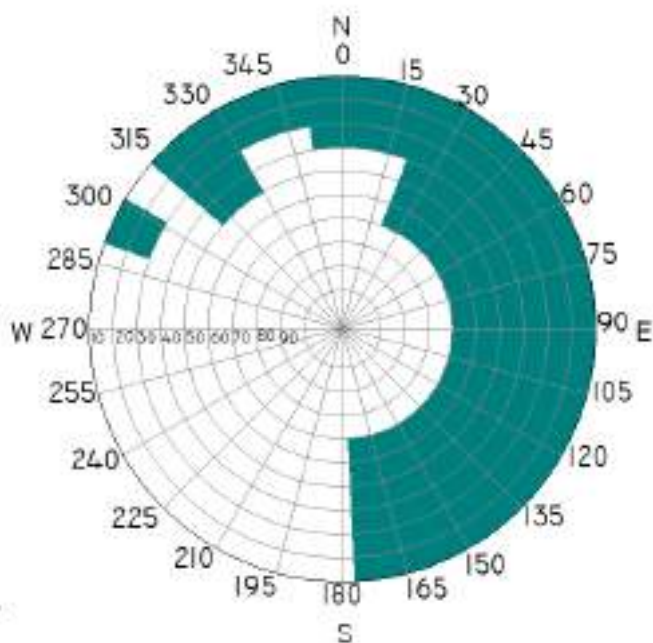


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG15**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023



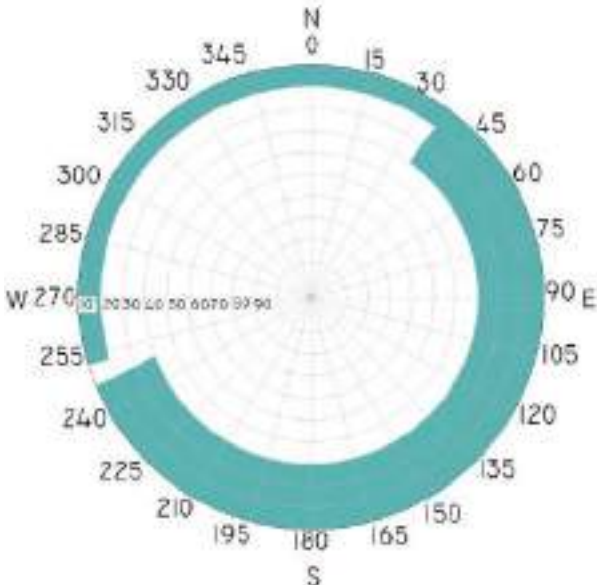


RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



<div><div><div>UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS</div></div><div><div>MAPA DE VISIBILIDADE Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</div></div></div>	
Nome da Estação: DG16	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO
	 <div>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</div>
	RECORTE AÉREO
	 <div>ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM</div>
VISIBILIDADE PANORÂMICA	



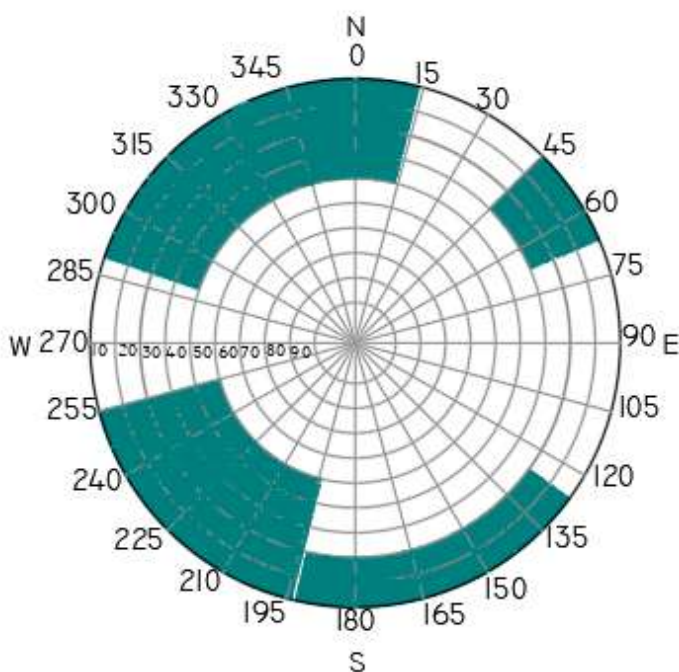
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS



MAPA DE VISIBILIDADE Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG17**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023




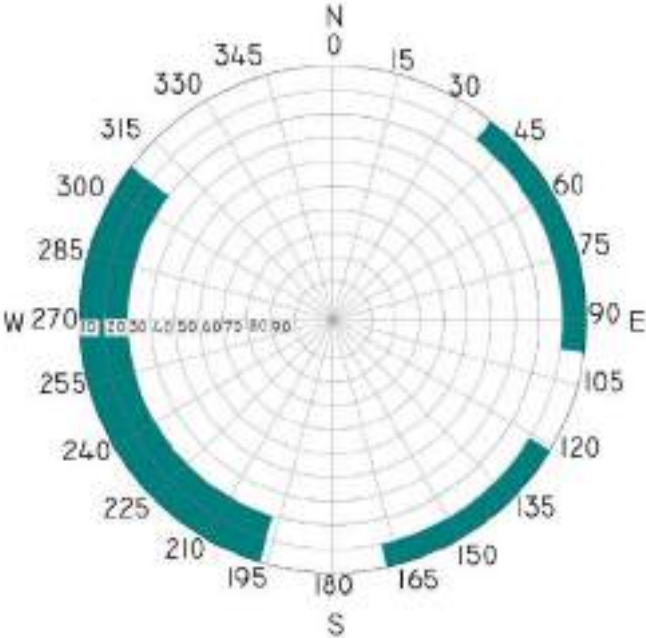
RECORTE AÉREO



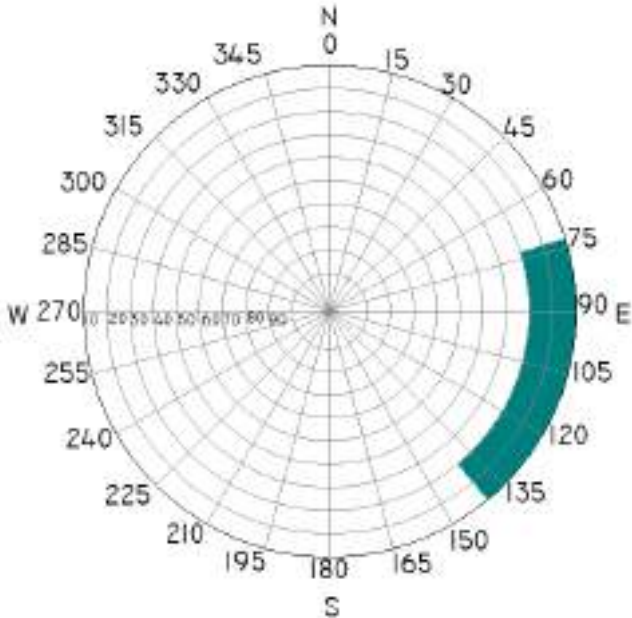





ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



<div> <div>  <div> <div>UNIVERSIDADE FEDERAL</div> <div>DE ALAGOAS</div> </div> </div> <div>  <div> <div>MAPA DE VISIBILIDADE</div> <div>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</div> </div> </div> </div>	
Nome da Estação: DG18	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE	<div>FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO</div> <div> <div>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</div> <div>RECORTE AÉREO</div> <div>  <div>N</div> <div>↑</div> </div> <div>ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM</div> </div>
<div>  </div>	
VISIBILIDADE PANORÂMICA	

  <div> MAPA DE VISIBILIDADE Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS </div>	
Nome da Estação: DG19	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE 	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO 
DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023	
RECORTE AÉREO	
Não existente	
<div style="text-align: right;"> N  </div>	
VISIBILIDADE PANORÂMICA	
	



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

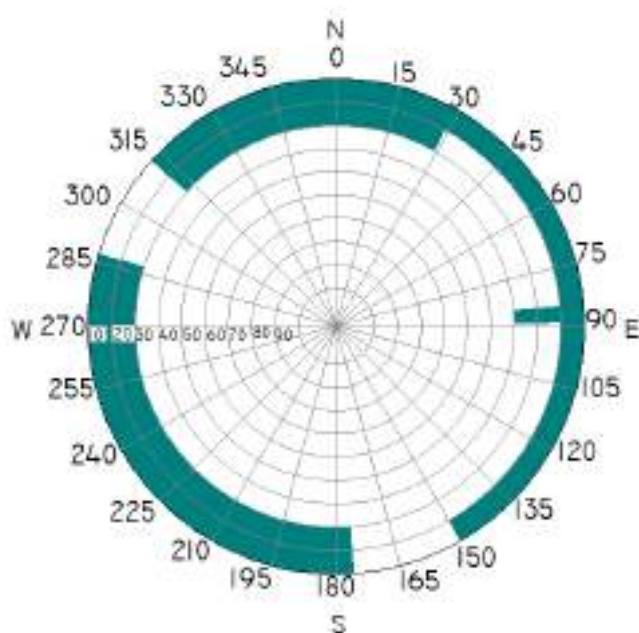


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: DG20

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

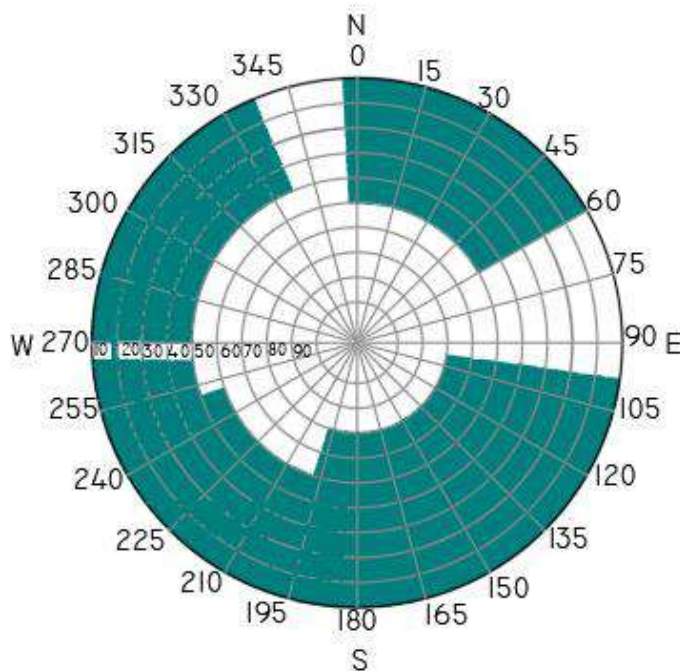


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG21**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO

Não existente

VISIBILIDADE PANORÂMICA





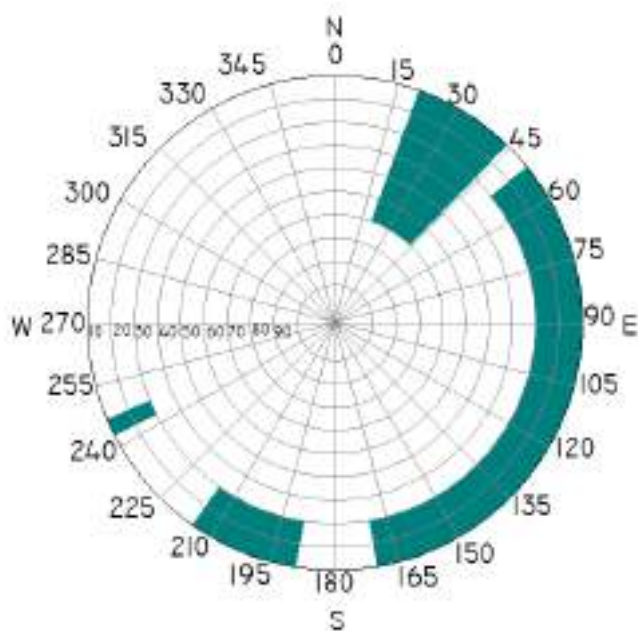
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS



MAPA DE VISIBILIDADE Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG22**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

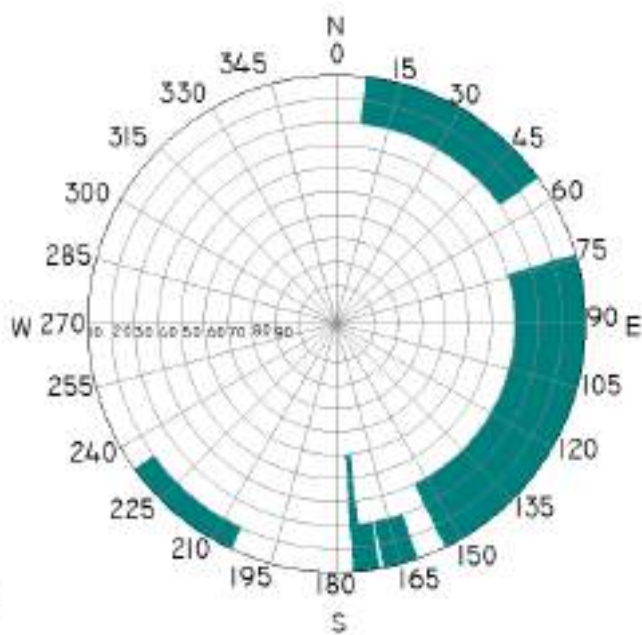


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG23**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



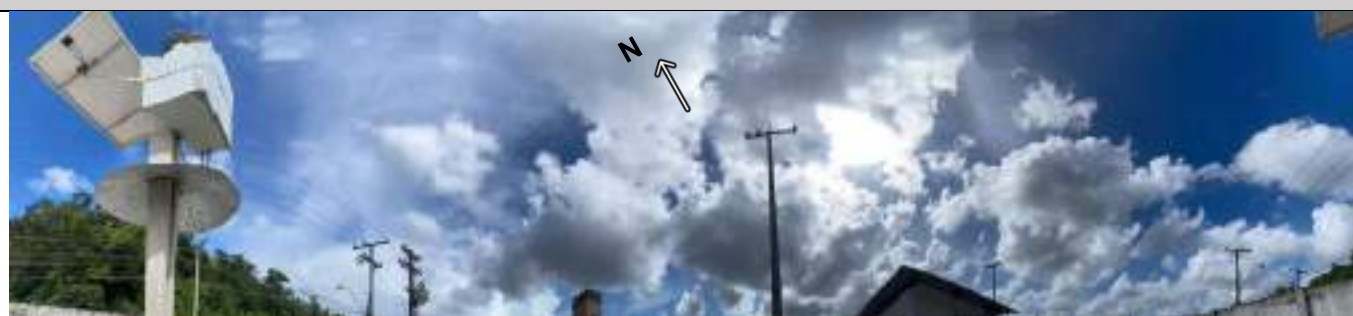
DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

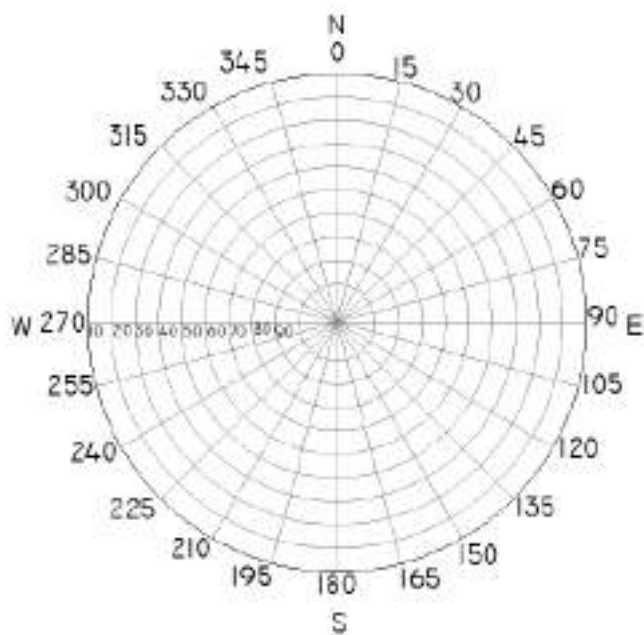


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG24**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

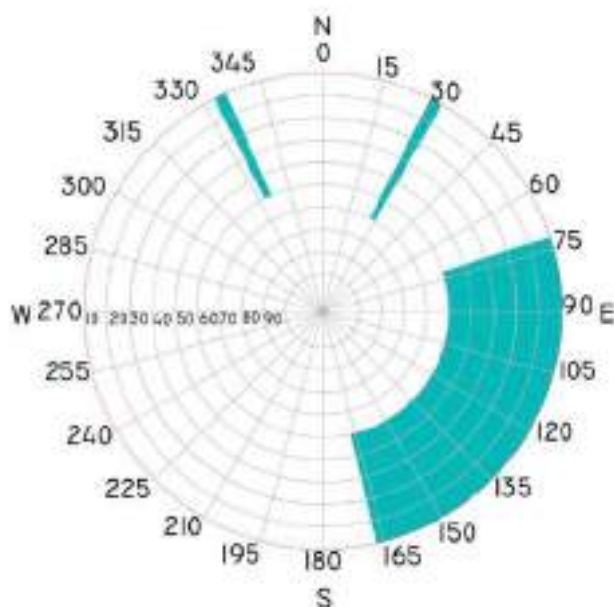


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG25**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

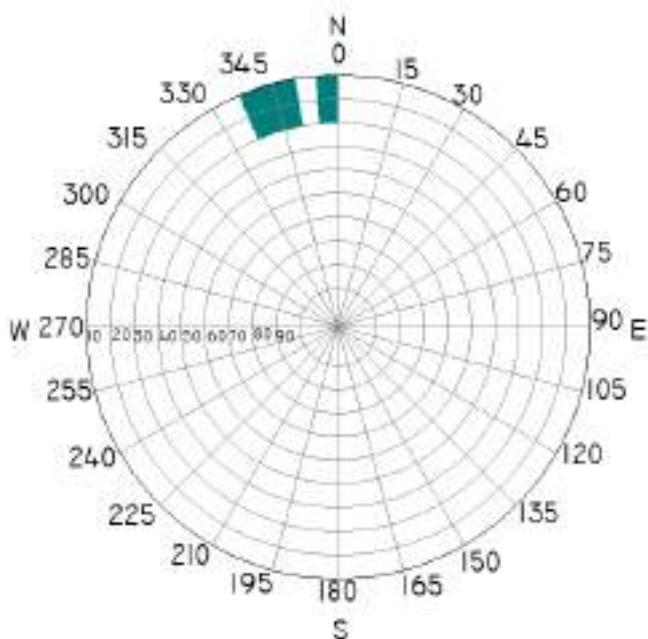


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG26**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

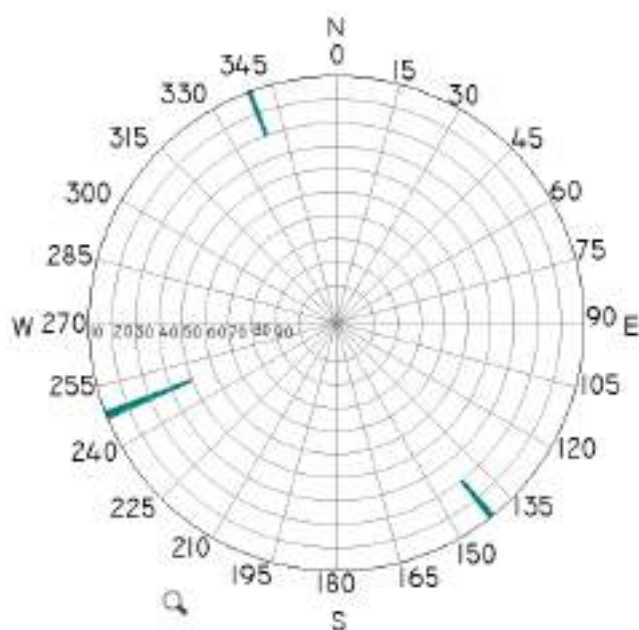


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG27**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

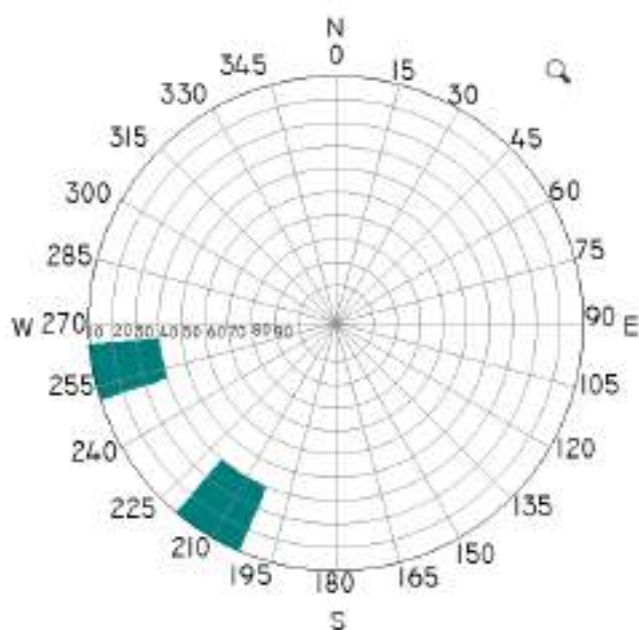


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG28**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

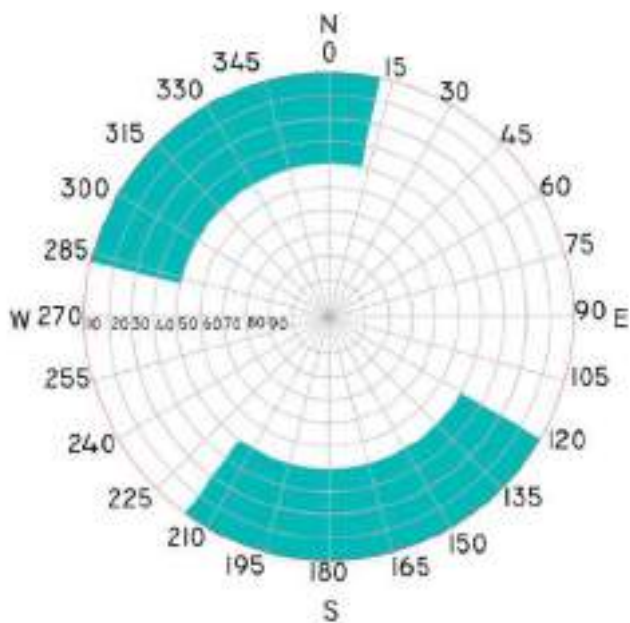


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG29**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

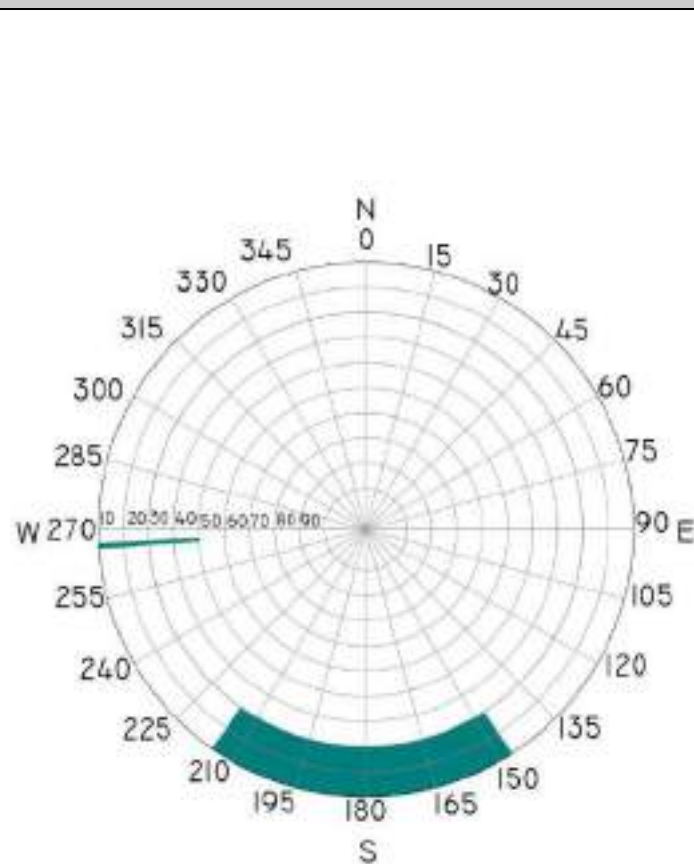


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG30**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

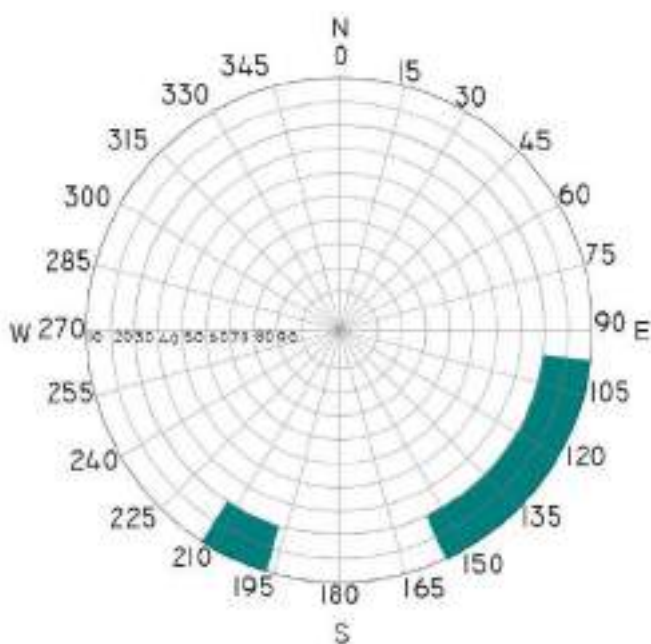


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG31**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



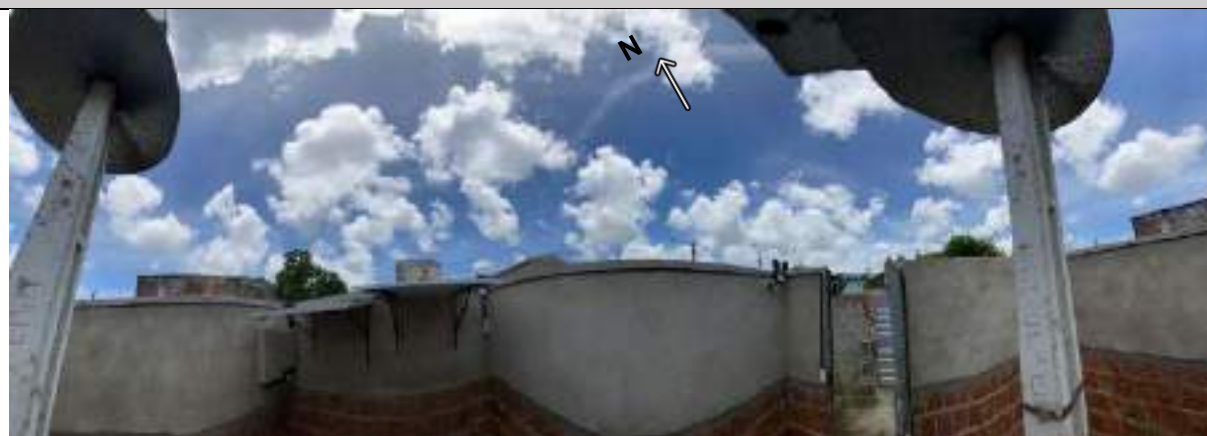
DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

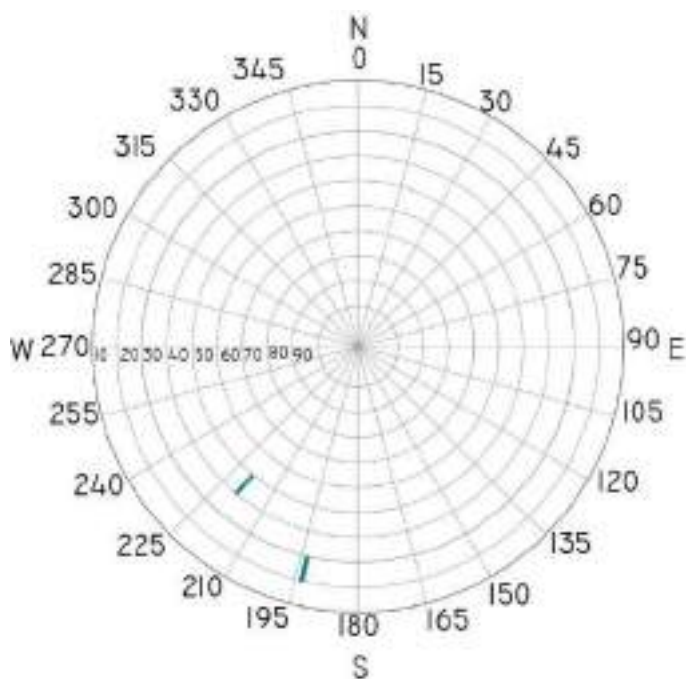


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG32**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

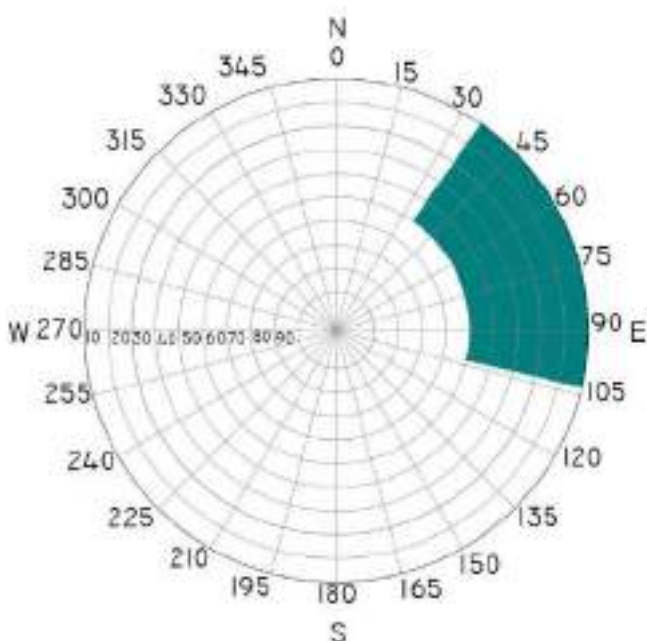


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG33**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

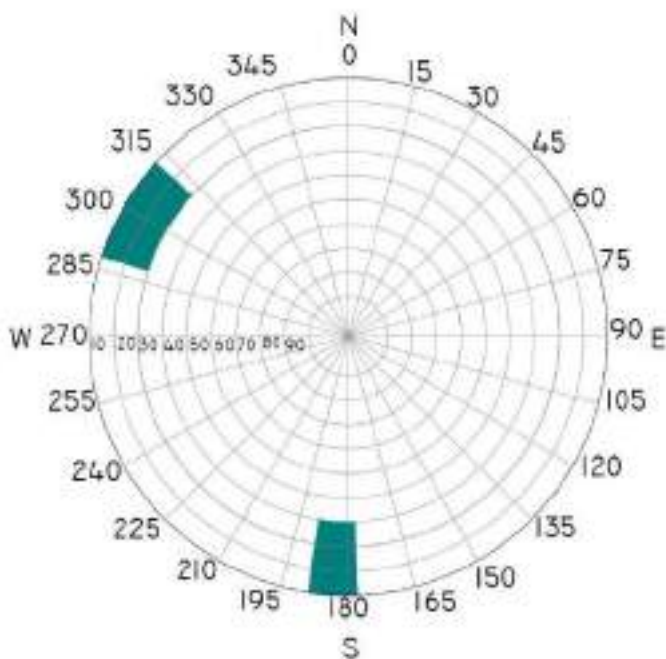


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG34**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

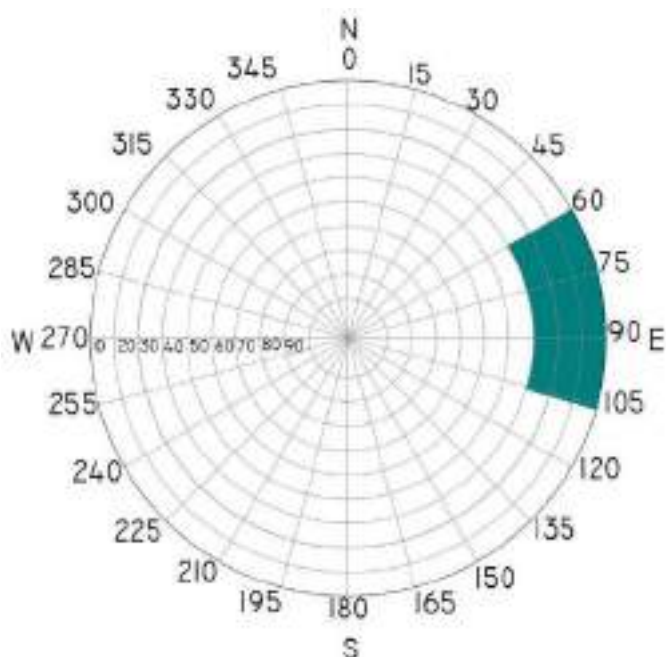


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG35**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

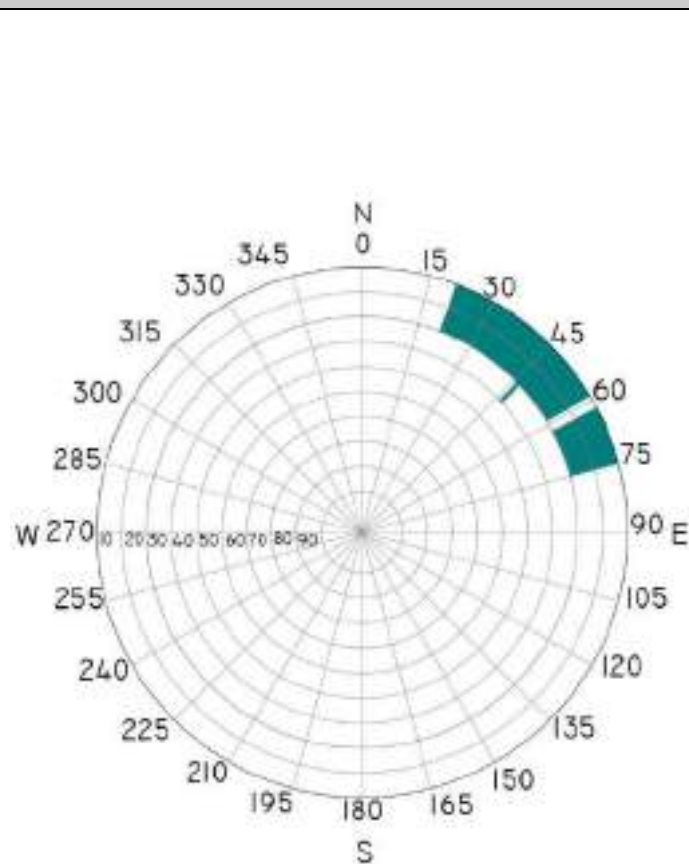


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG36**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

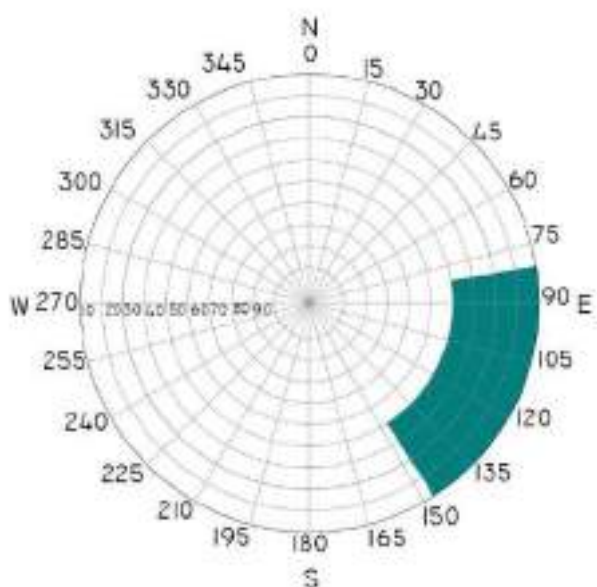


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG37**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

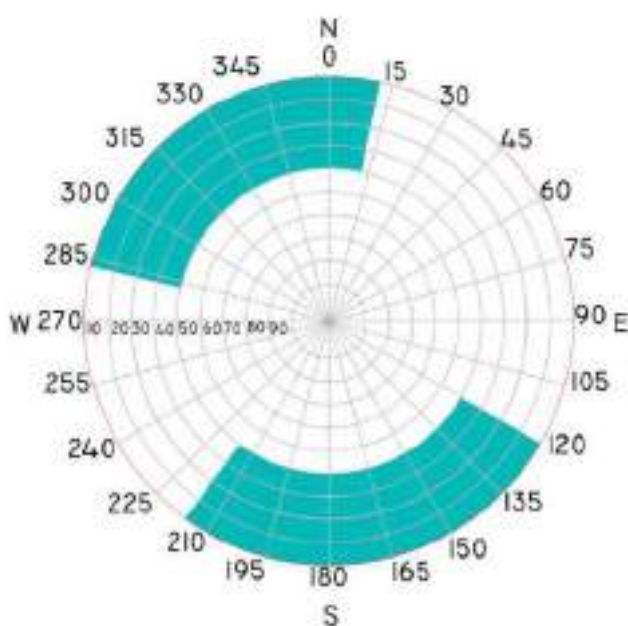


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG38**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

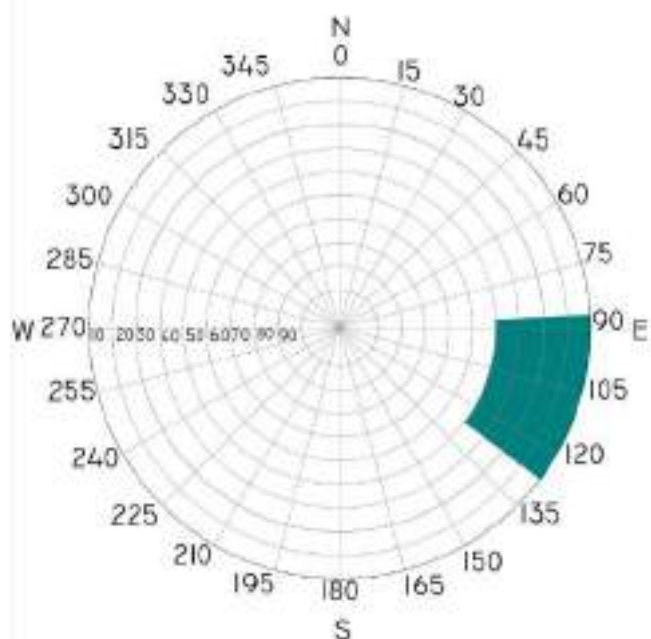


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG39**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023



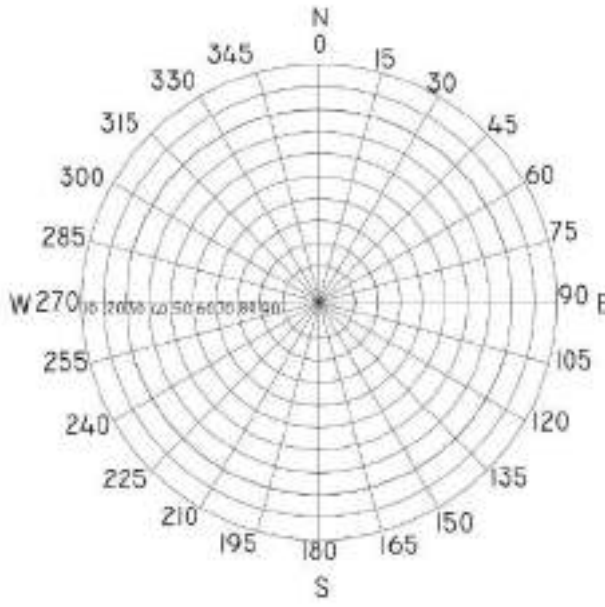



RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  <div style="margin-left: 20px;"> <h2 style="margin: 0;">MAPA DE VISIBILIDADE</h2> <p style="margin: 0;">Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p> </div> </div> </div>	
Nome da Estação: DG40	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE 	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO  <p>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</p>
	RECORTE AÉREO  <p>ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM</p>
VISIBILIDADE PANORÂMICA 	



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

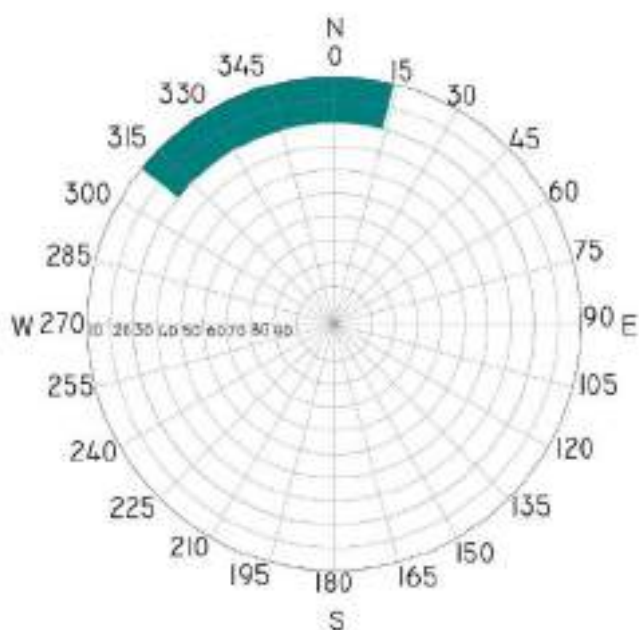


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG41**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

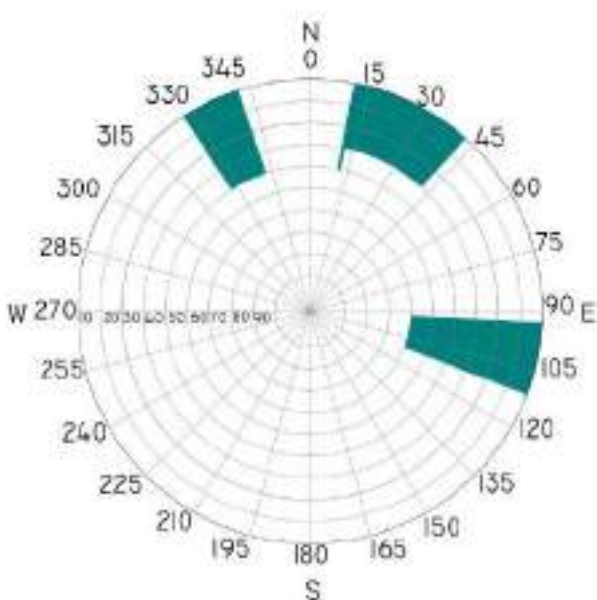


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG43**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

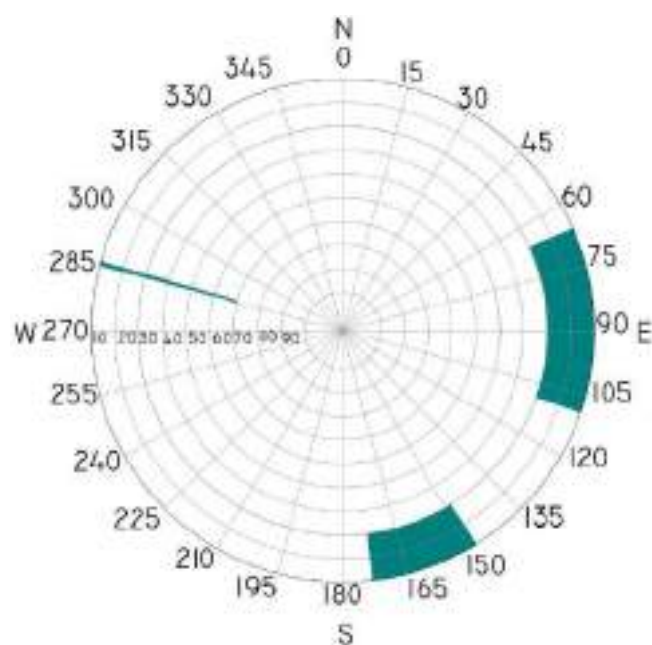


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG44**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

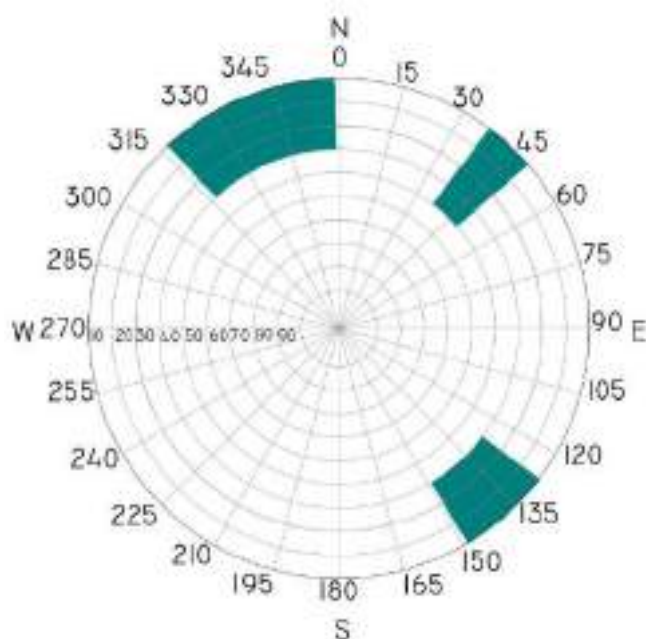


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG45**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

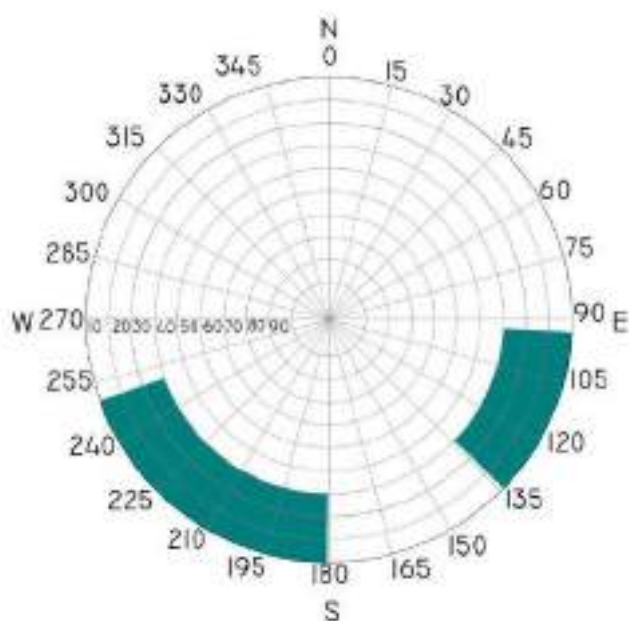


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG46**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

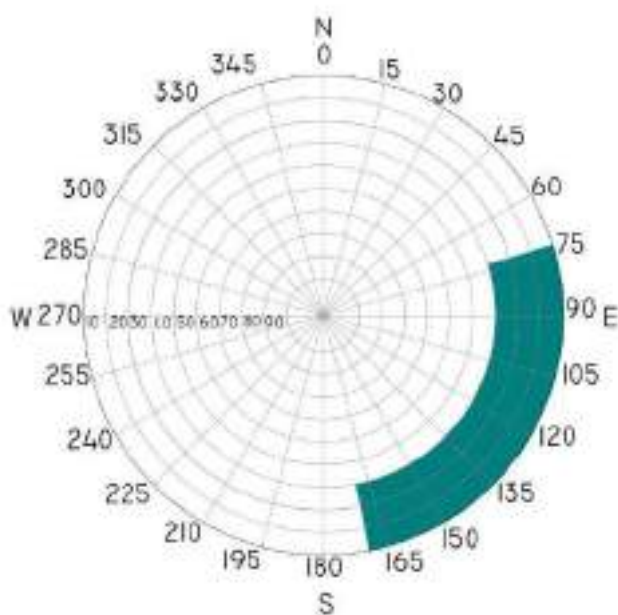


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG47**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

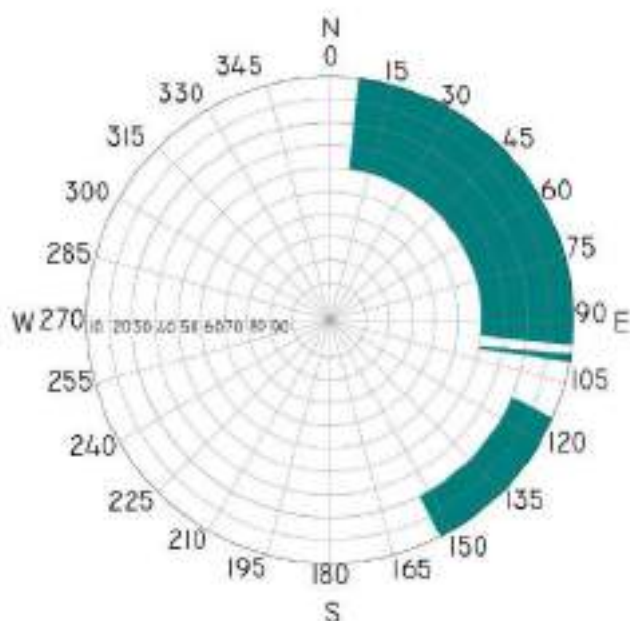


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG48**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

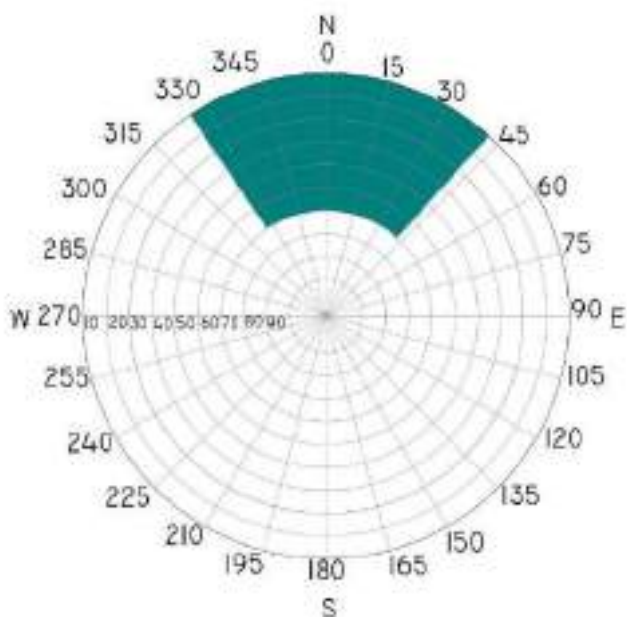


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG49**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

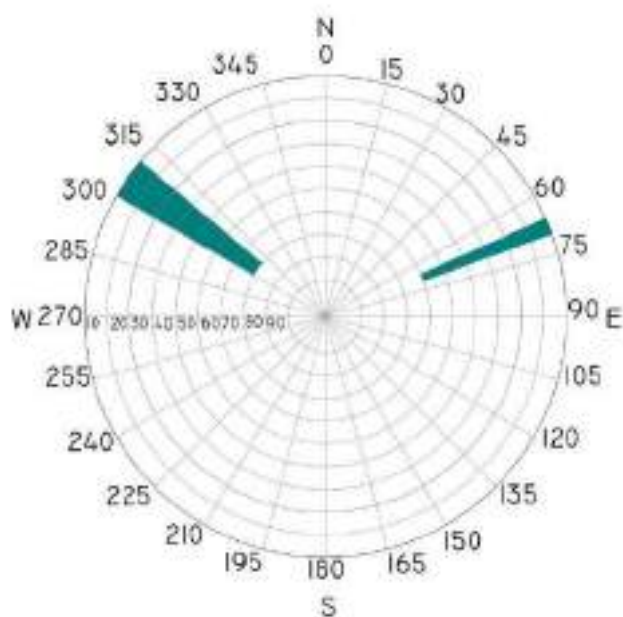


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG50**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



FORA DO LIMITE DA ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM.
FONTE GOOGLE EARTH

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

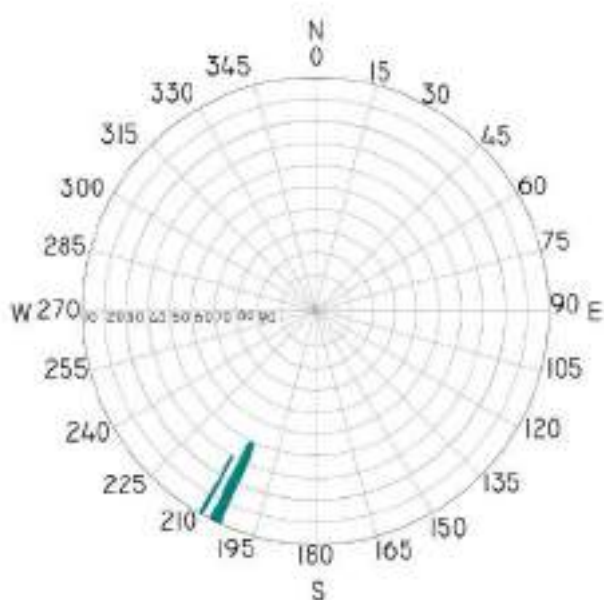


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG51**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

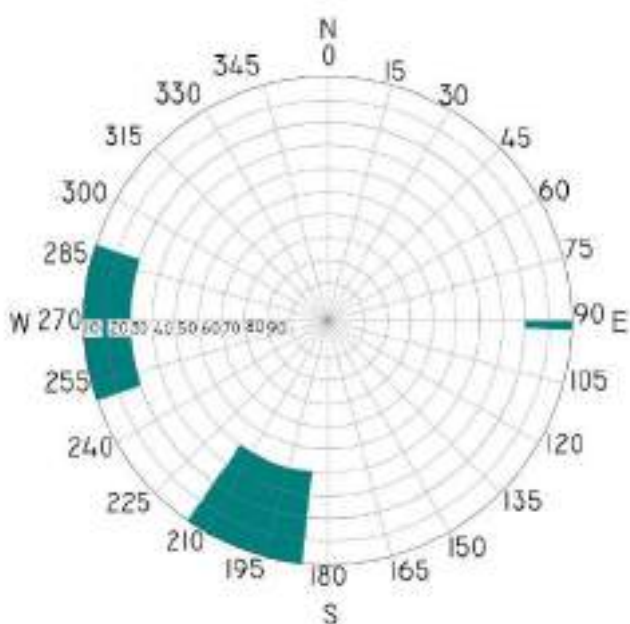


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG52**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

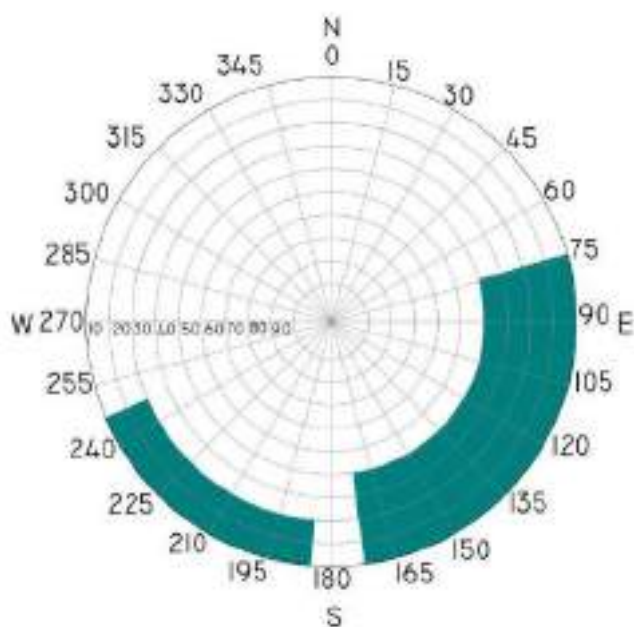


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG53**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



AREA FORA DO LIMITE DA ORTOFOTO FORNECIDA PELA
BRASKEM. FONTE GOOGLE EARTH.

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

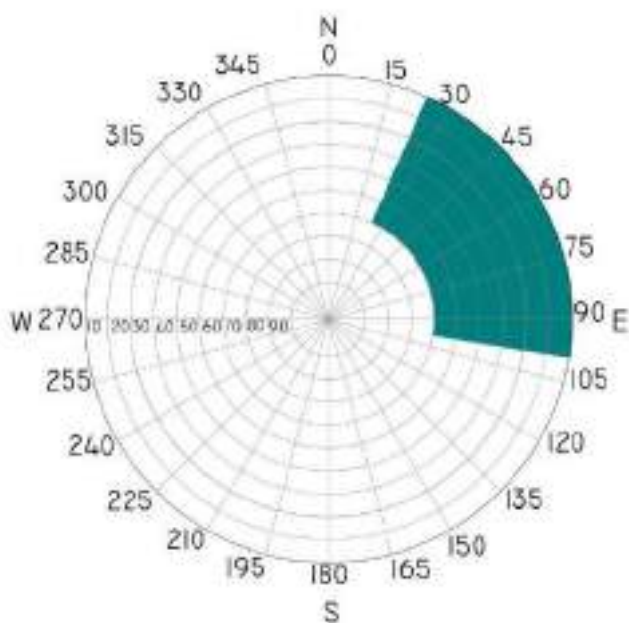


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG54**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

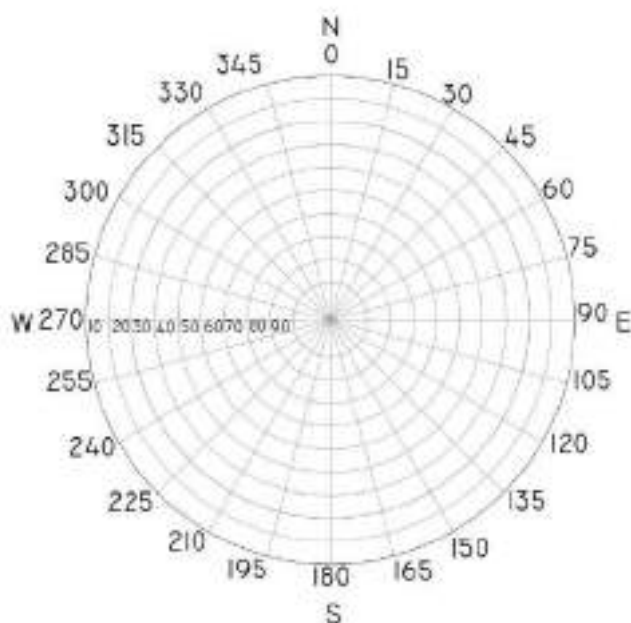


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG55**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

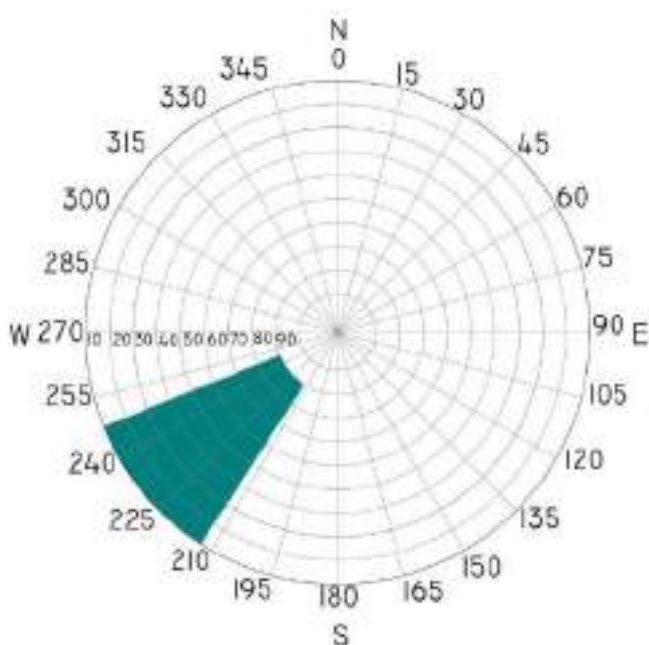


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG58**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

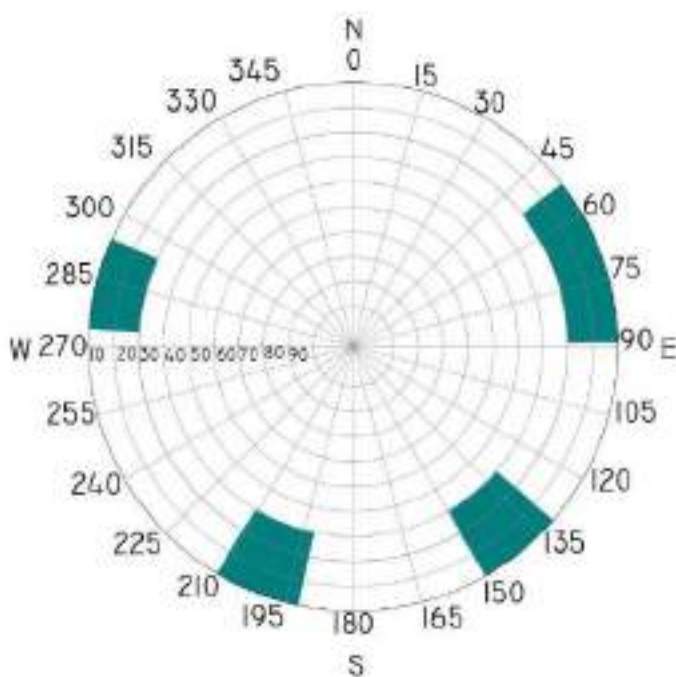


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG59**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

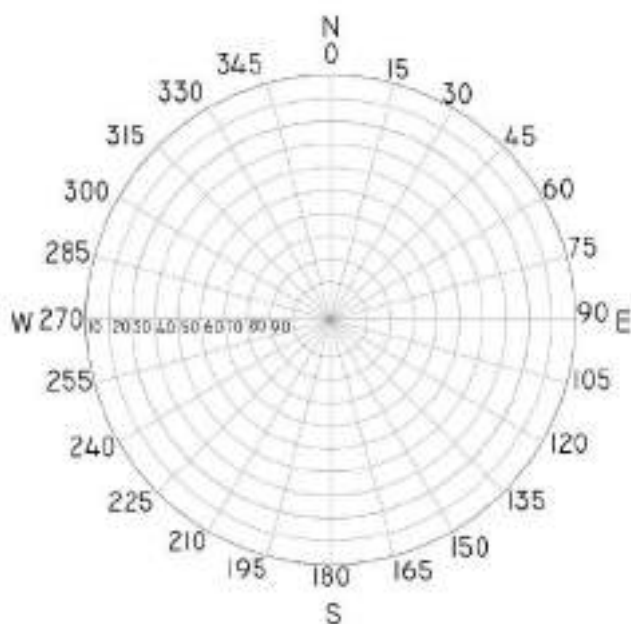


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG60**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

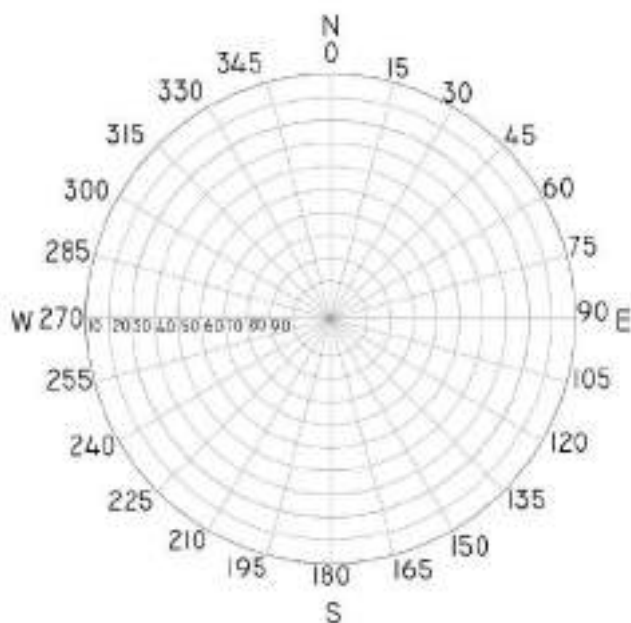


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG61**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

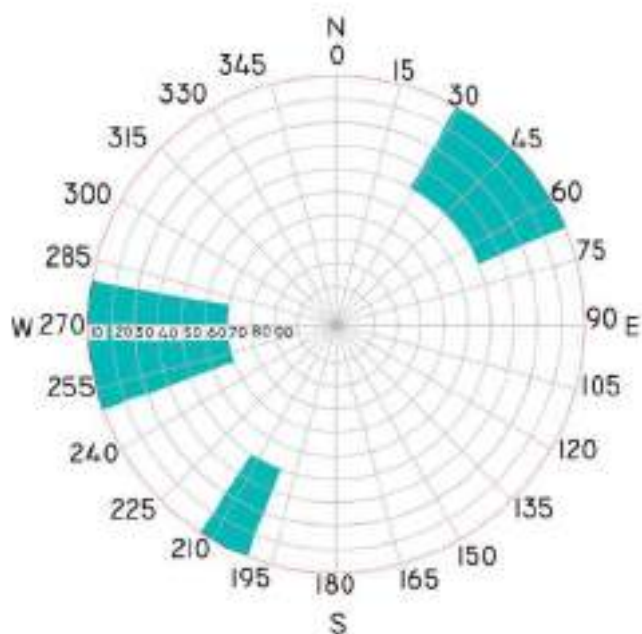


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **DG62**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

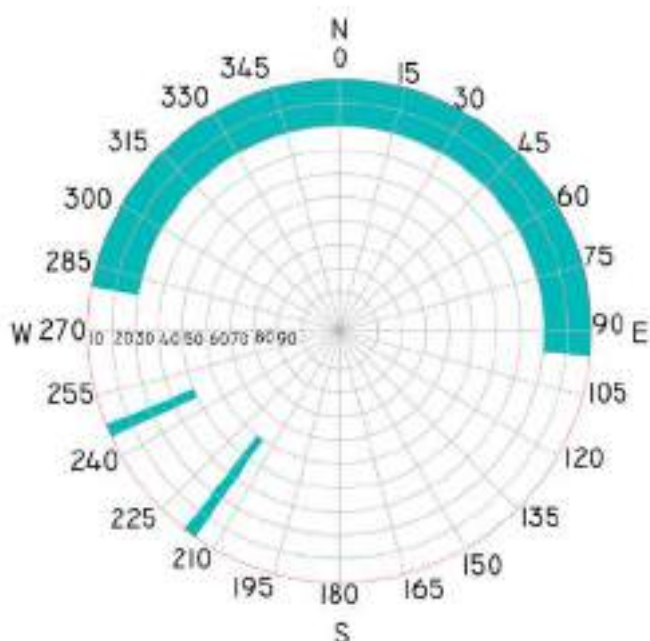


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 01**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

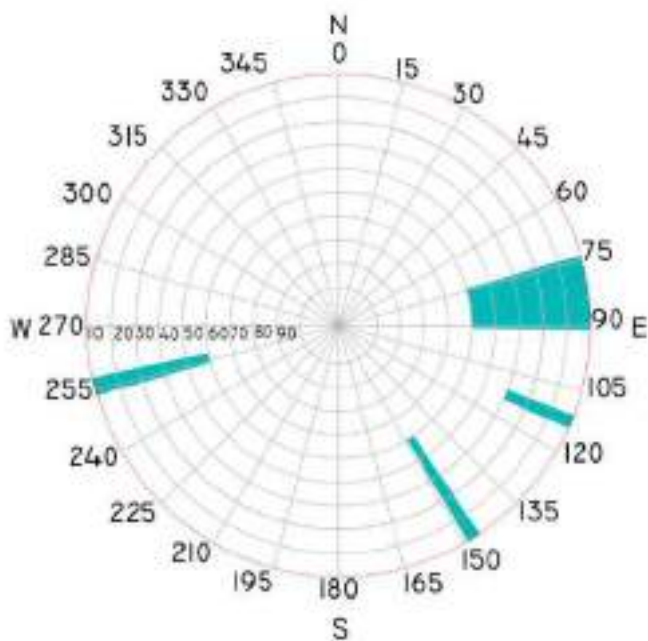


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 04**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

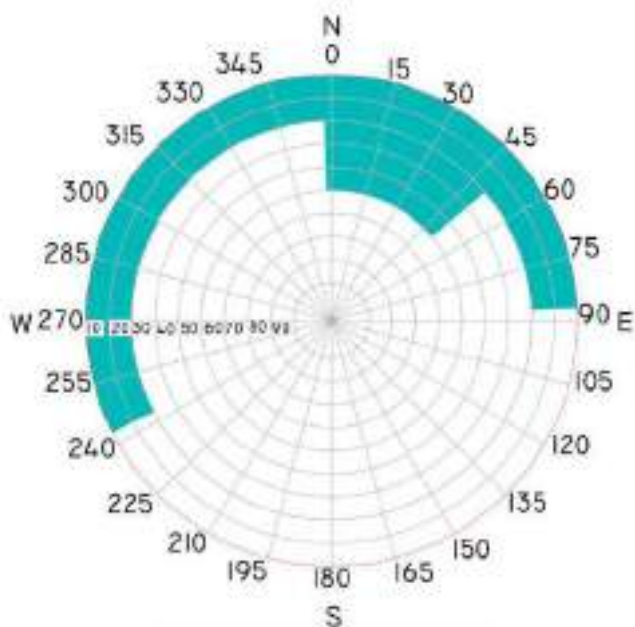


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 06**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

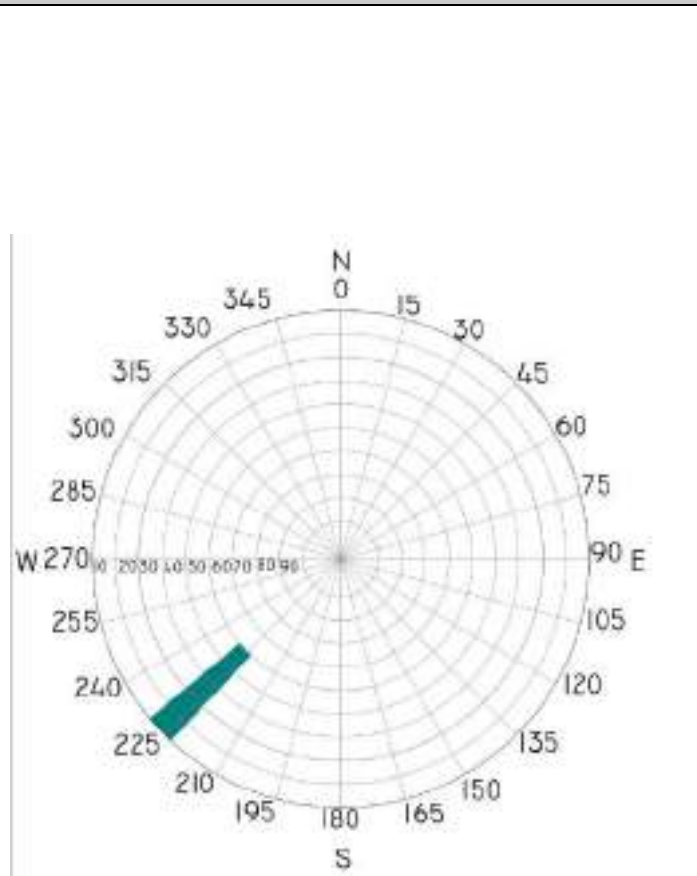


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 07**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

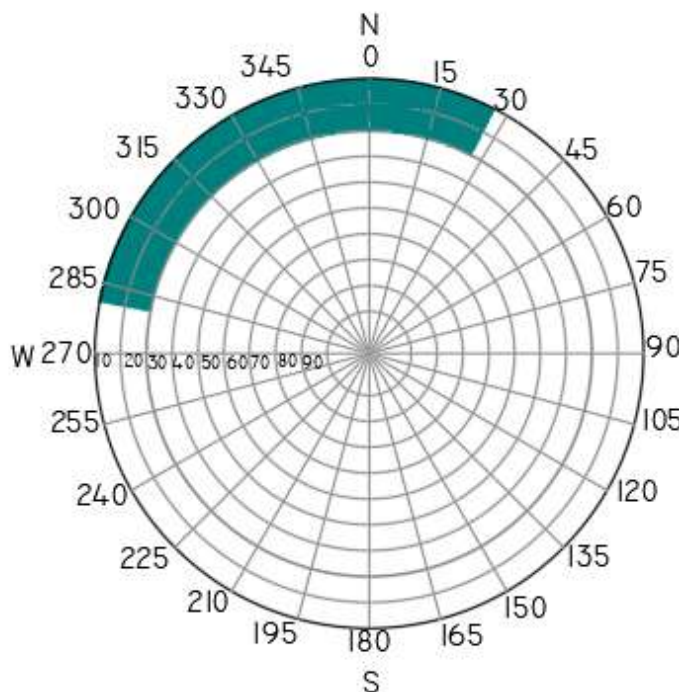


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 09**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

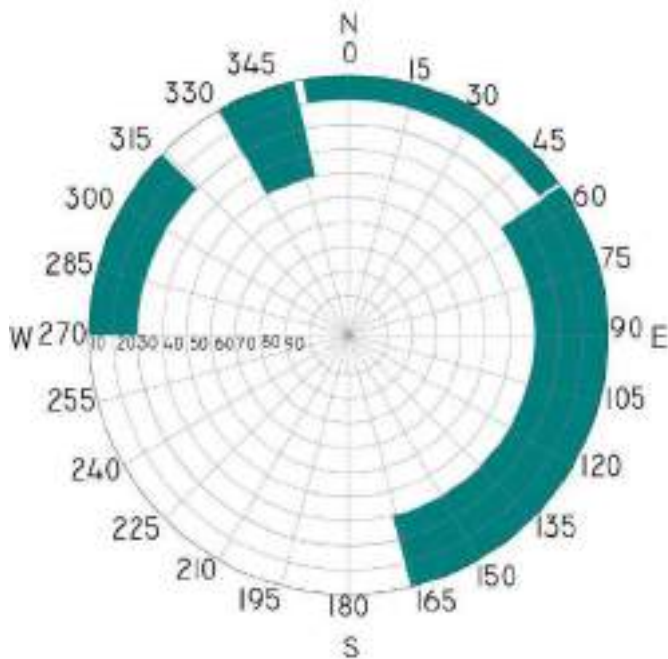


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 11**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

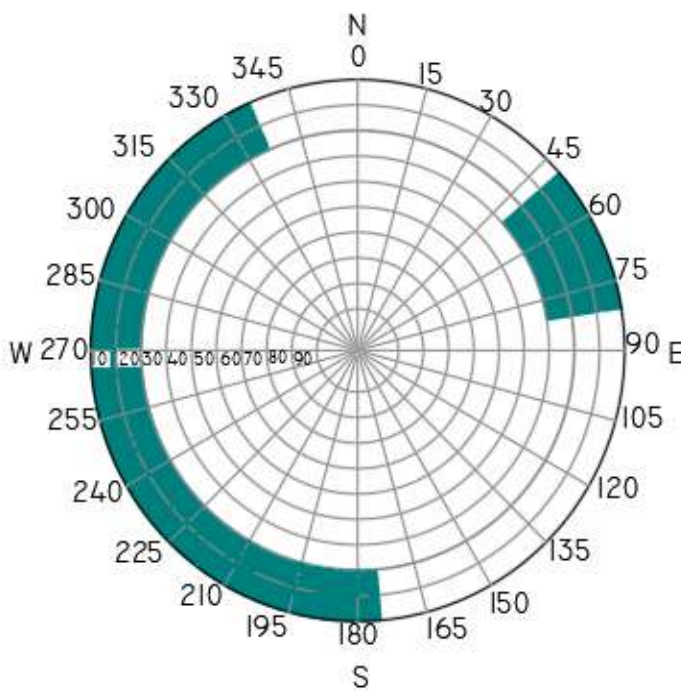


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 16**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



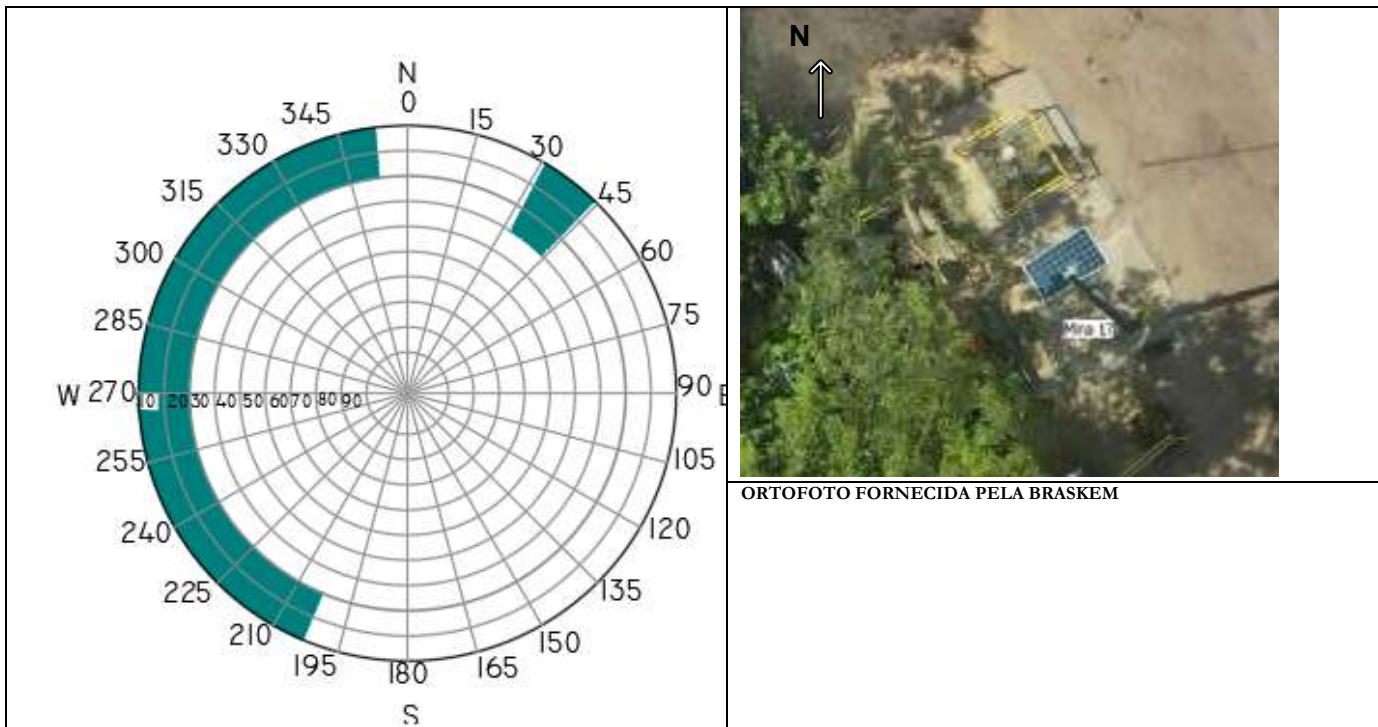
DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



VISIBILIDADE PANORÂMICA		ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM
		

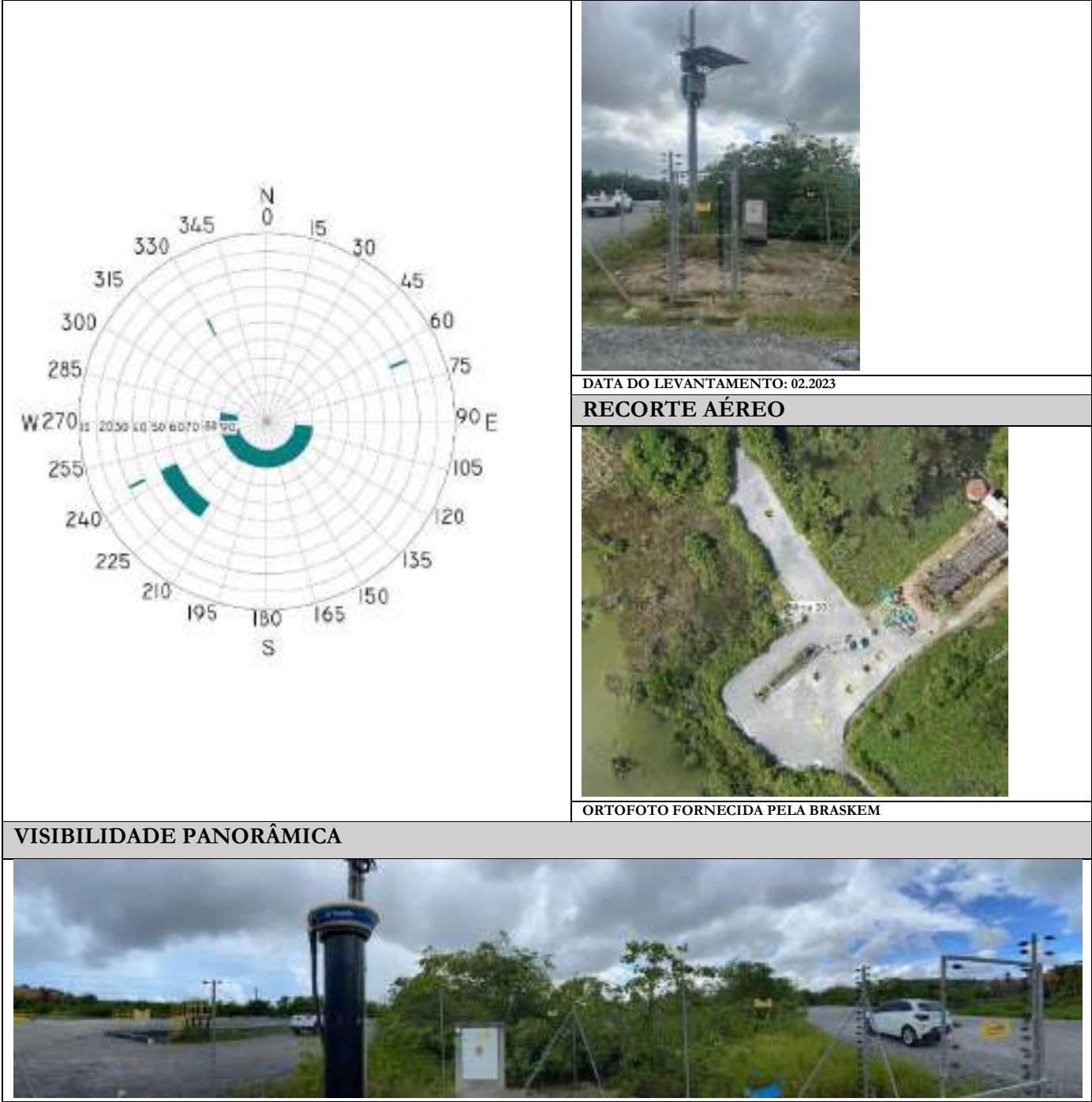
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS			MAPA DE VISIBILIDADE Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS
Nome da Estação: MINA 17			
GRÁFICO DE VISIBILIDADE		FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO	
			
		DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023	
		RECORTE AÉREO	



VISIBILIDADE PANORÂMICA



<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS</p>	<h2>MAPA DE VISIBILIDADE</h2> <p>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p>
<p>Nome da Estação: MINA 20</p>	
<p>GRÁFICO DE VISIBILIDADE</p>	<p>FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO</p>





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

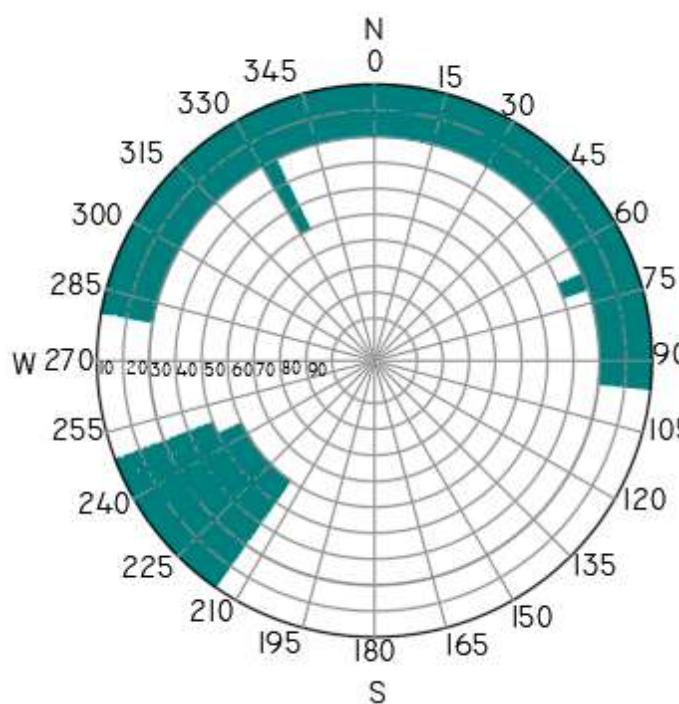


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 32**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

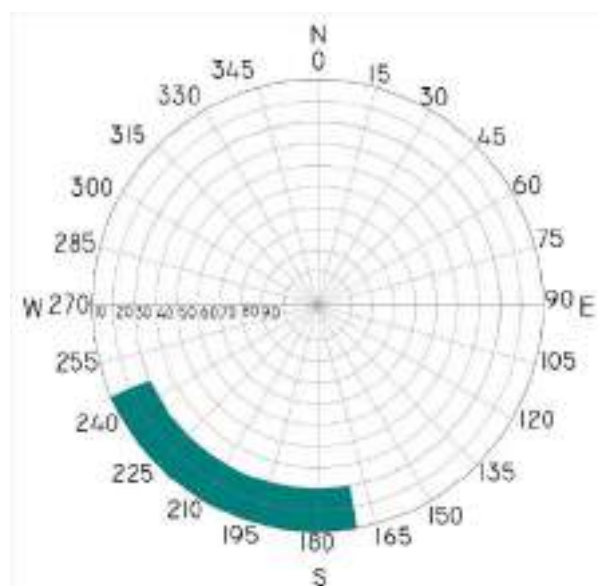


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **MINA 35**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023

RECORTE AÉREO



ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM

VISIBILIDADE PANORÂMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

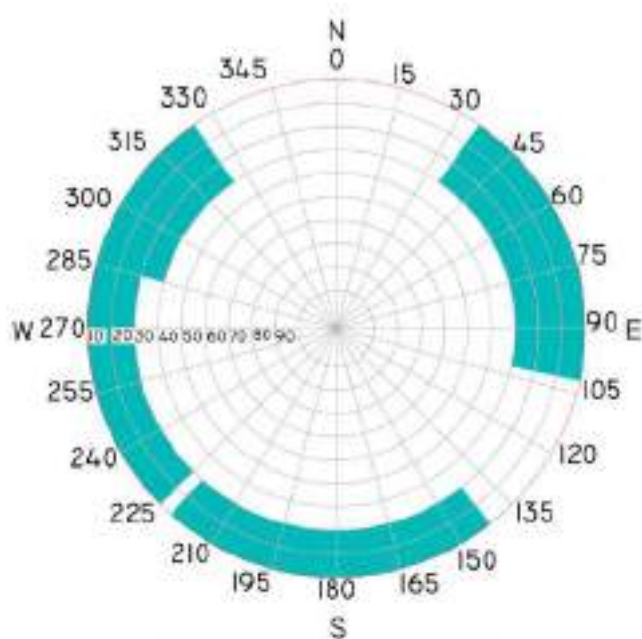


MAPA DE VISIBILIDADE

Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS

Nome da Estação: **BASE EXÉRCITO**

GRÁFICO DE VISIBILIDADE



FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO



DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023



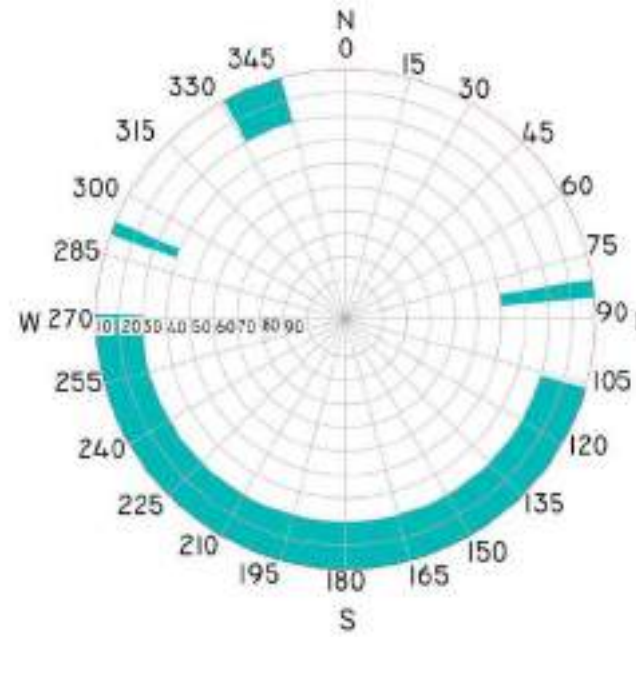



RECORTE AÉREO



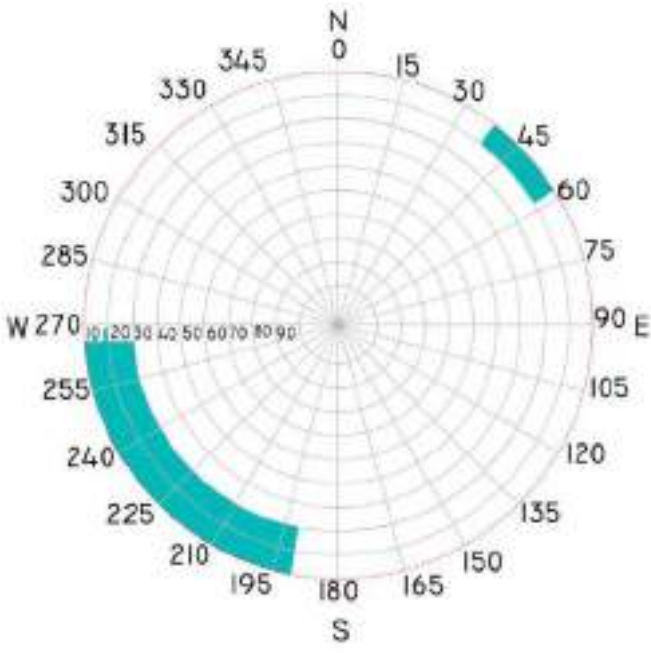





AREA FORA DO LIMITE DA ORTOFOTO FORNECIDA PELA
BRASKEM. FONTE GOOGLE EARTH.

VISIBILIDADE PANORÂMICA

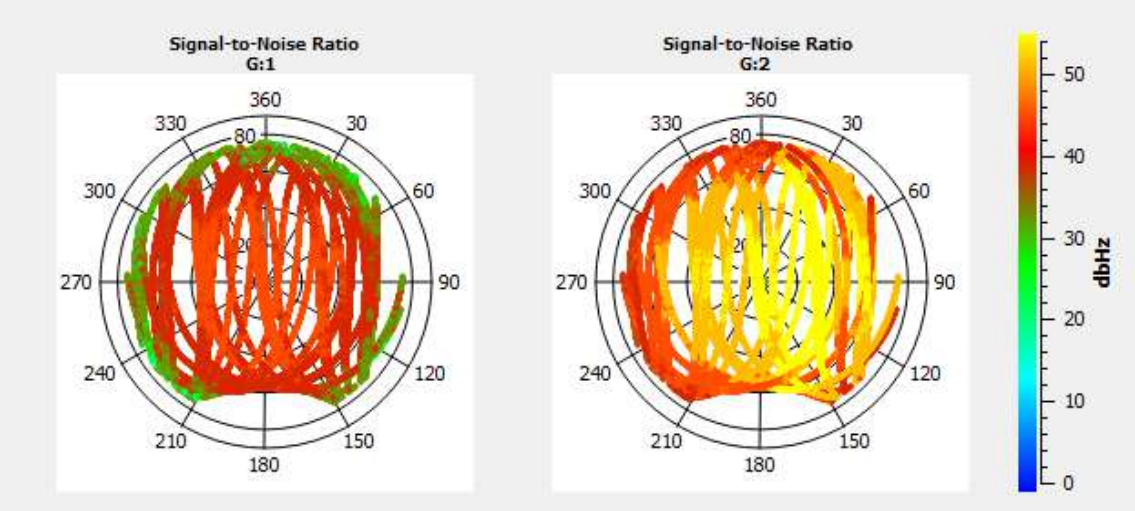
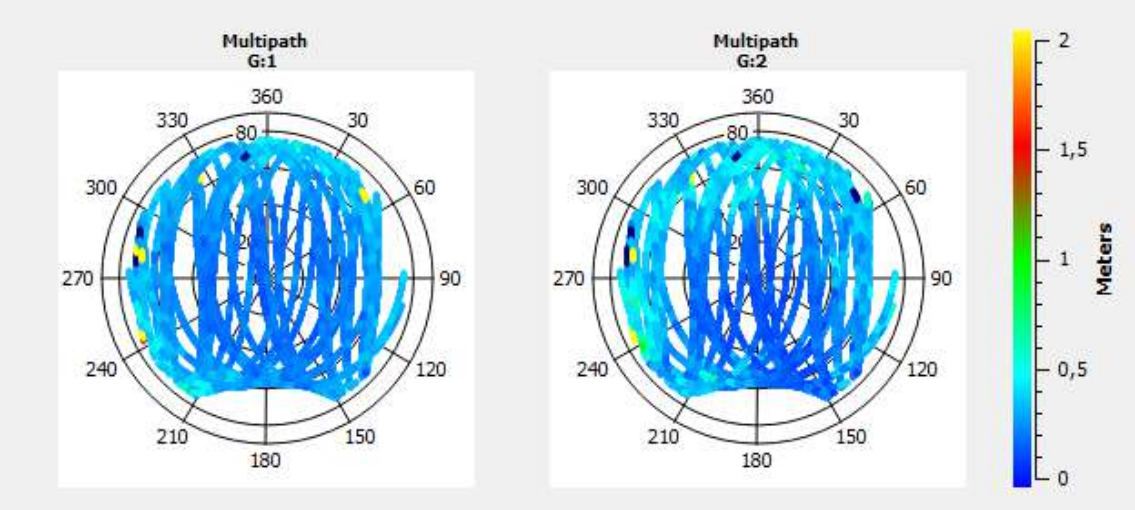
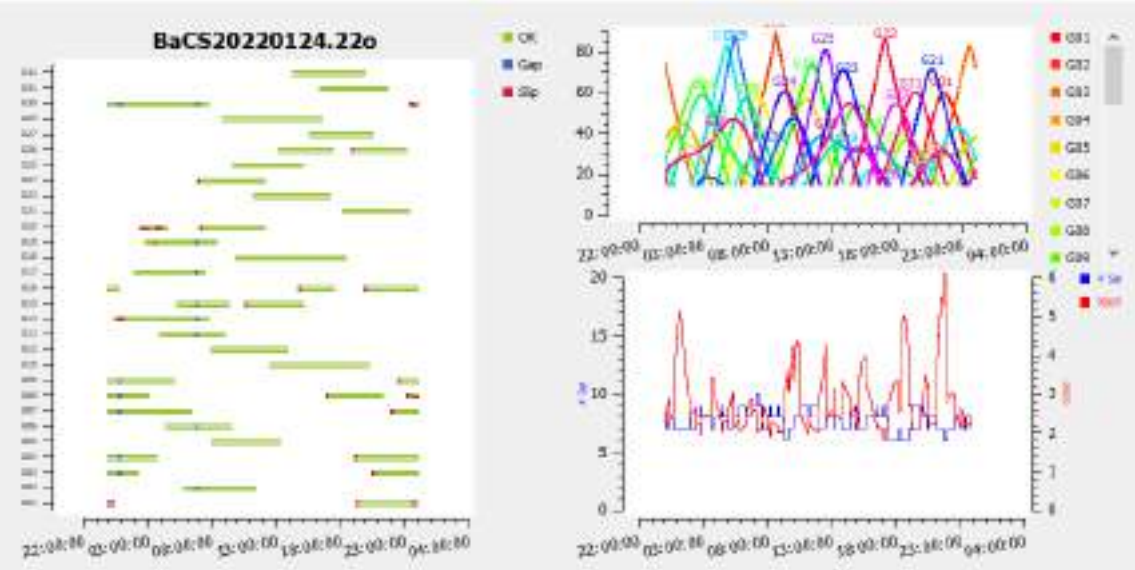


<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>MAPA DE VISIBILIDADE</p> <p>Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS</p> </div> </div> </div>	
<p>Nome da Estação: BASE PVC</p>	
<p>GRÁFICO DE VISIBILIDADE</p> 	<p>FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO</p>  <p>DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023</p> <p>RECORTE AÉREO</p>  <p>AREA FORA DO LIMITE DA ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM. FONTE GOOGLE EARTH.</p>
<p>VISIBILIDADE PANORÂMICA</p> 	

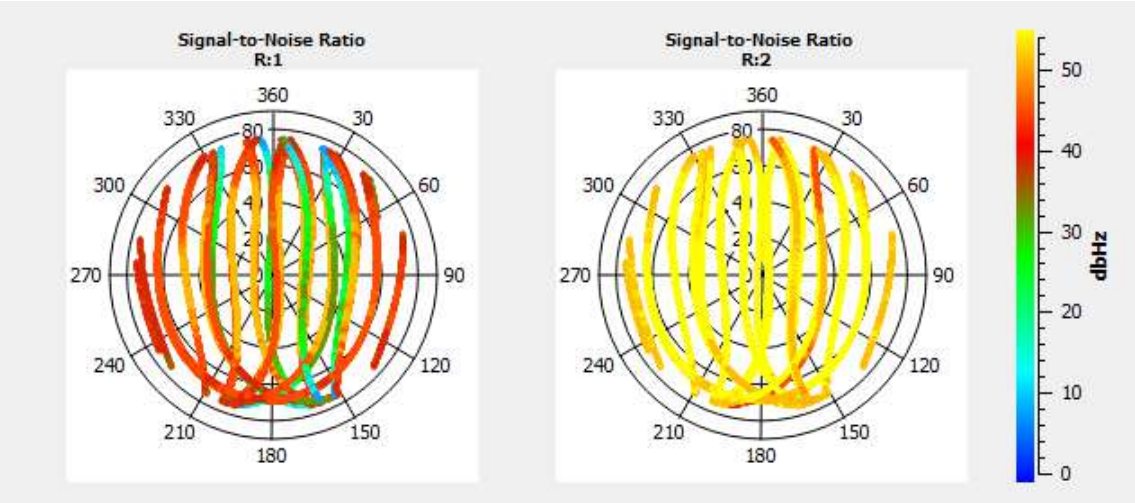
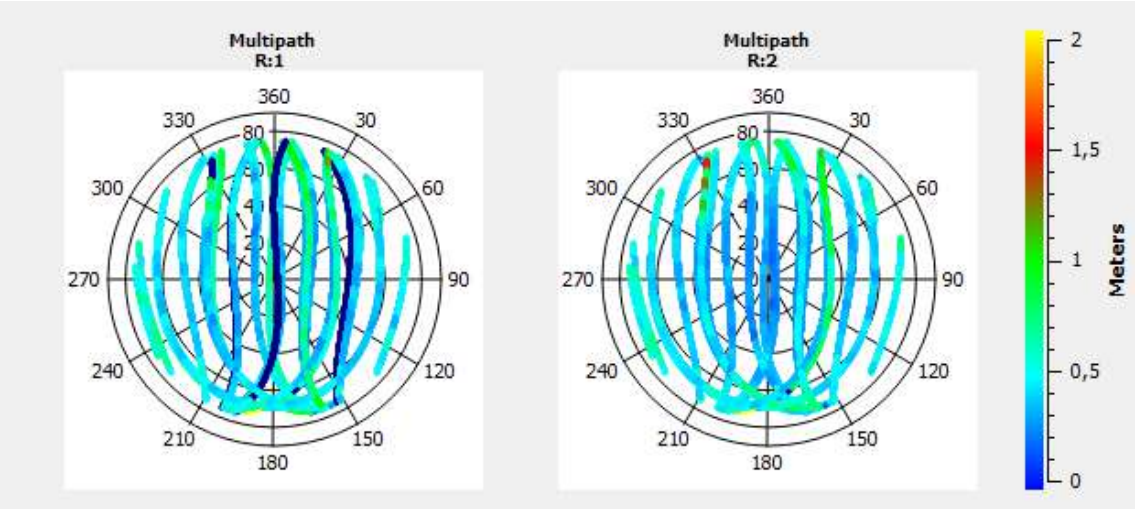
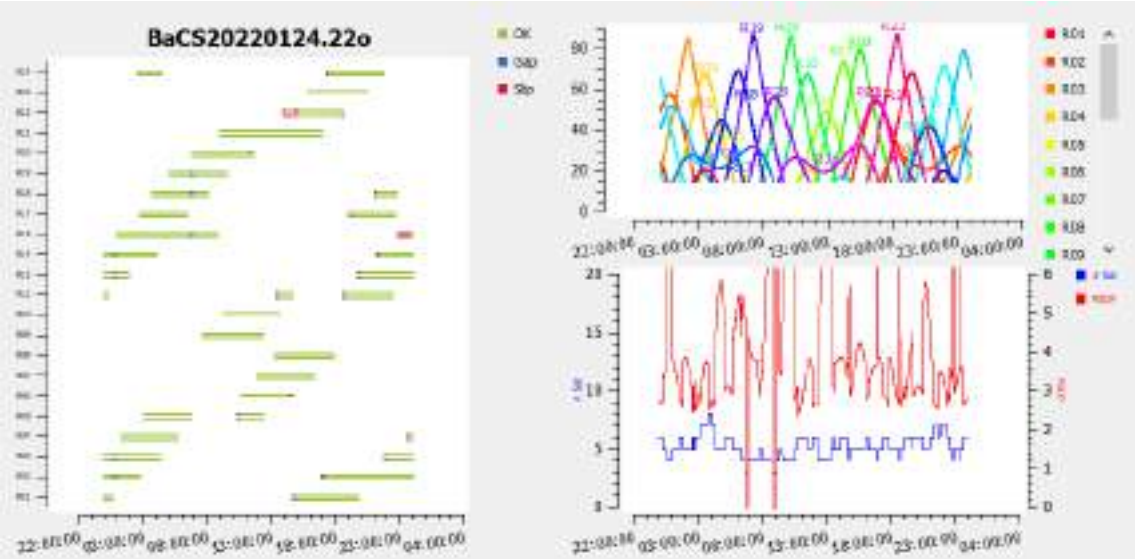
<div>   <div> MAPA DE VISIBILIDADE Possíveis fontes de obstruções de sinal GNSS </div> </div>	
Nome da Estação: BASE UCS	
GRÁFICO DE VISIBILIDADE	FOTOGRAFIA DA ESTAÇÃO
	
	DATA DO LEVANTAMENTO: 02.2023
	RECORTE AÉREO
	
	AREA FORA DO LIMITE DA ORTOFOTO FORNECIDA PELA BRASKEM. FONTE GOOGLE EARTH.
VISIBILIDADE PANORÂMICA	
	

**APÊNDICE 02: INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DAS ESTAÇÕES
REFERENTES AO ITEM 4
DADOS AVALIADOS DO DIA 24/01/2022**

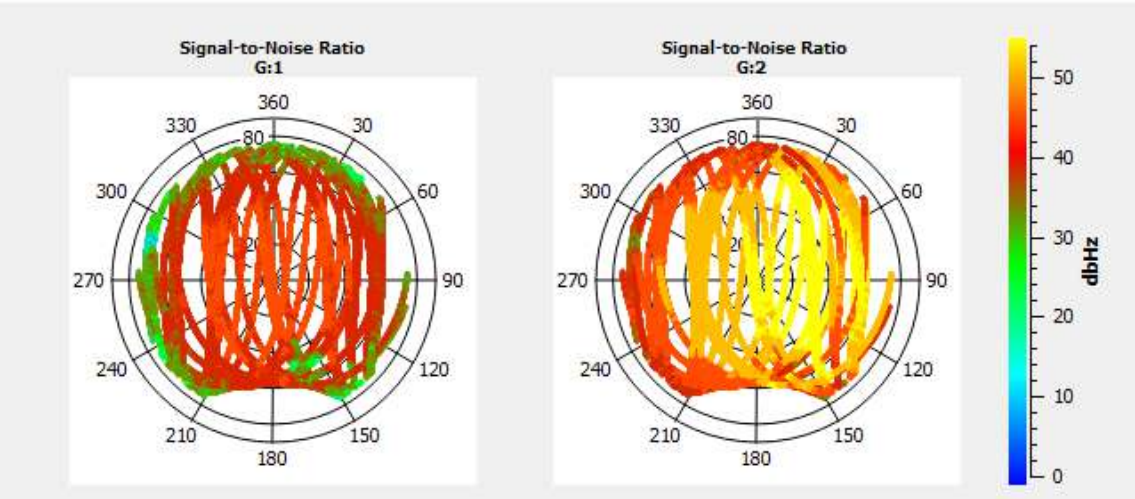
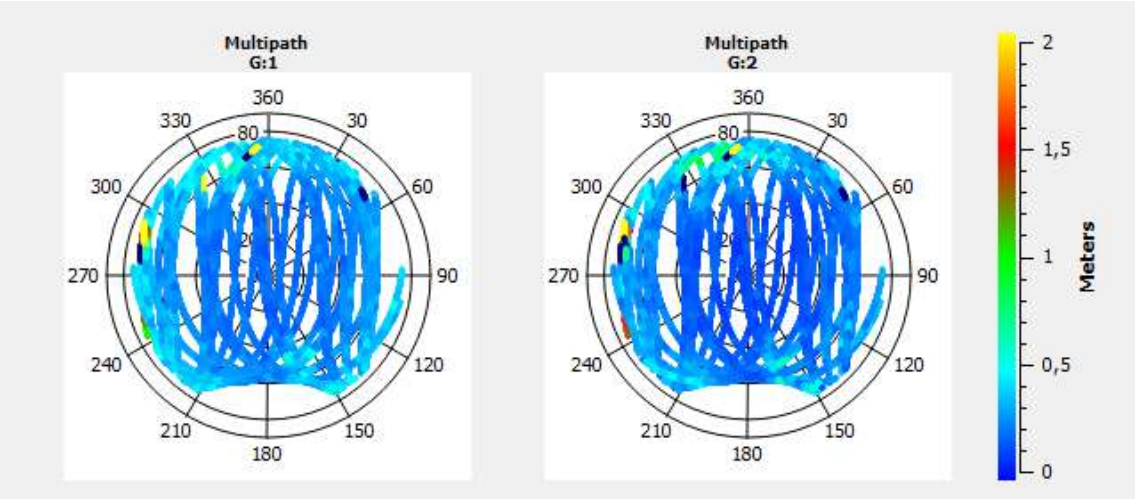
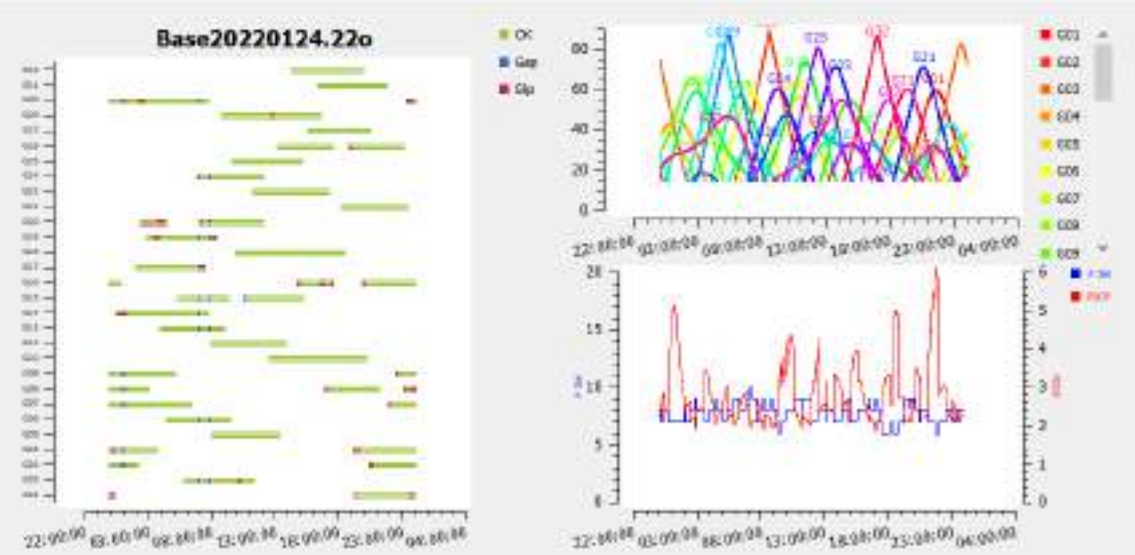
ESTAÇÕES BASE
BaSC - GPS



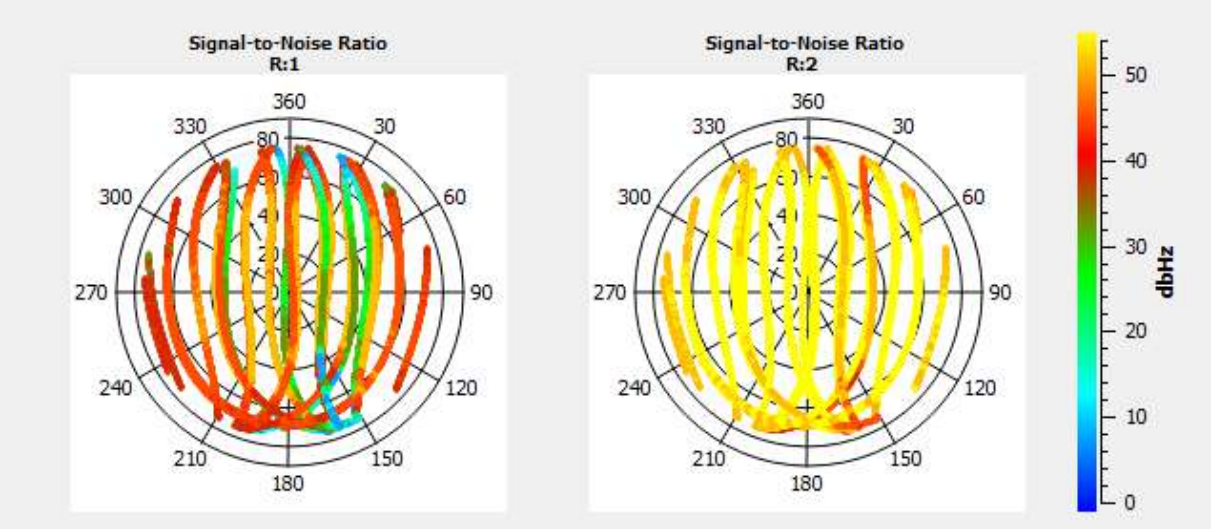
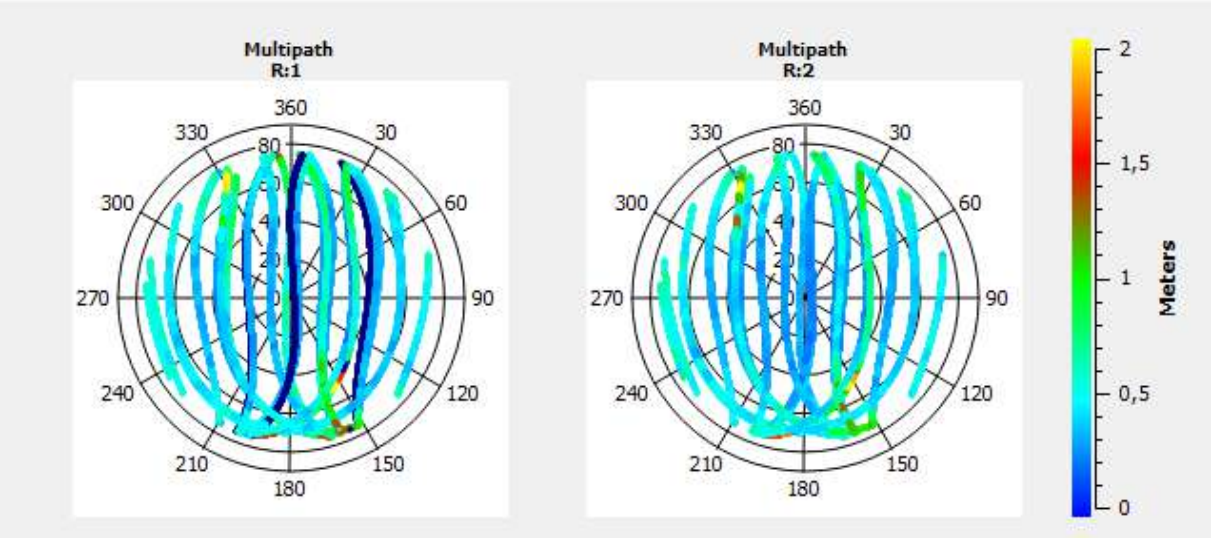
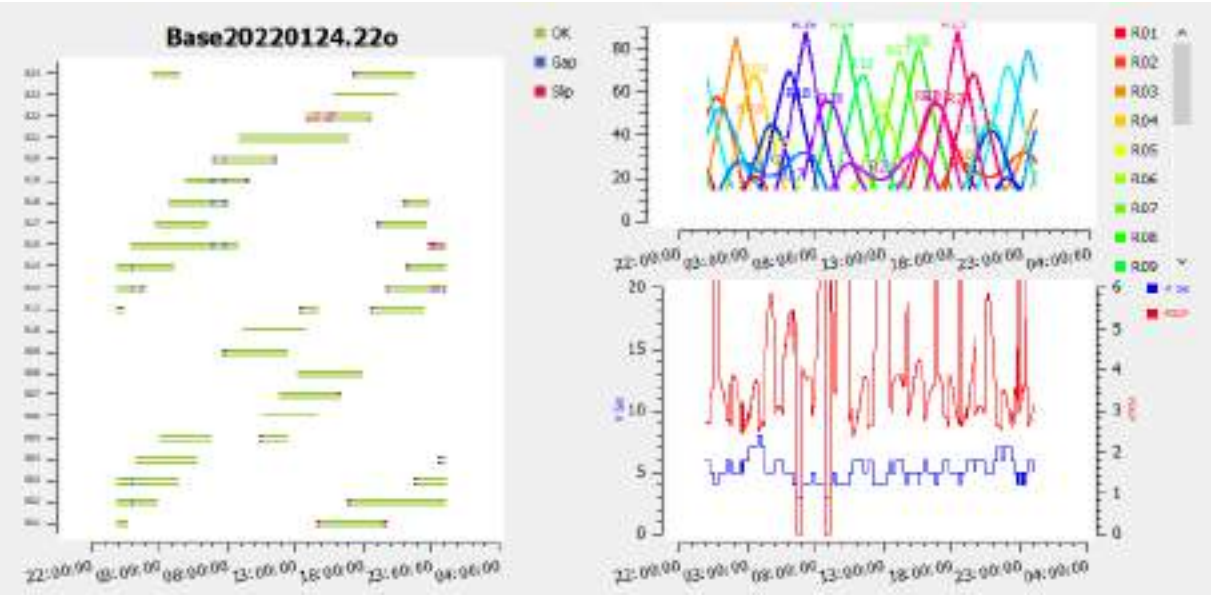
BaSC - GLONASS



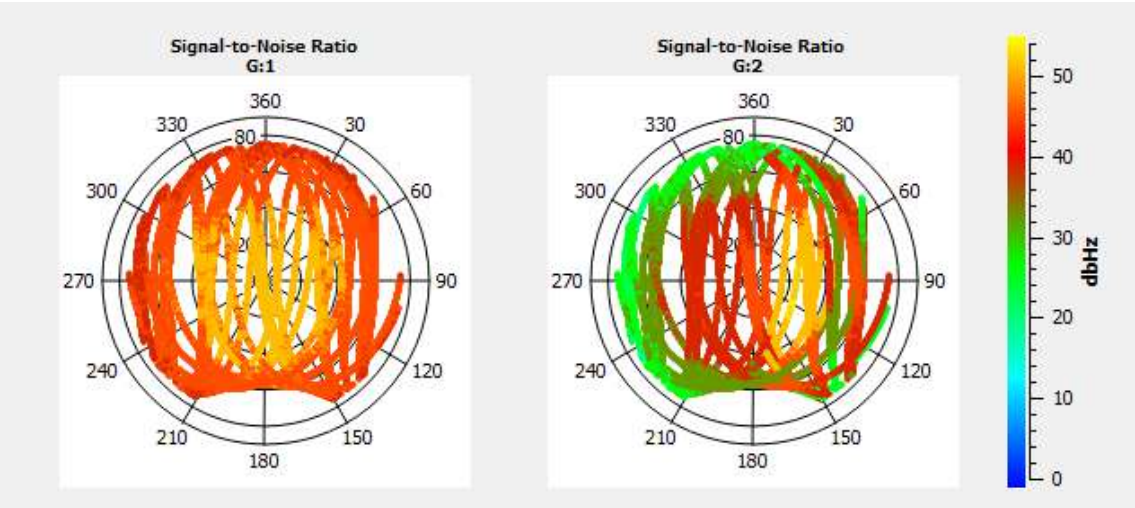
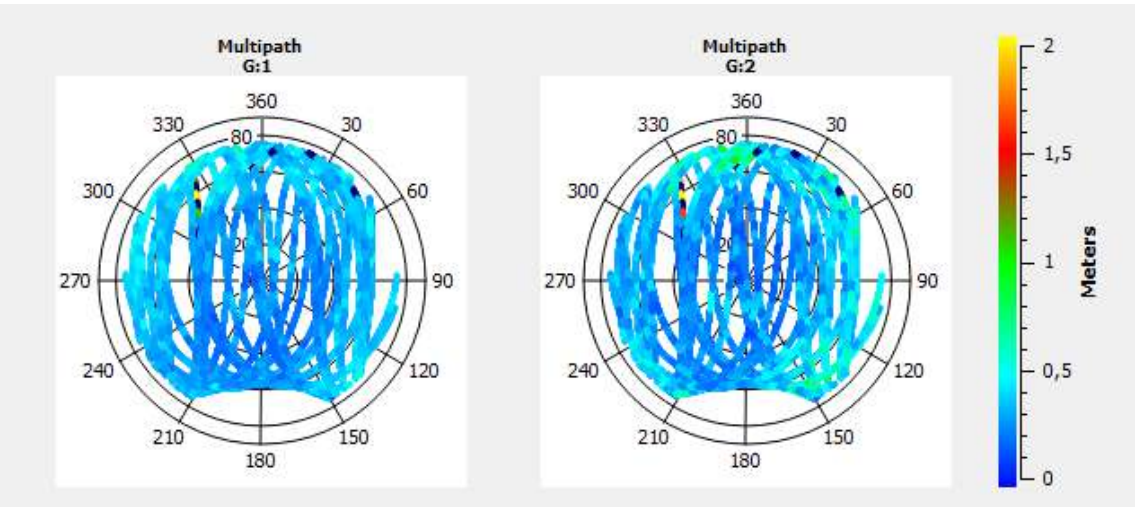
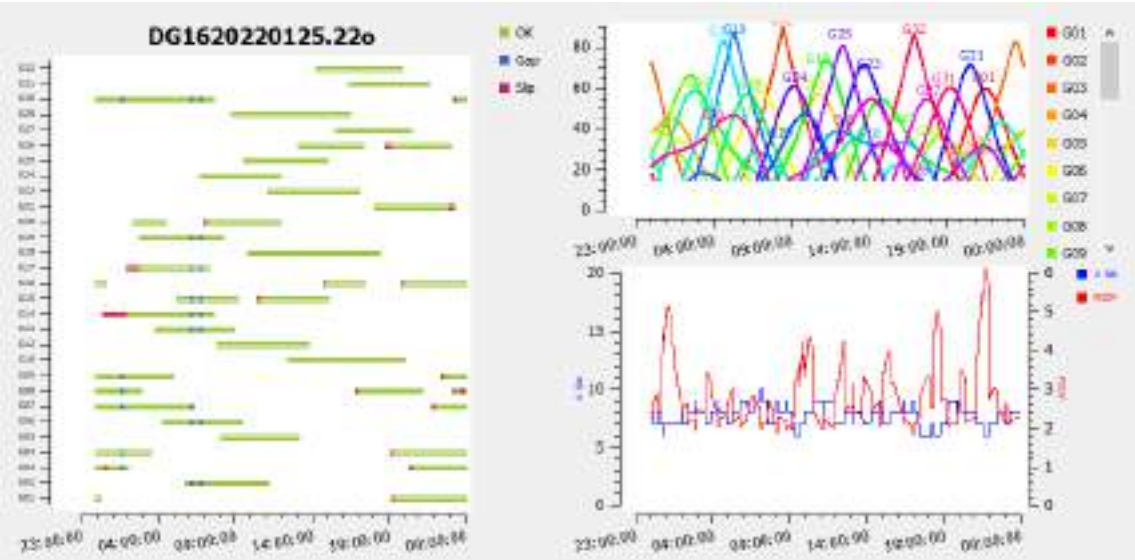
BASE – GPS



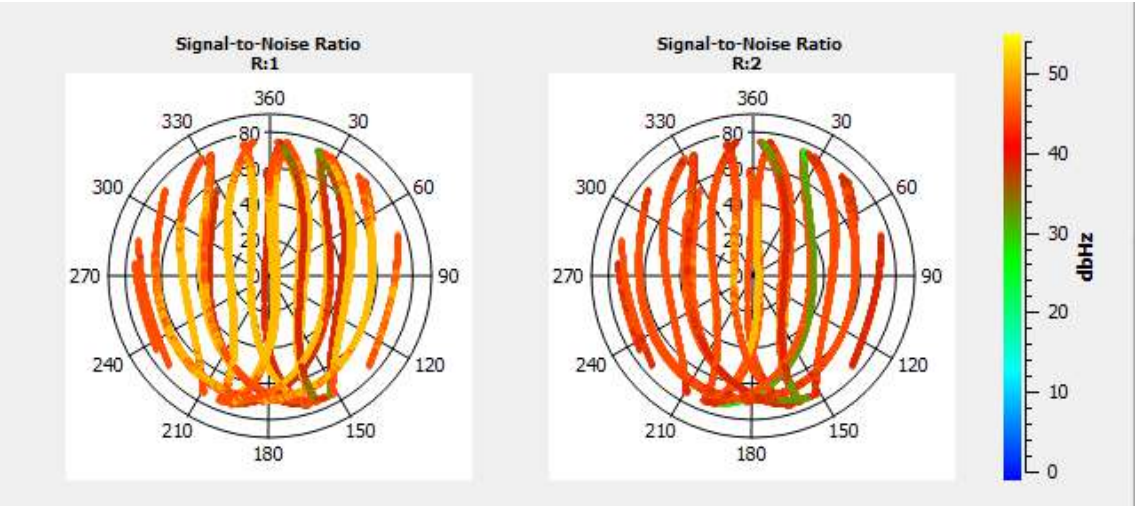
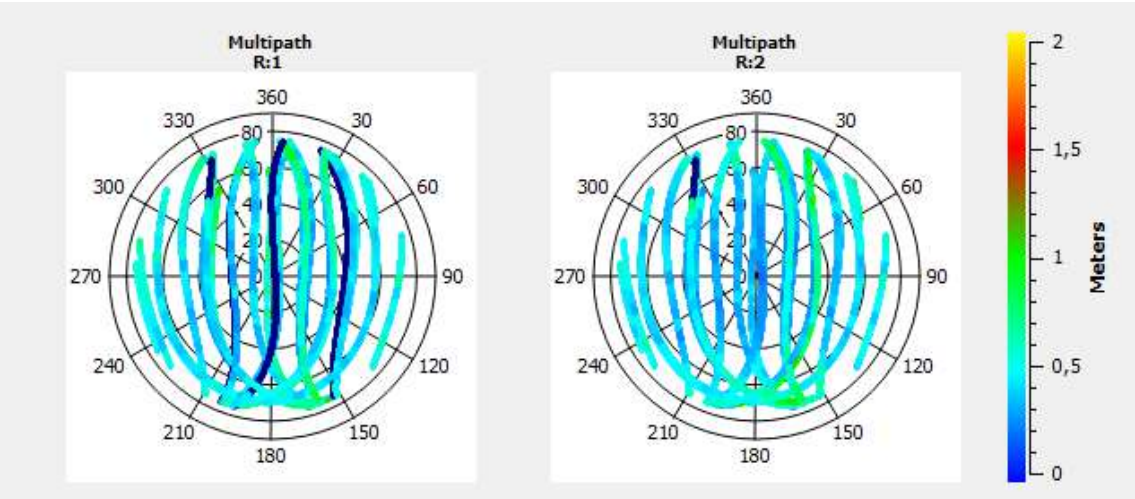
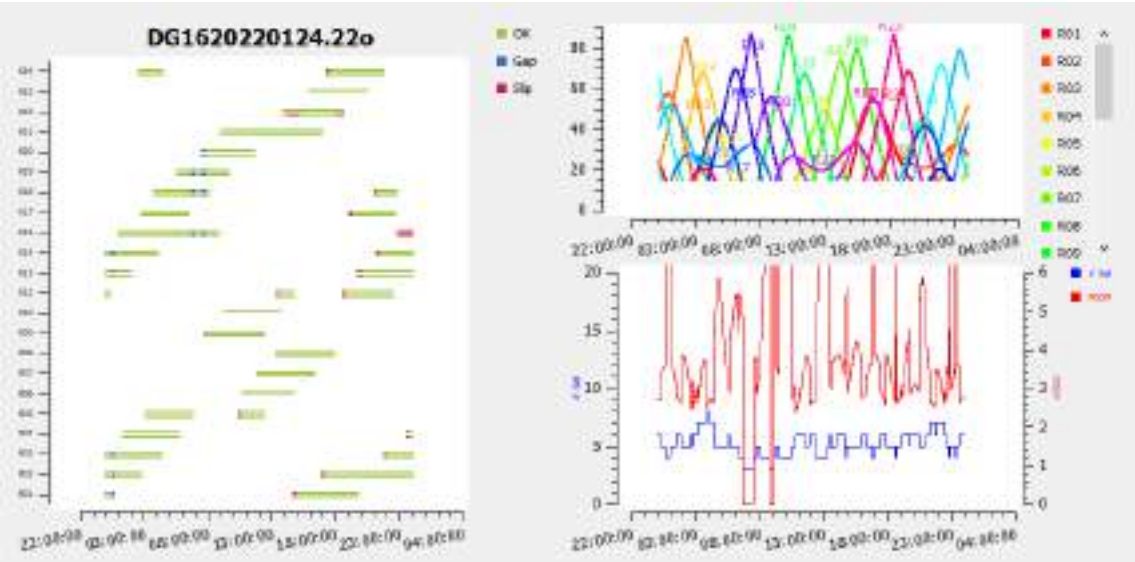
BASE – GLONASS



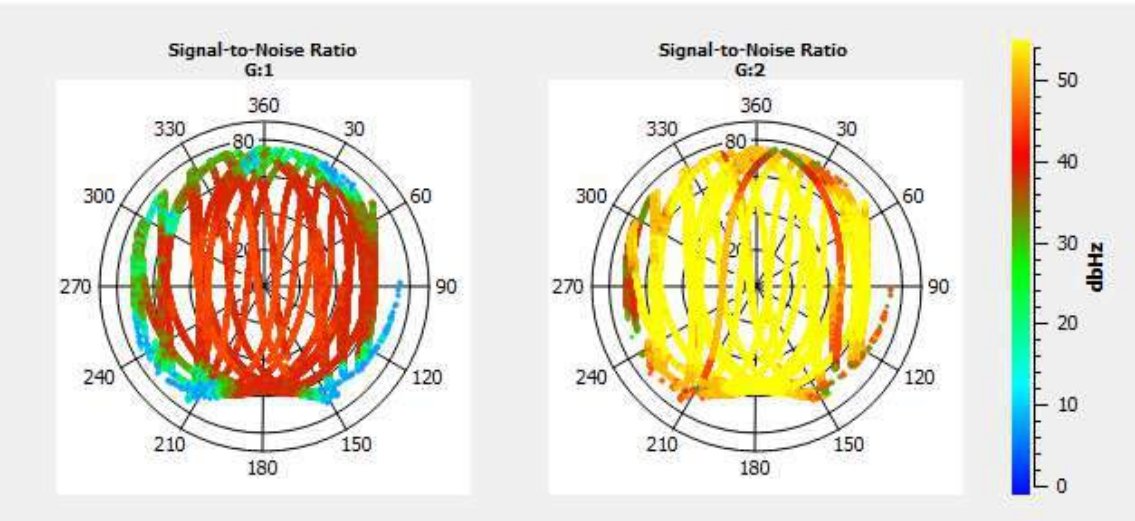
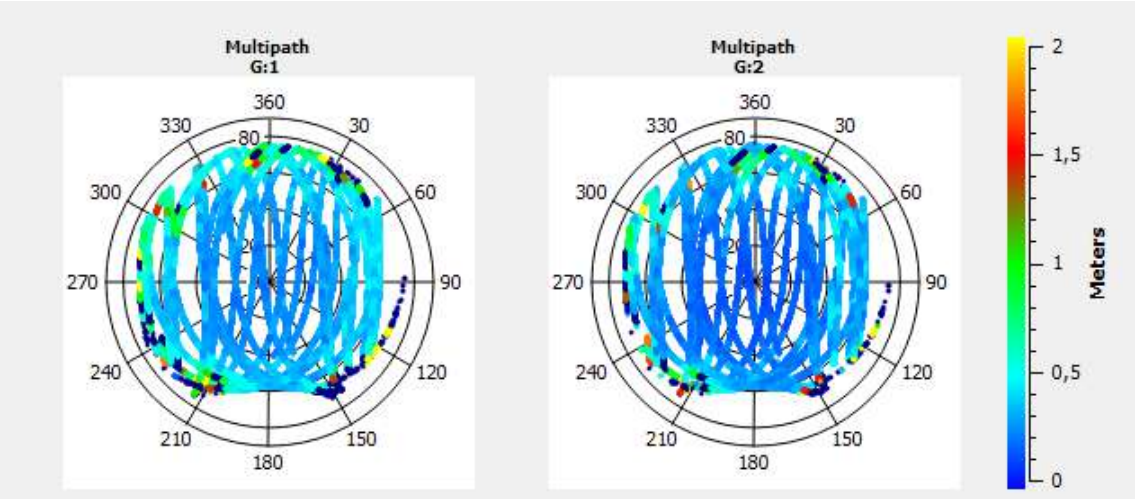
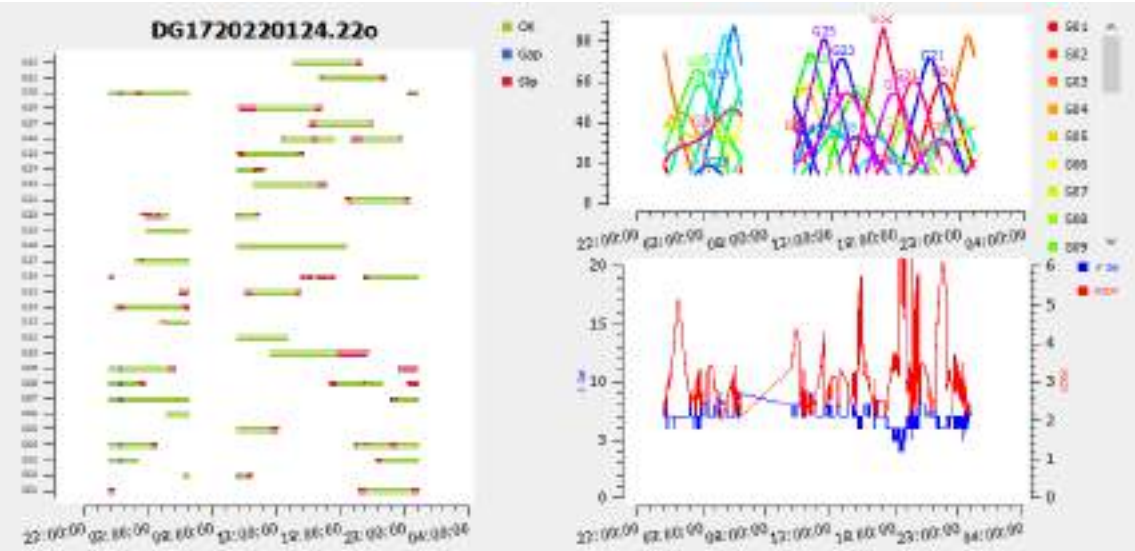
ESTAÇÕES DG
DG16 - GPS



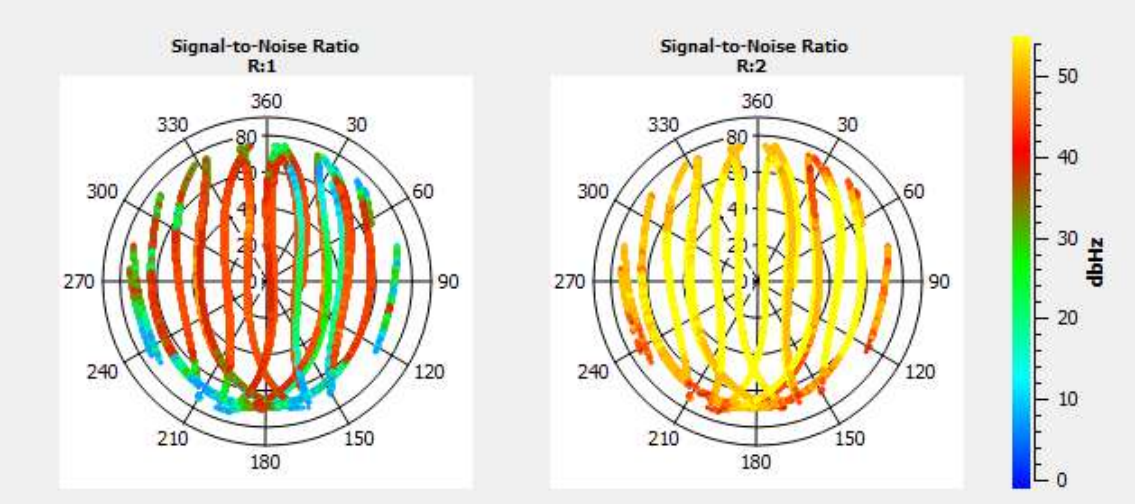
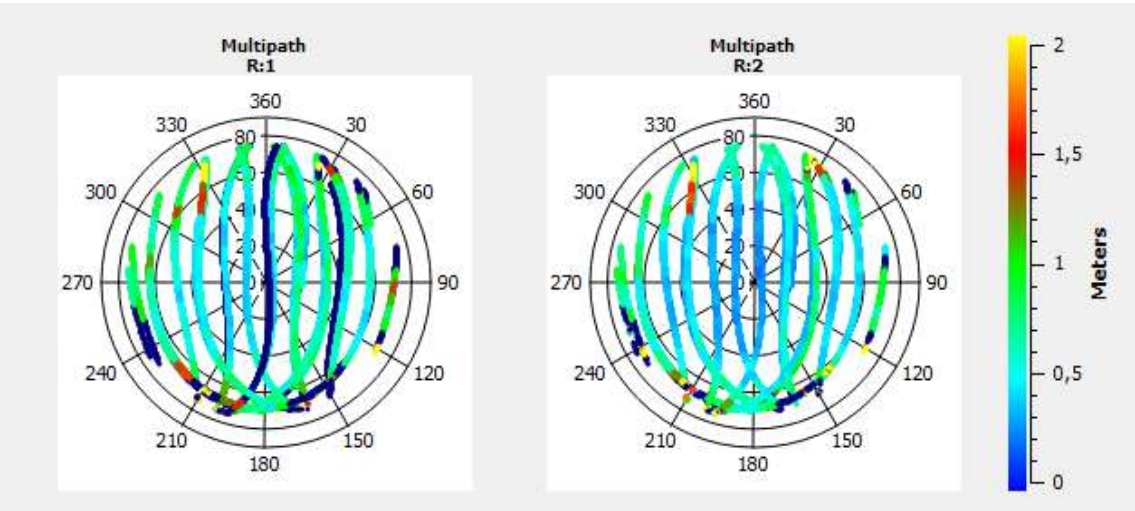
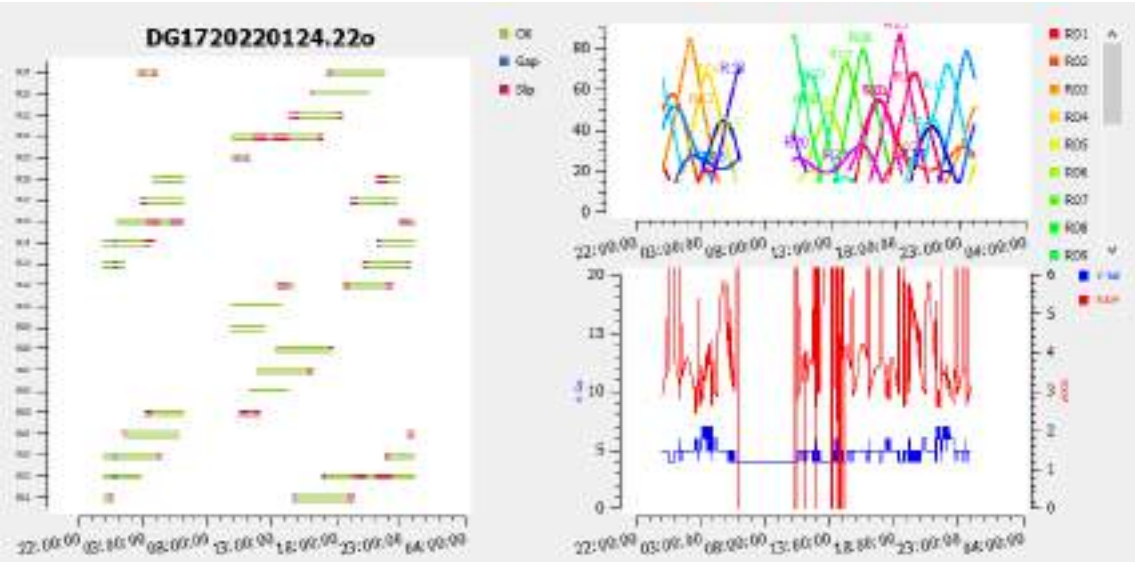
DG16 - GLONASS



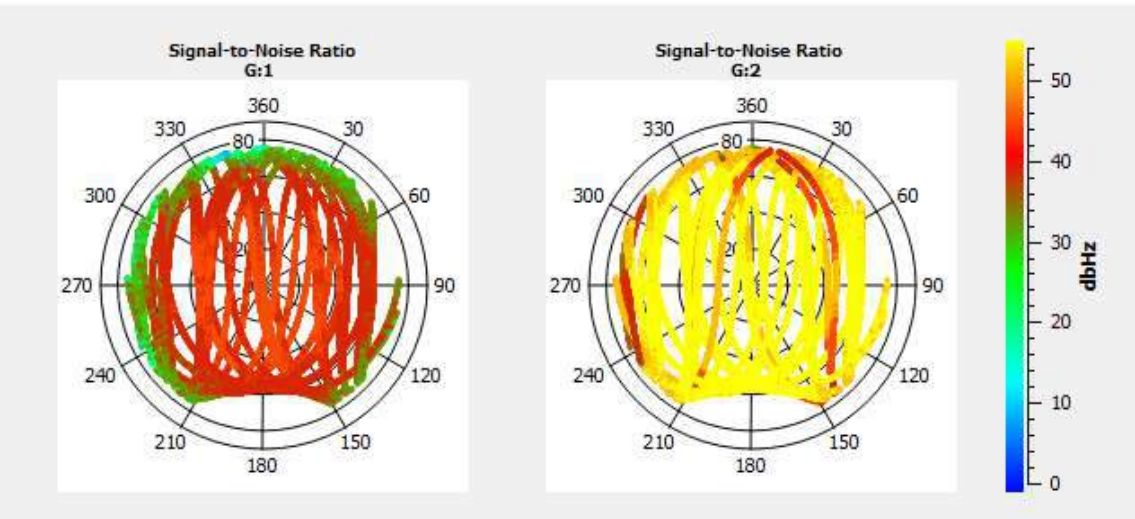
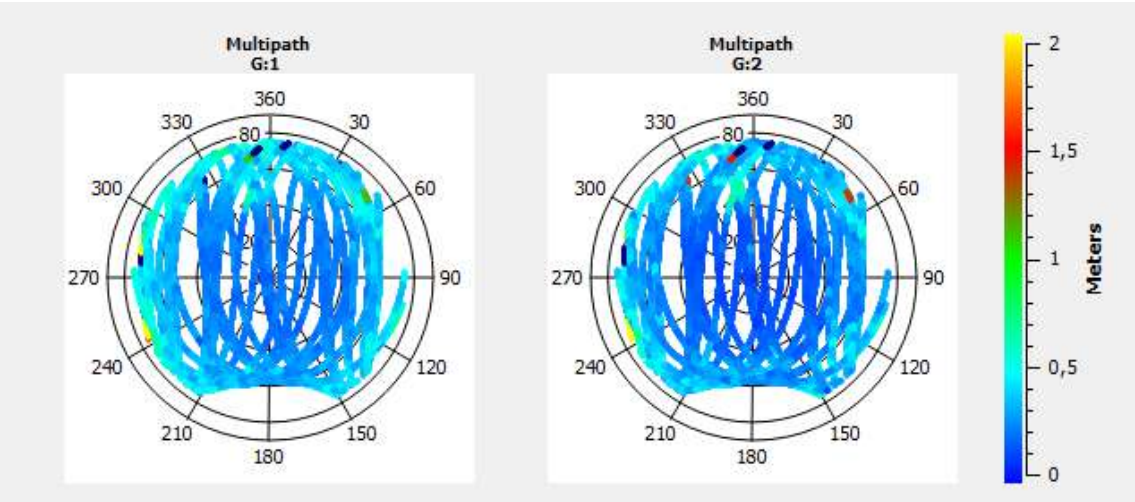
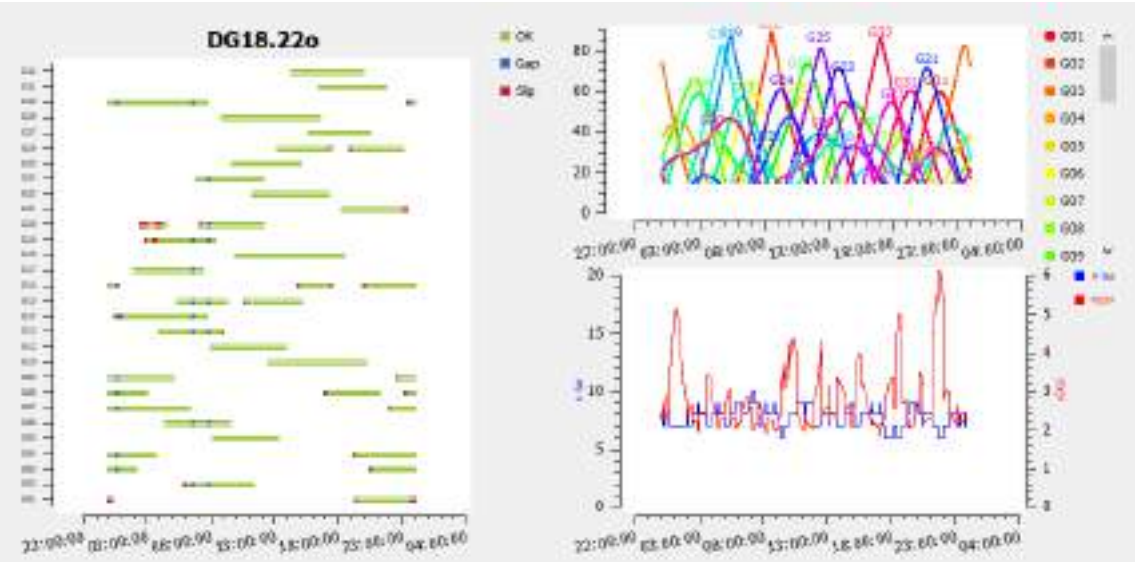
DG17 – GPS



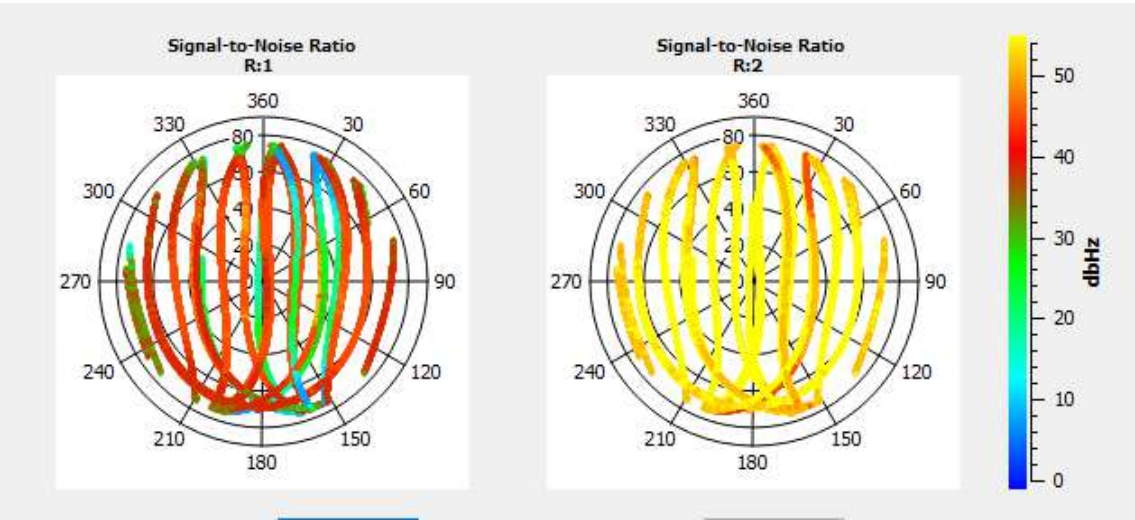
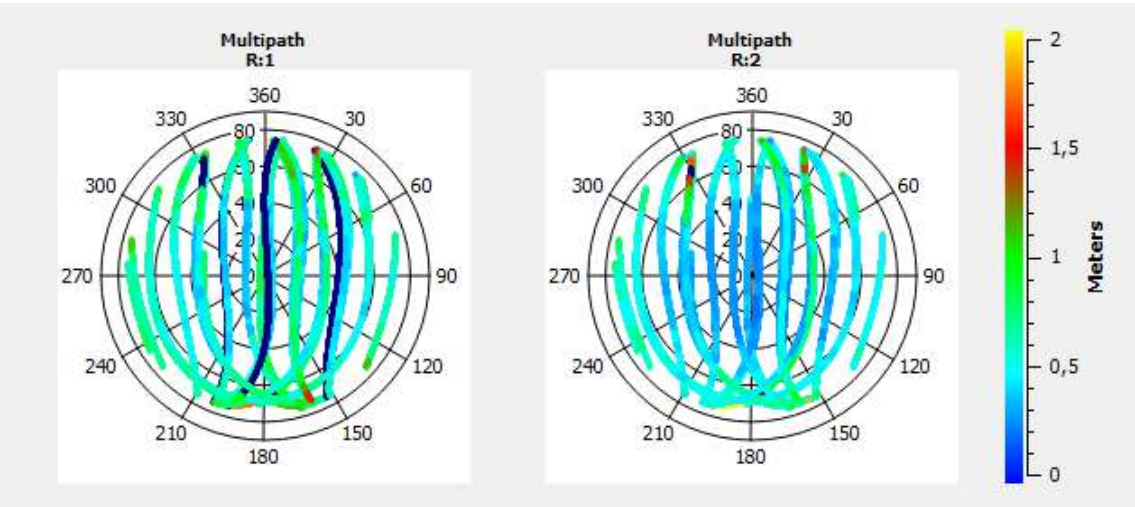
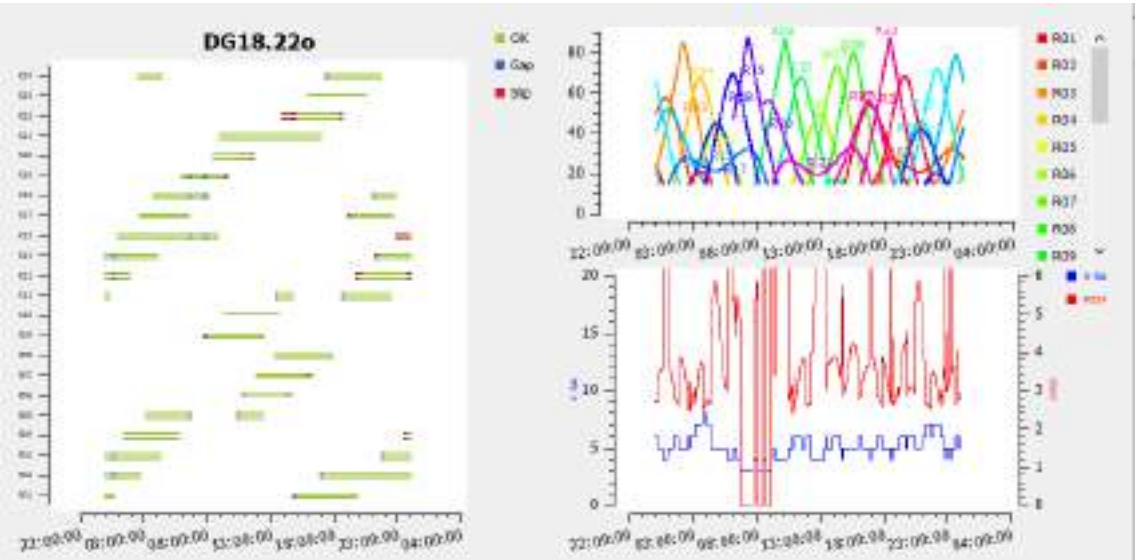
DG17 – GLONASS



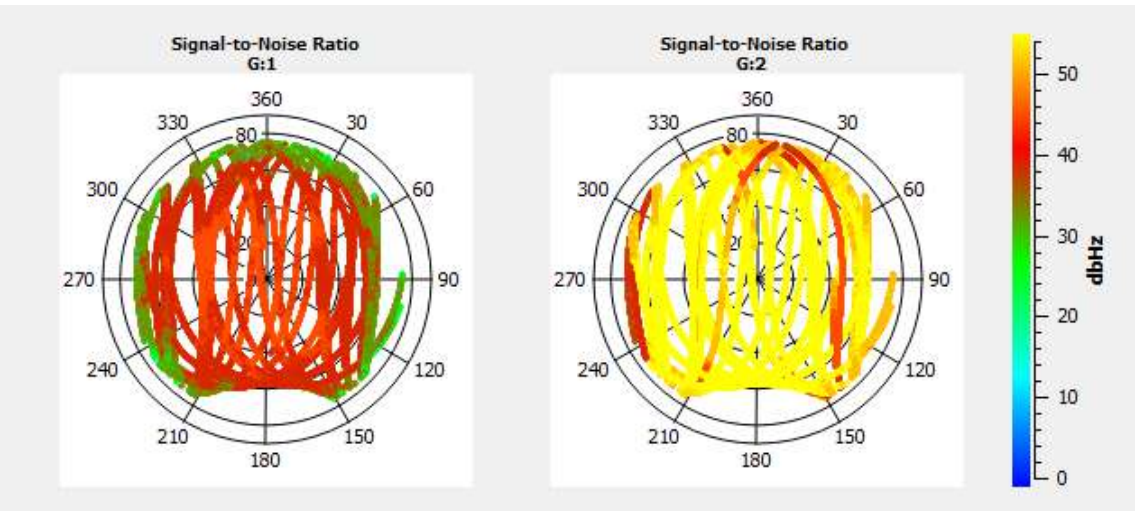
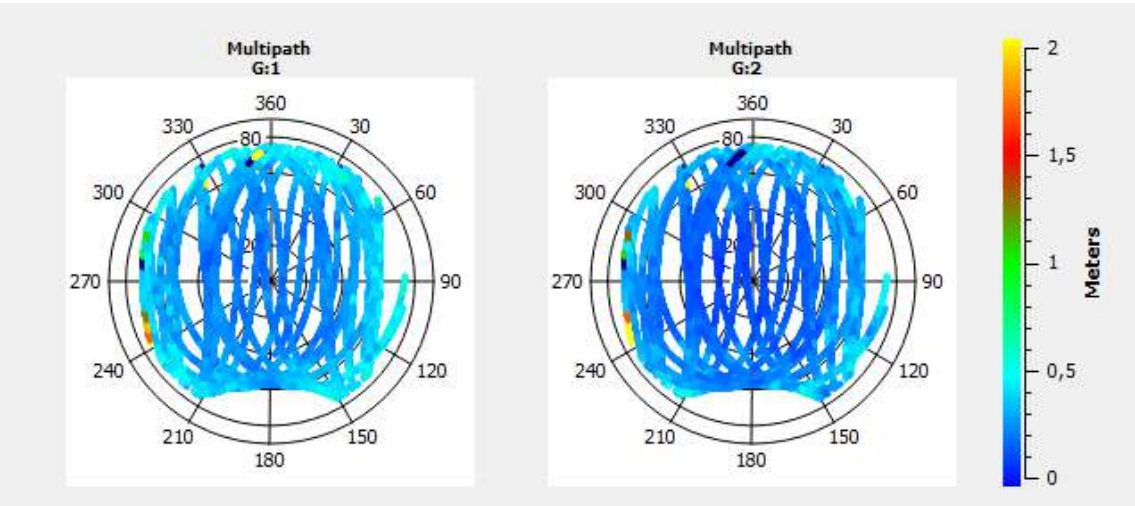
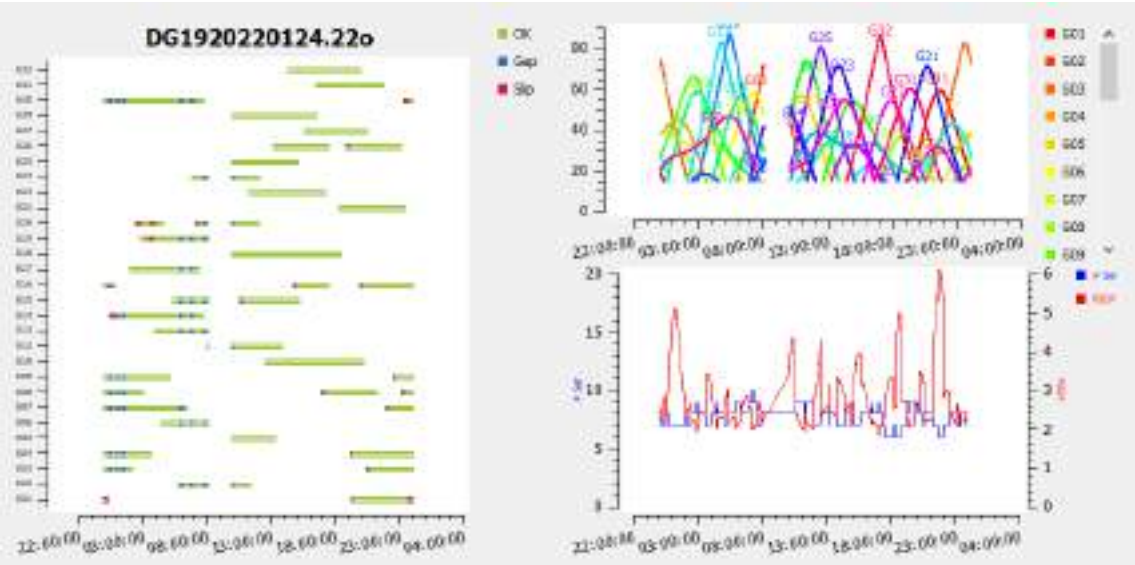
DG18 – GPS



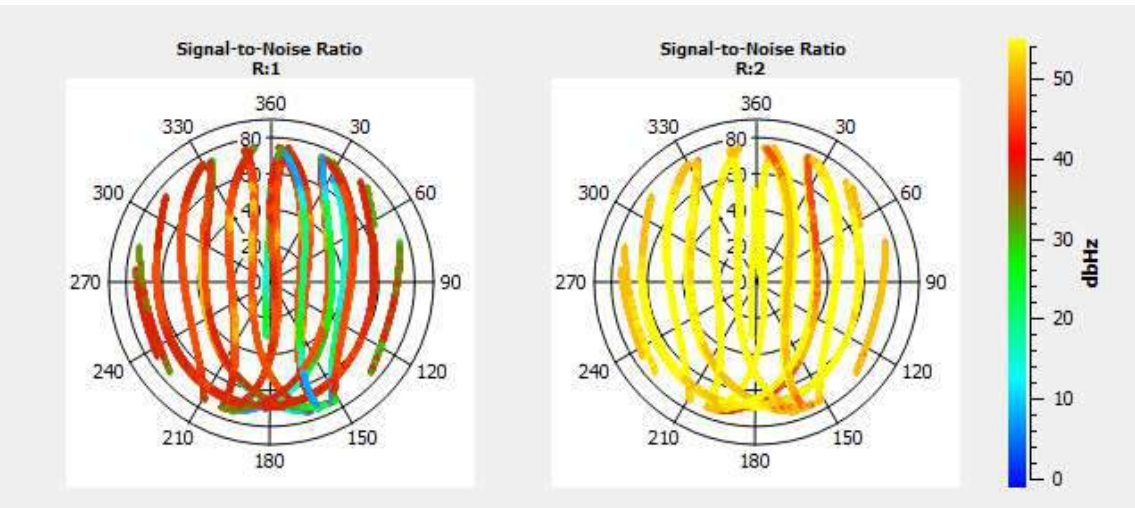
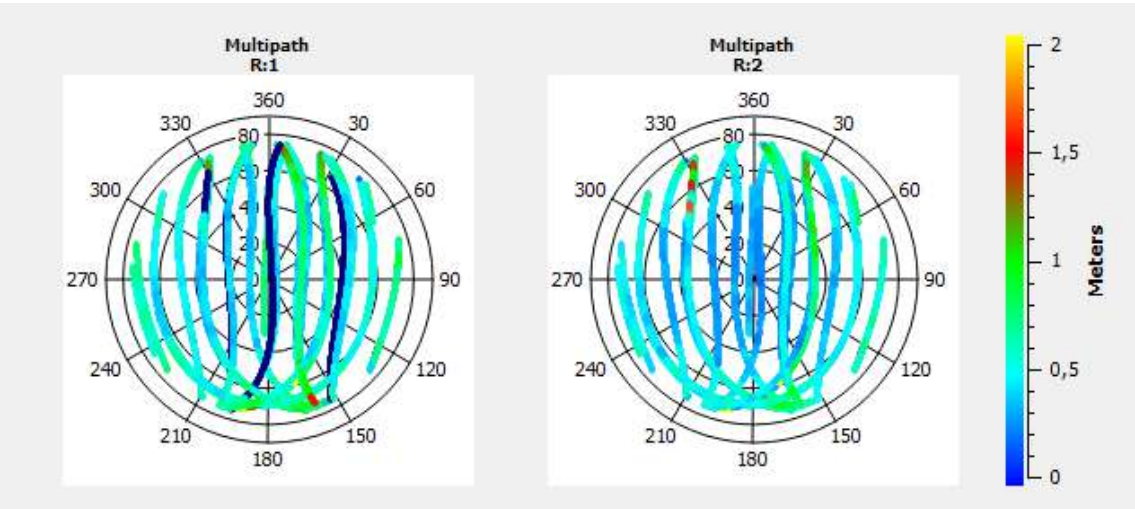
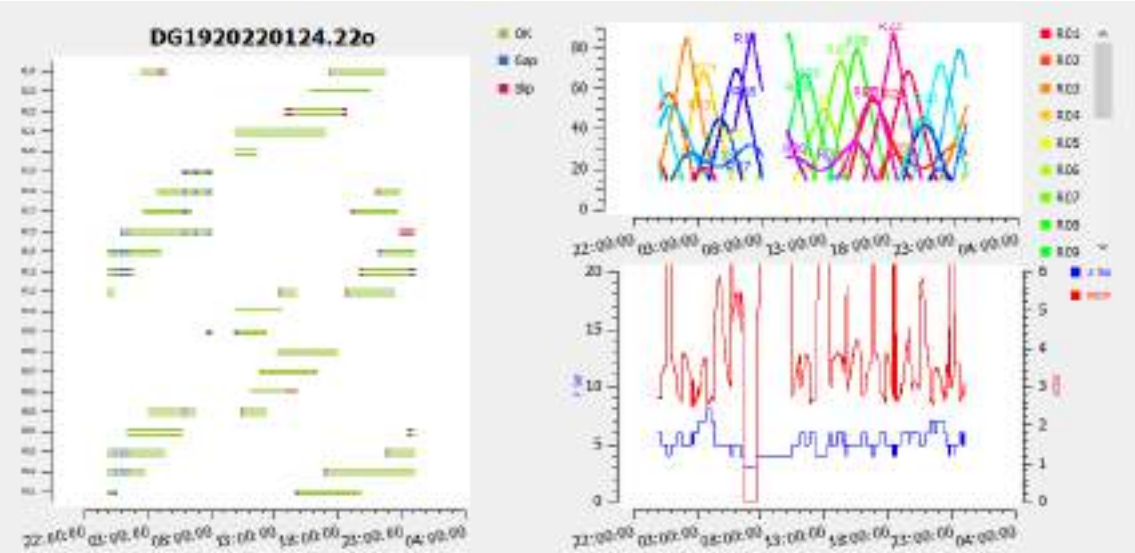
DG18 – GLONASS



DG19 – GPS

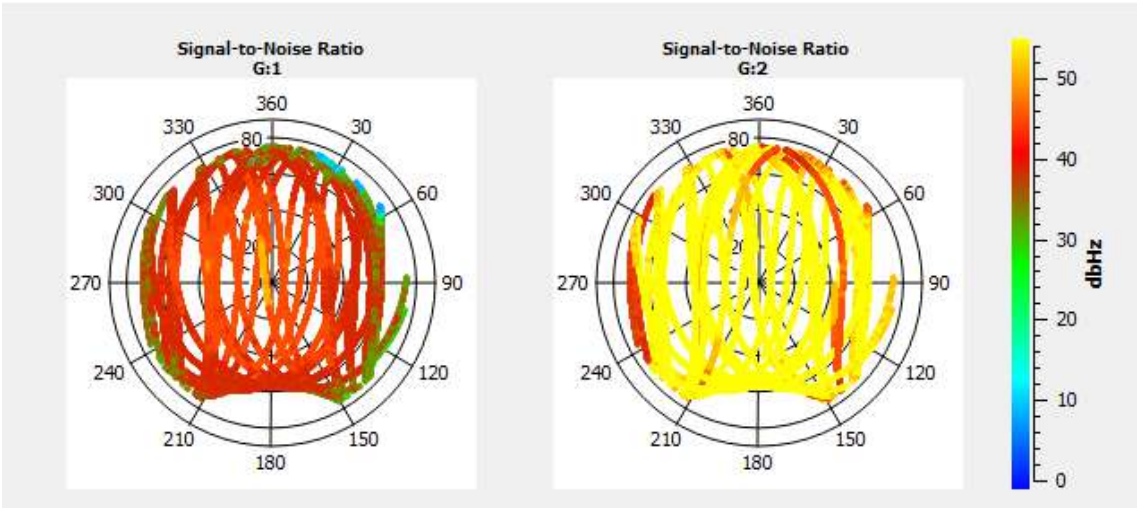
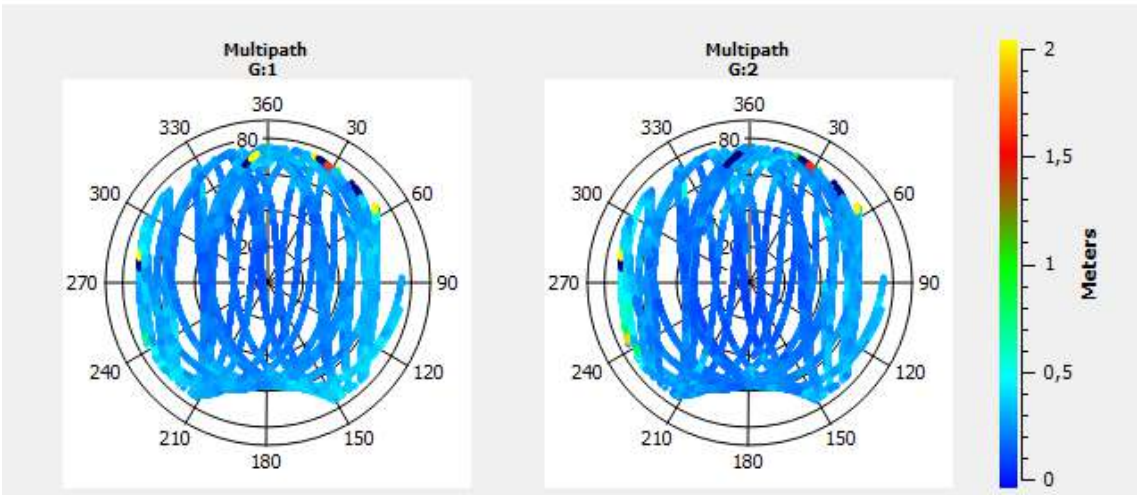
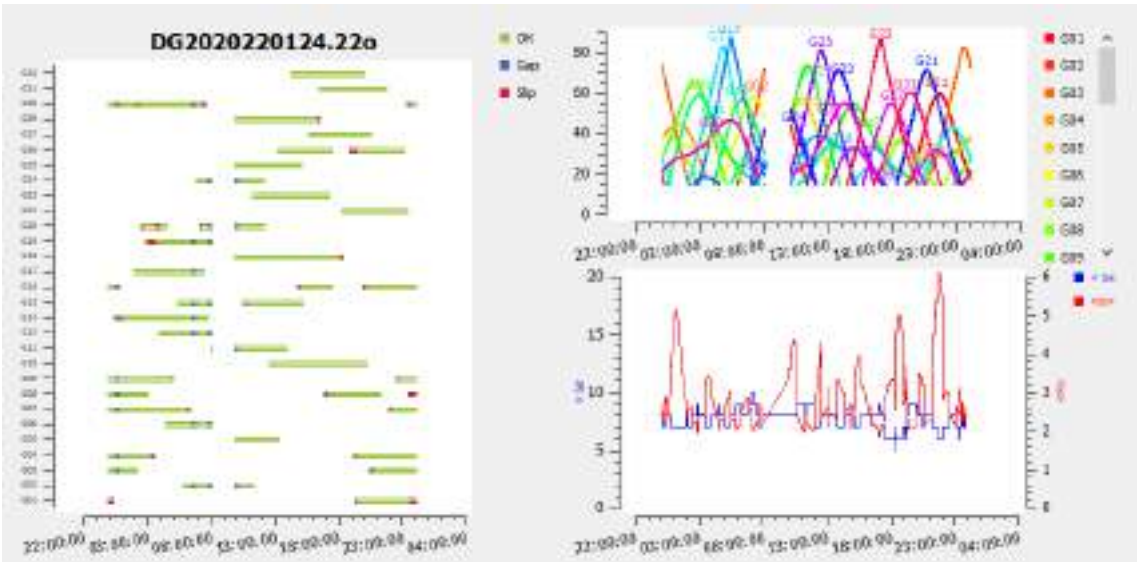


DG19 – GLONASS

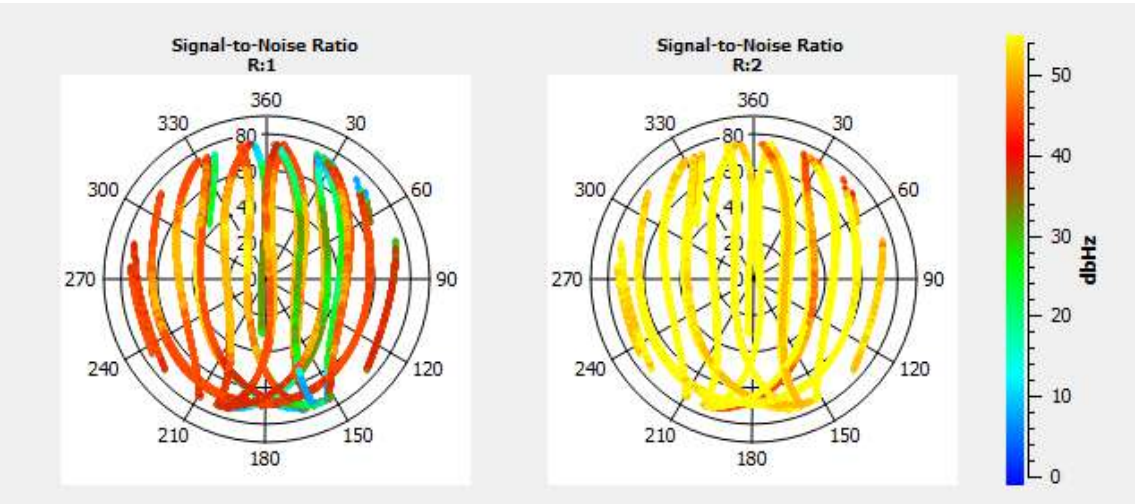
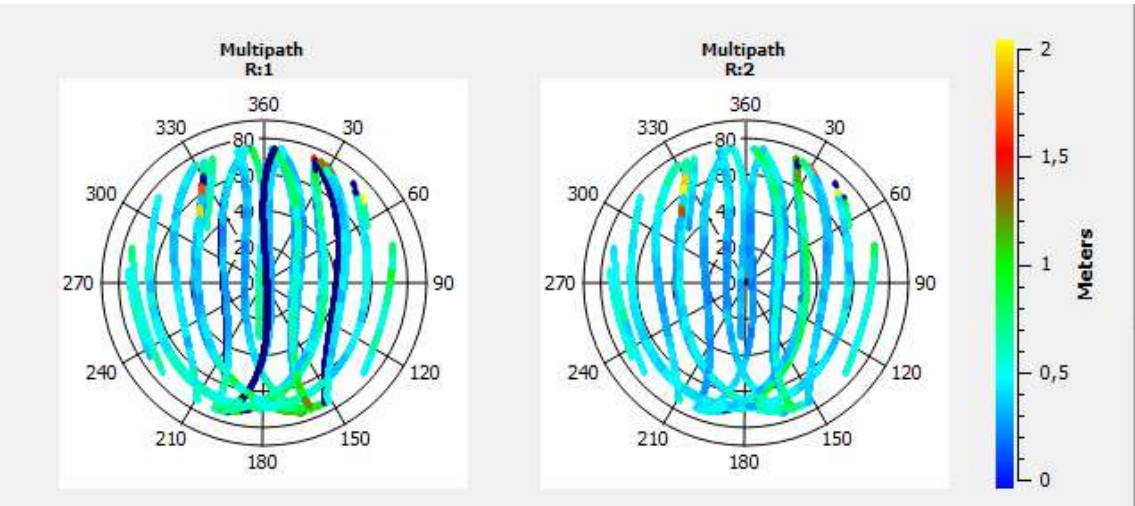
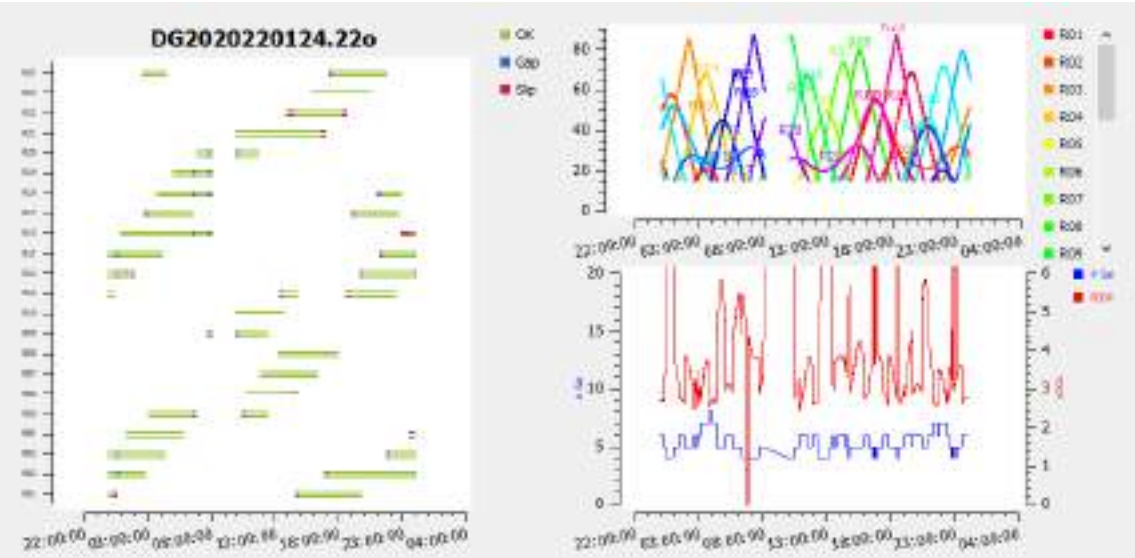




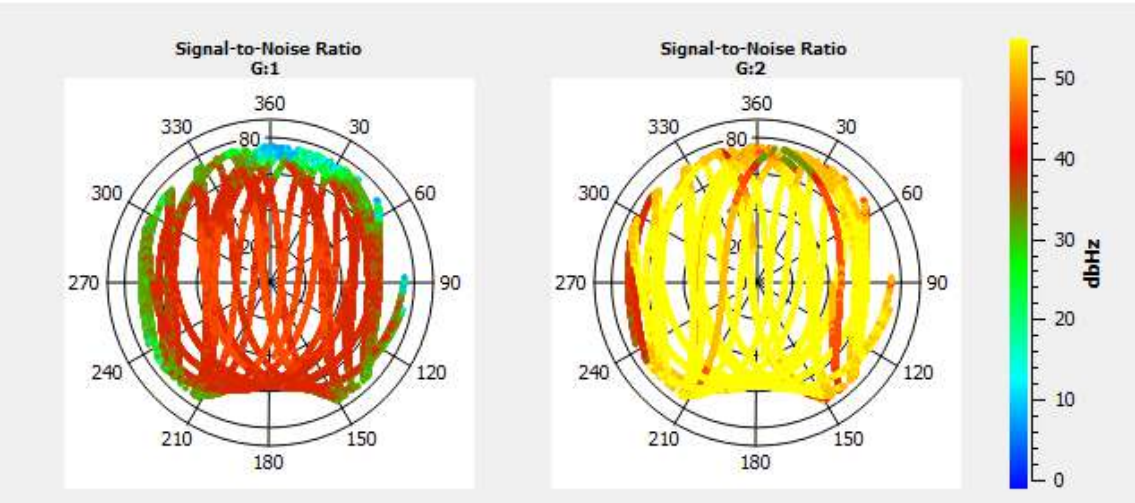
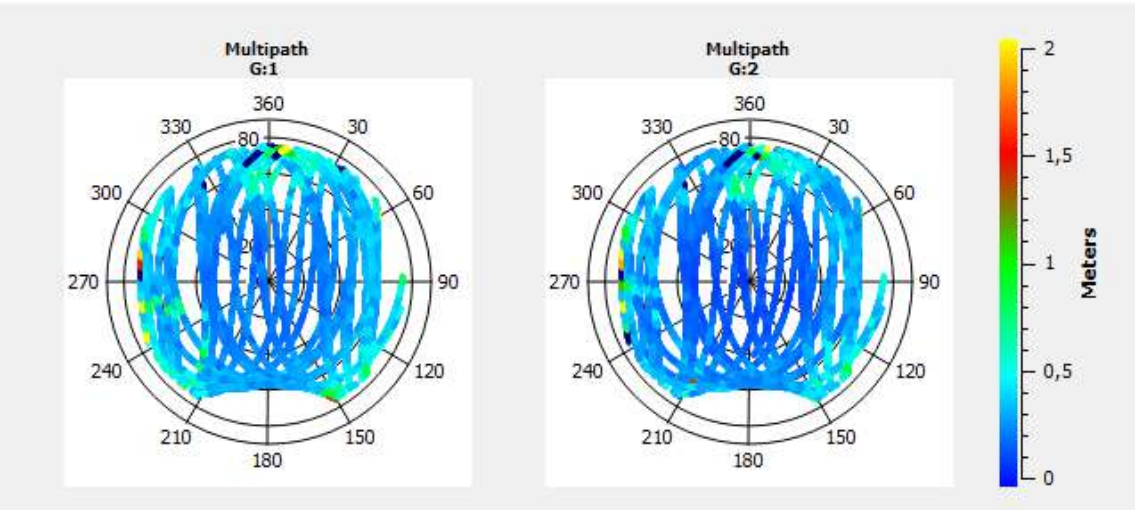
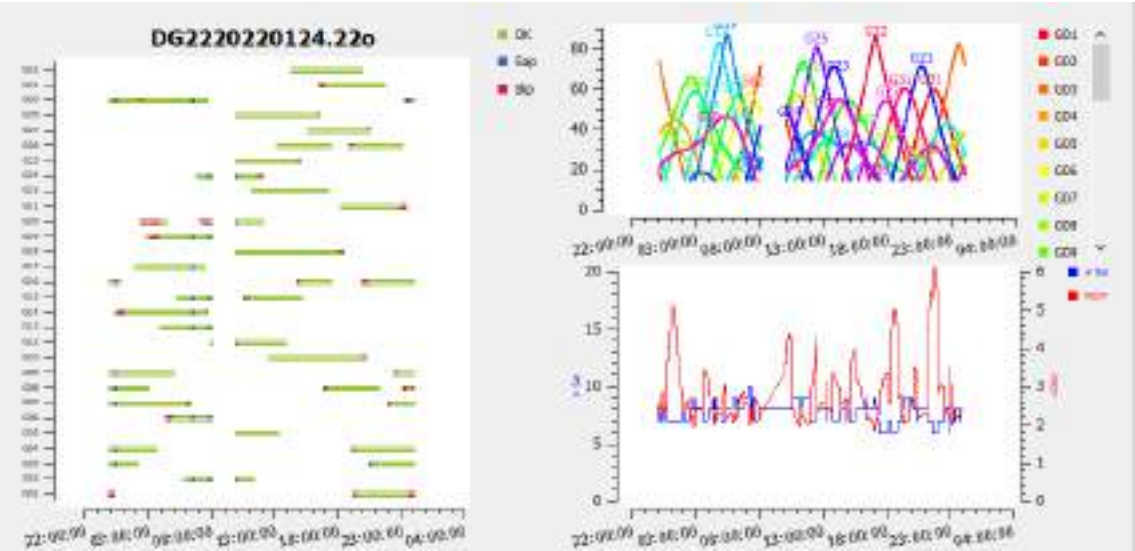
DG20 – GPS



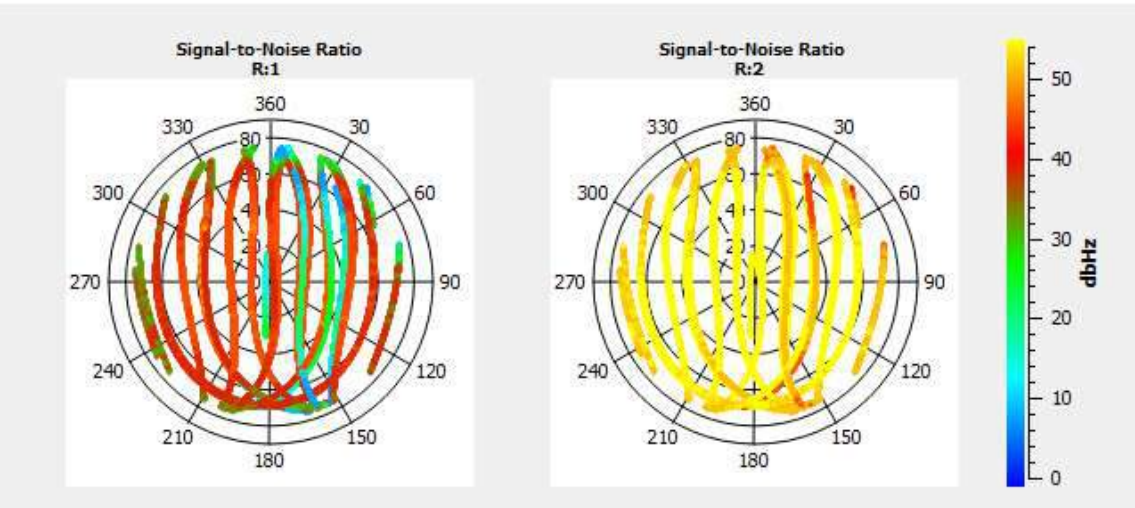
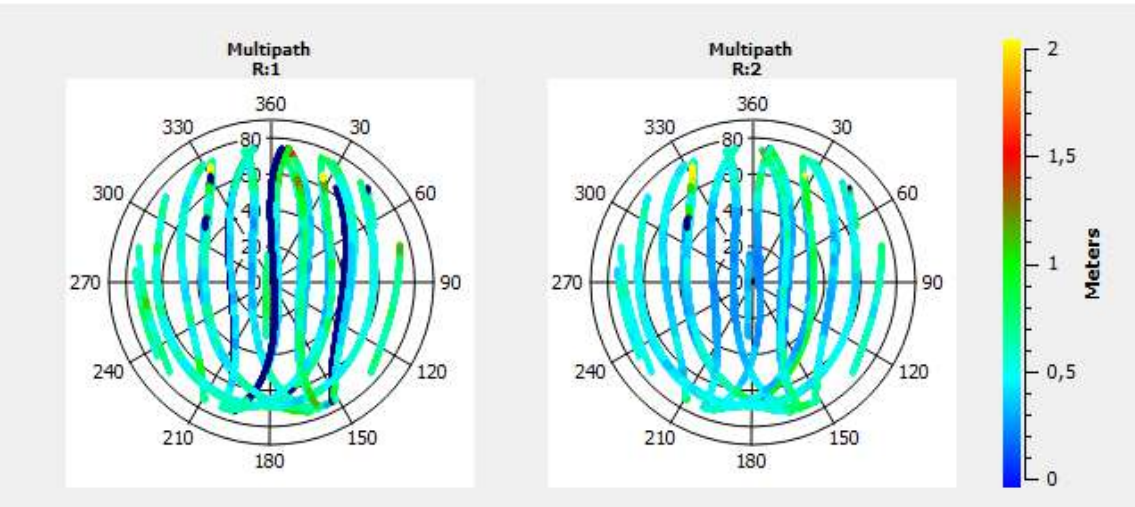
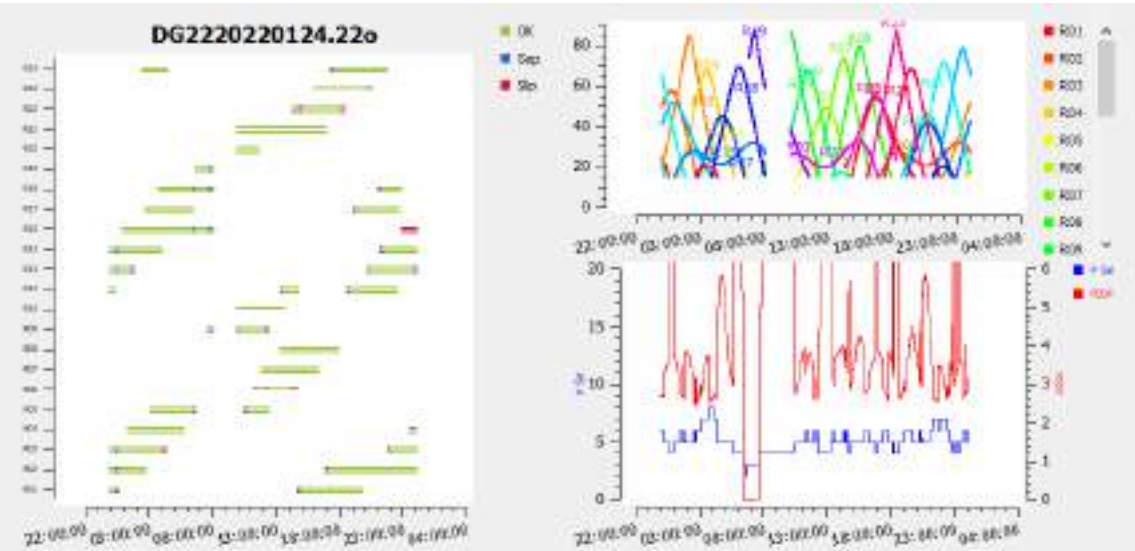
DG20 – GLONASS



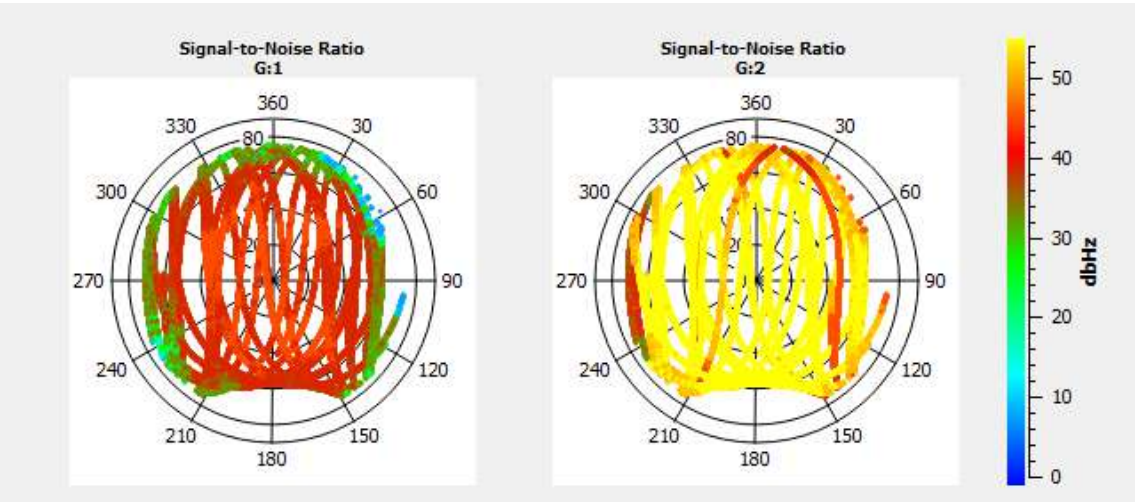
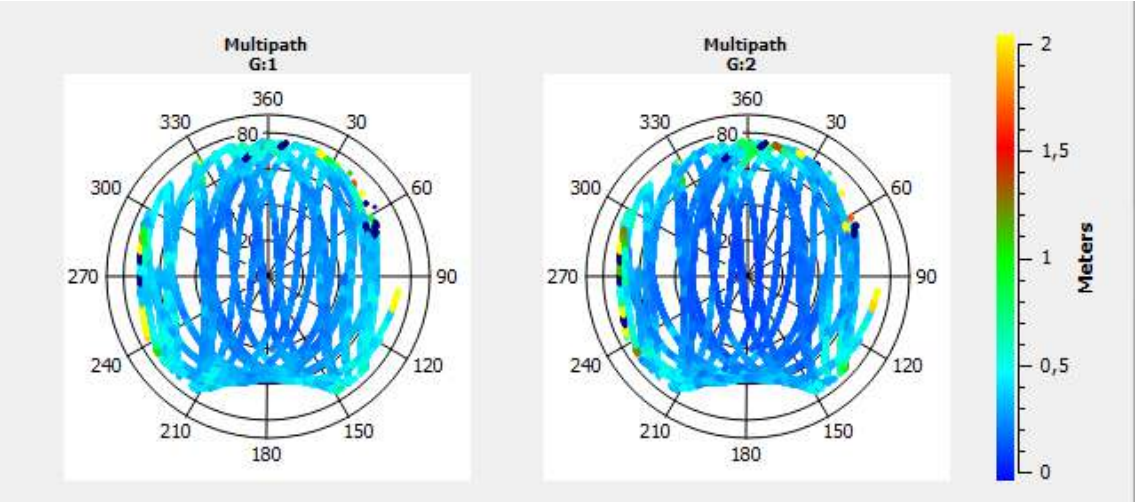
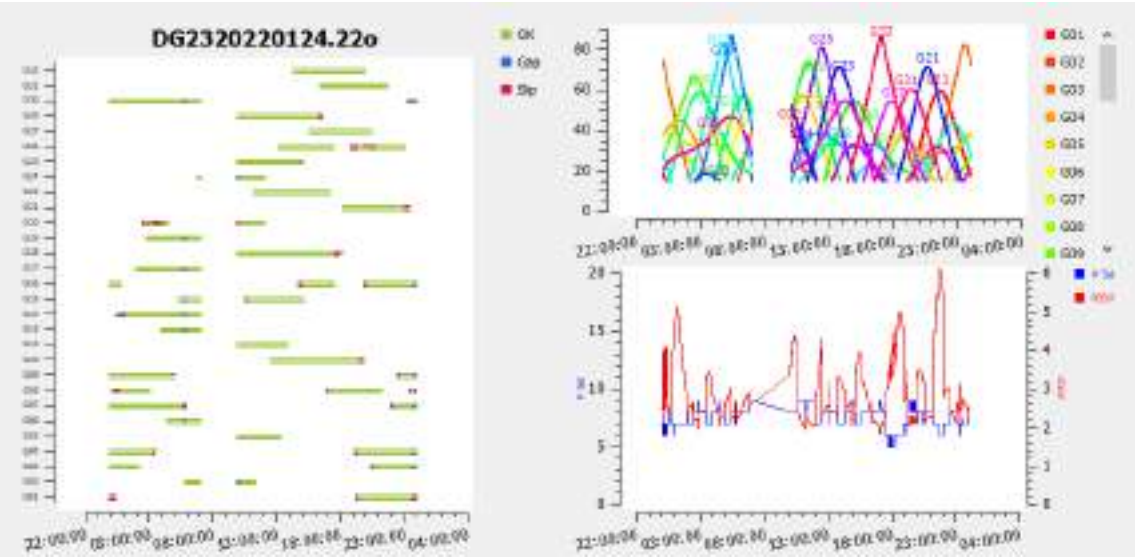
DG22 – GPS



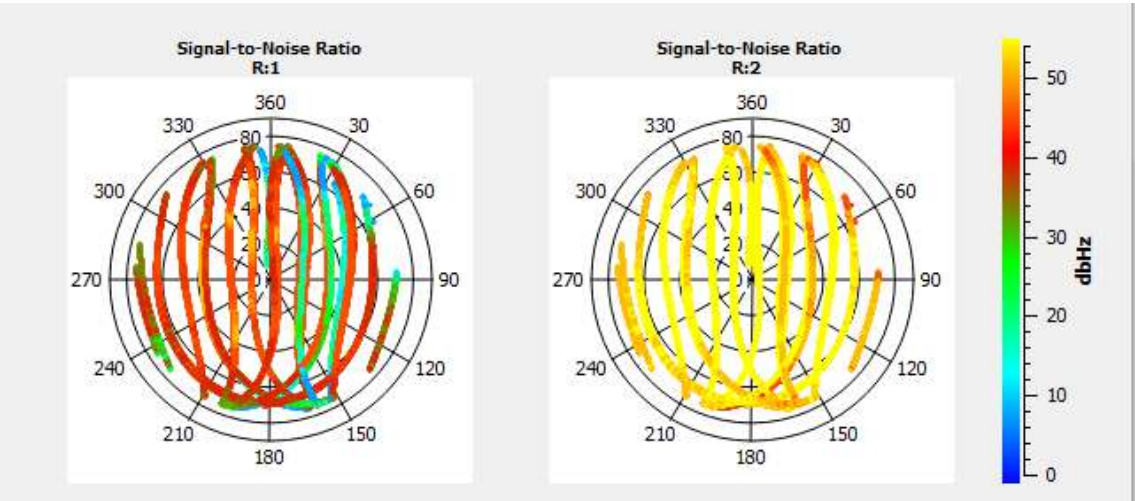
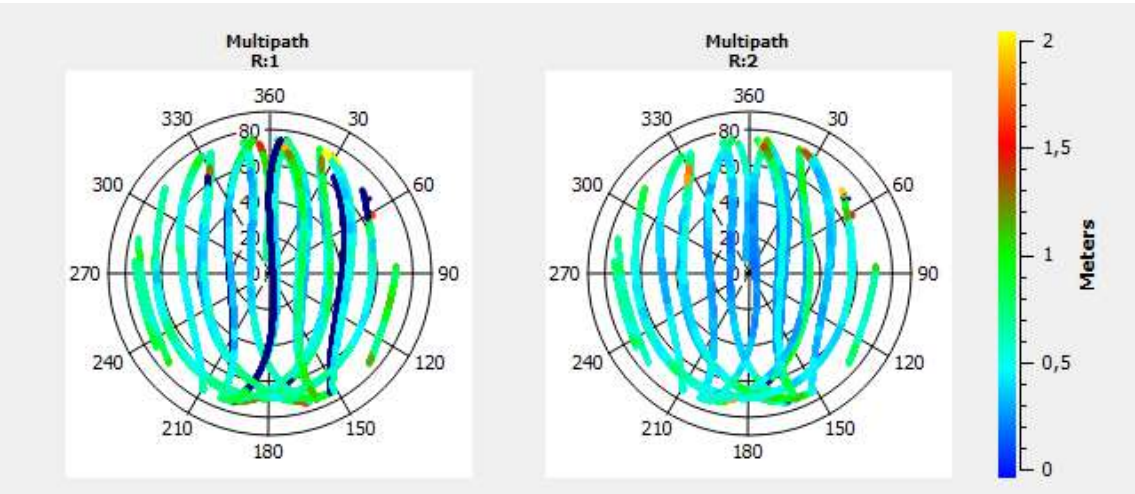
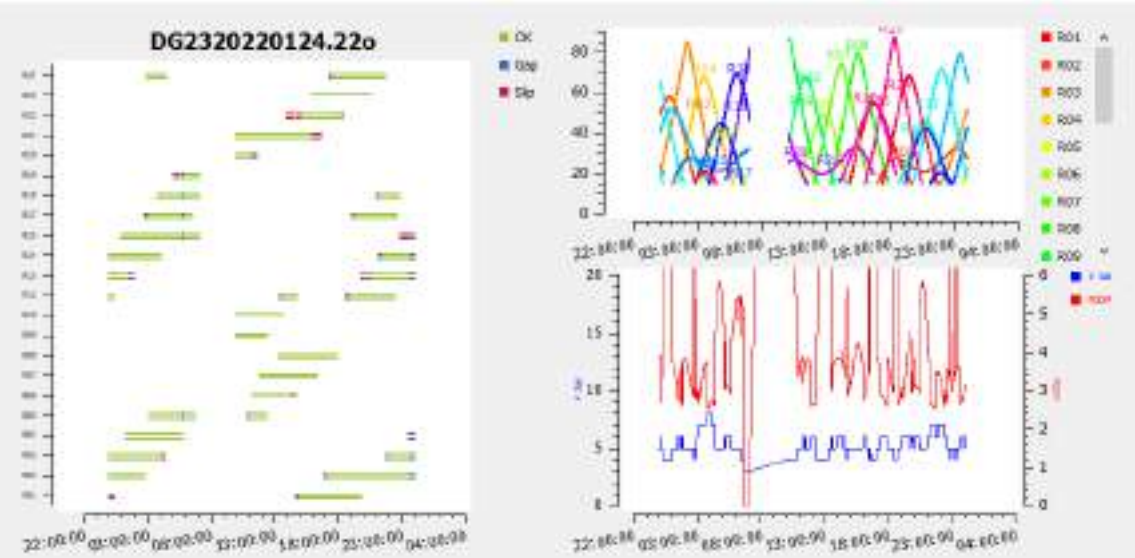
DG22 – GLONASS



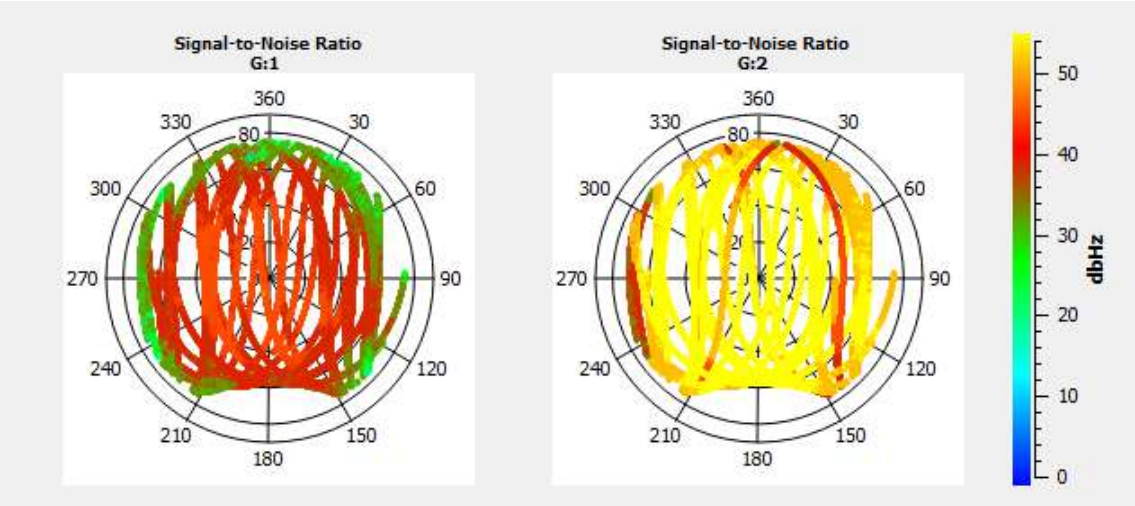
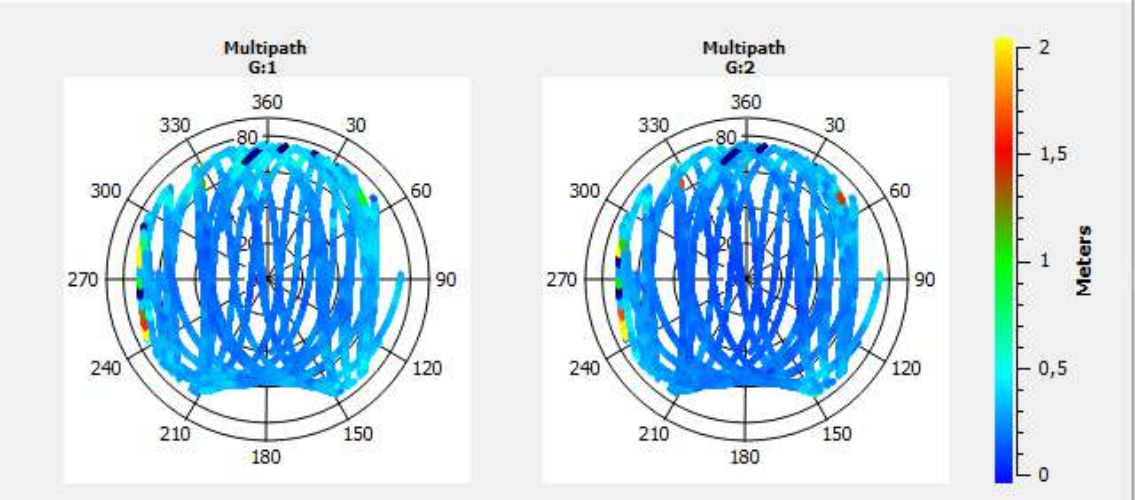
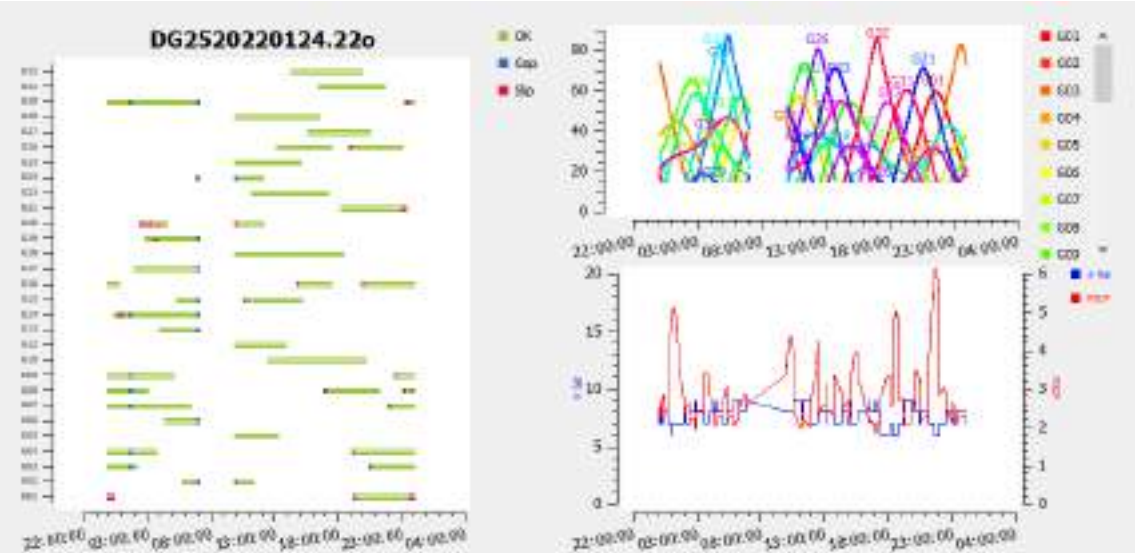
DG23 – GPS



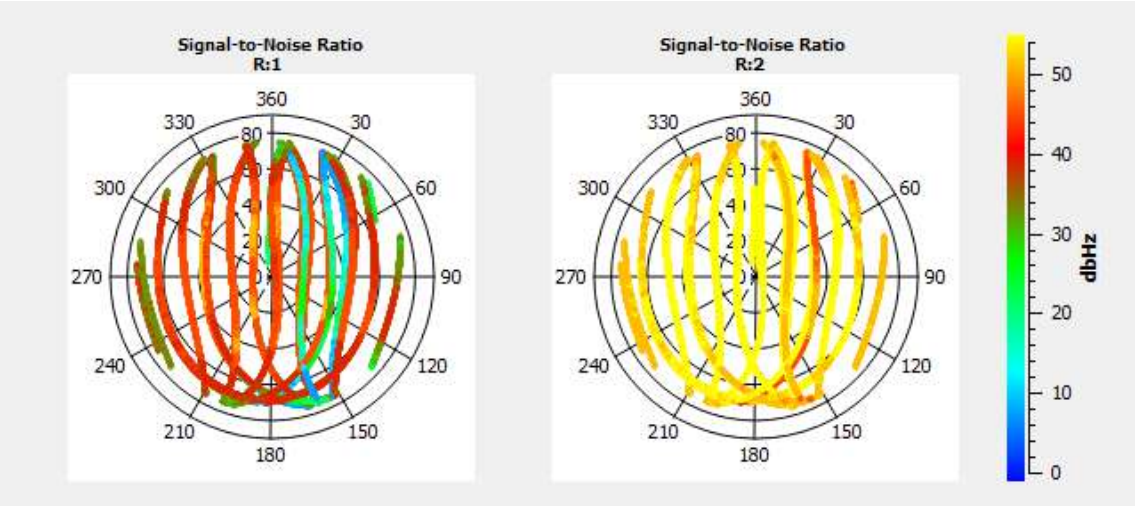
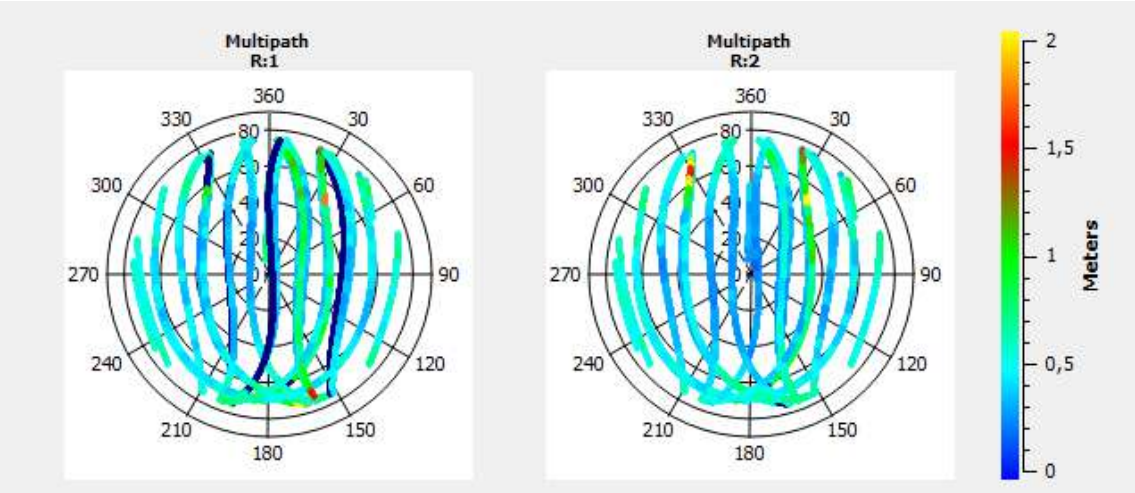
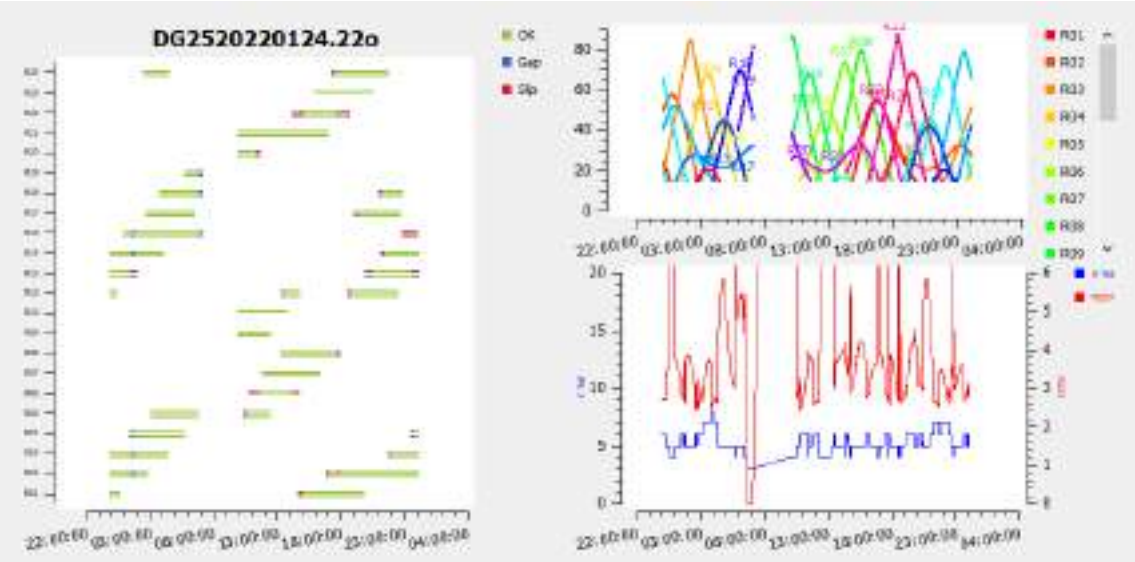
DG23 – GLONASS



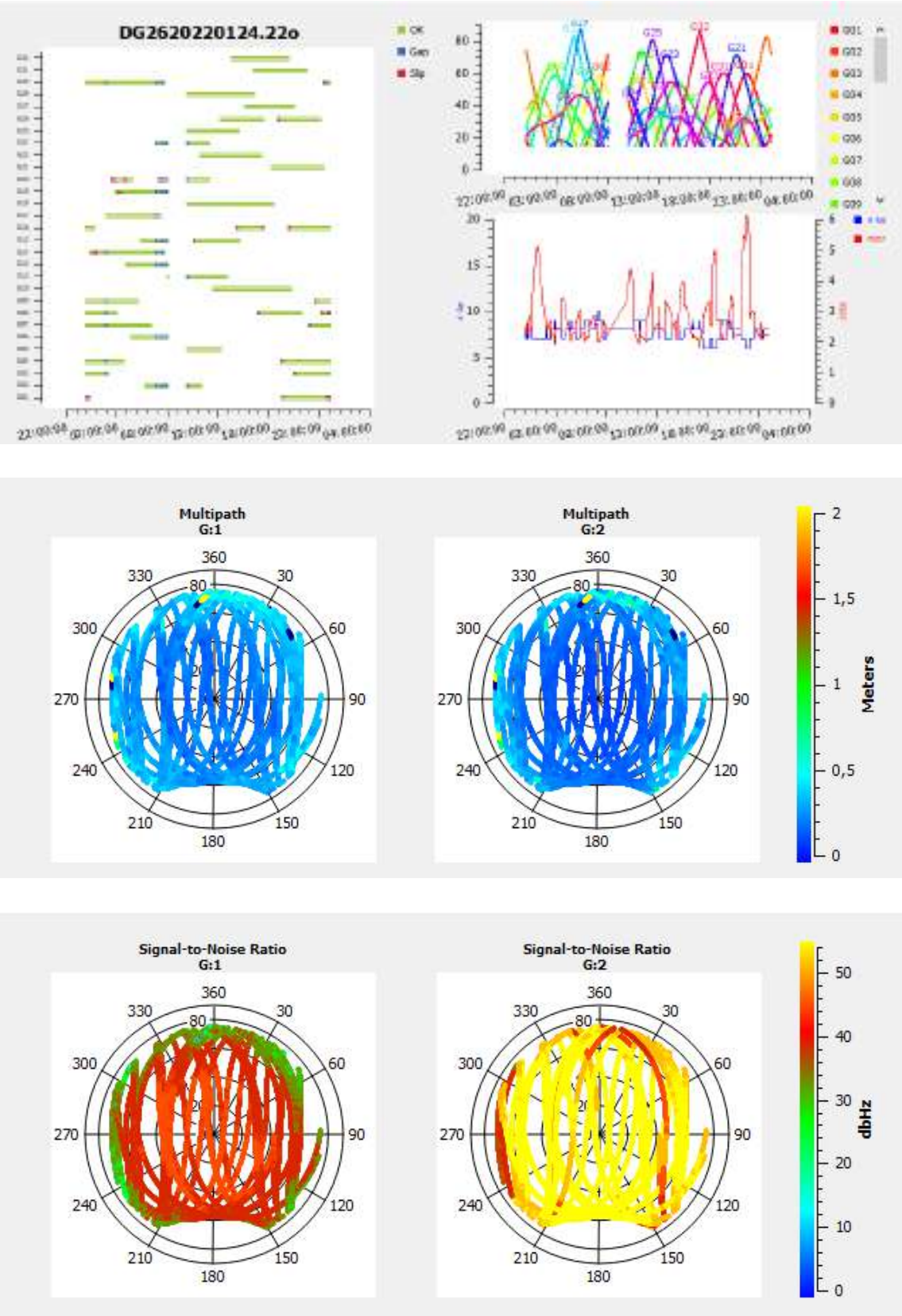
DG25 – GPS



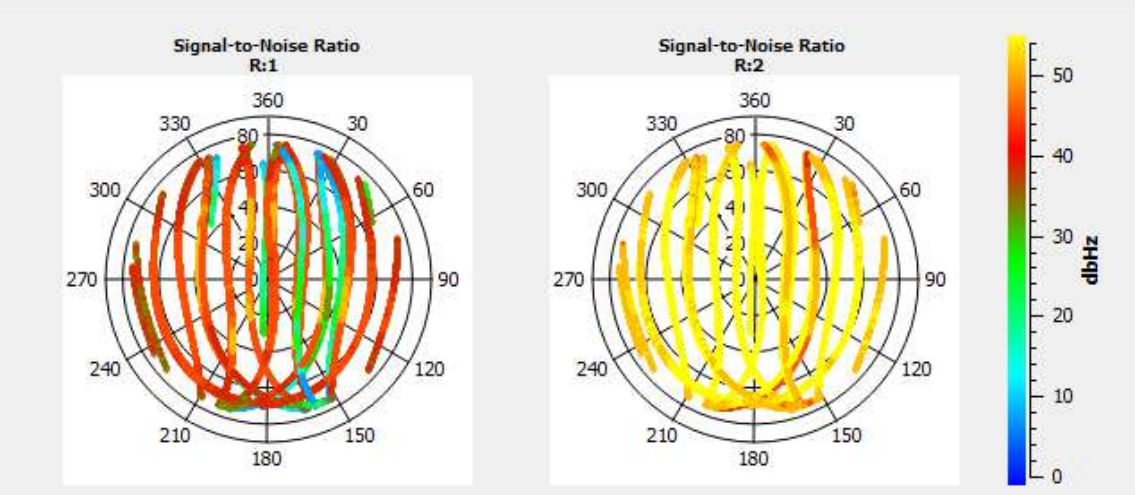
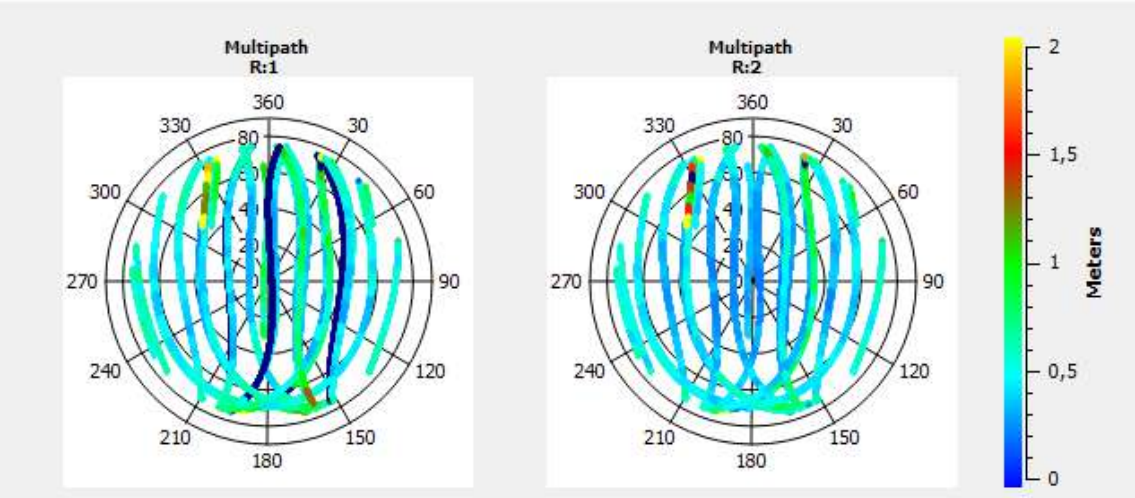
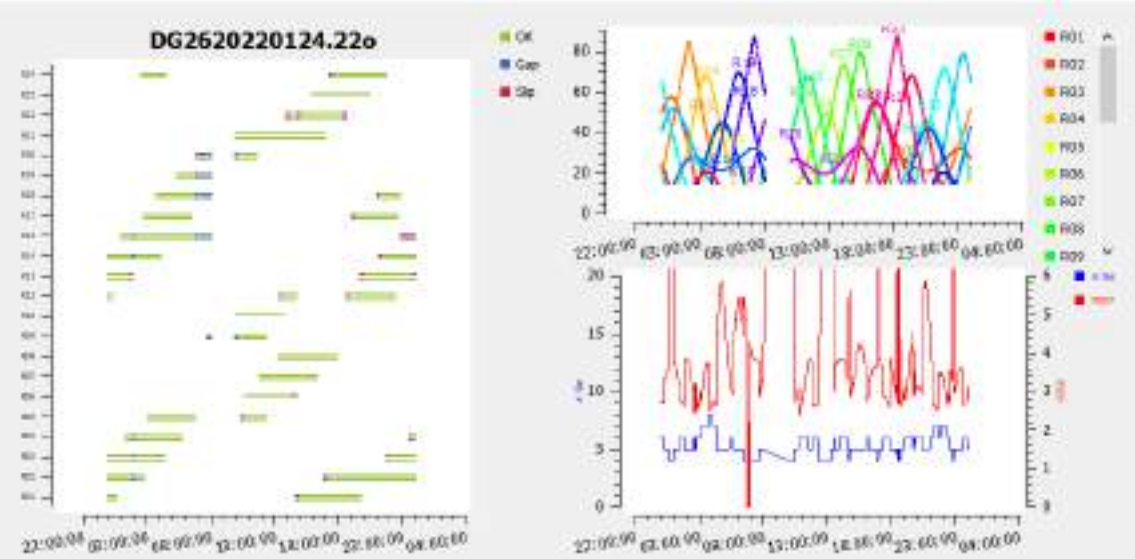
DG25 – GLONASS



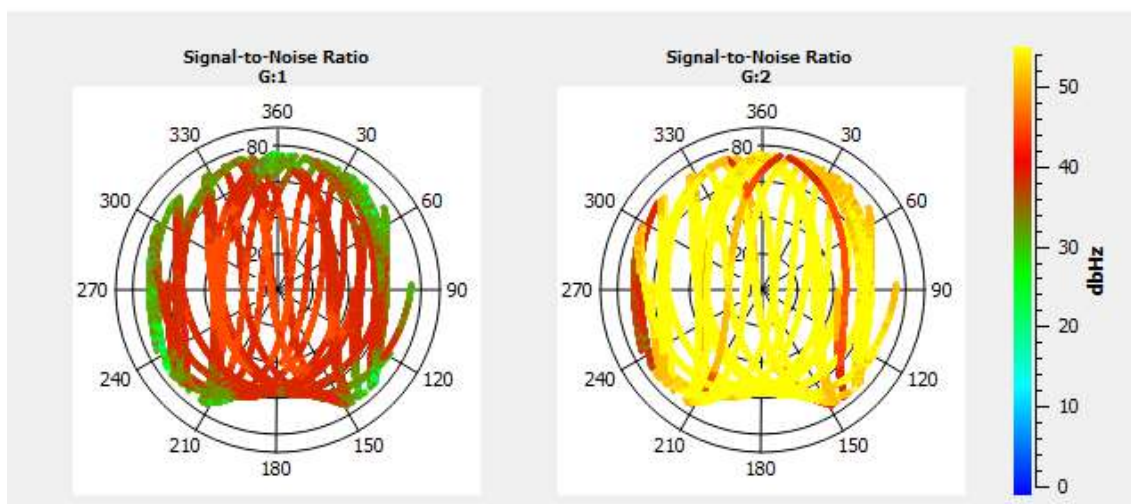
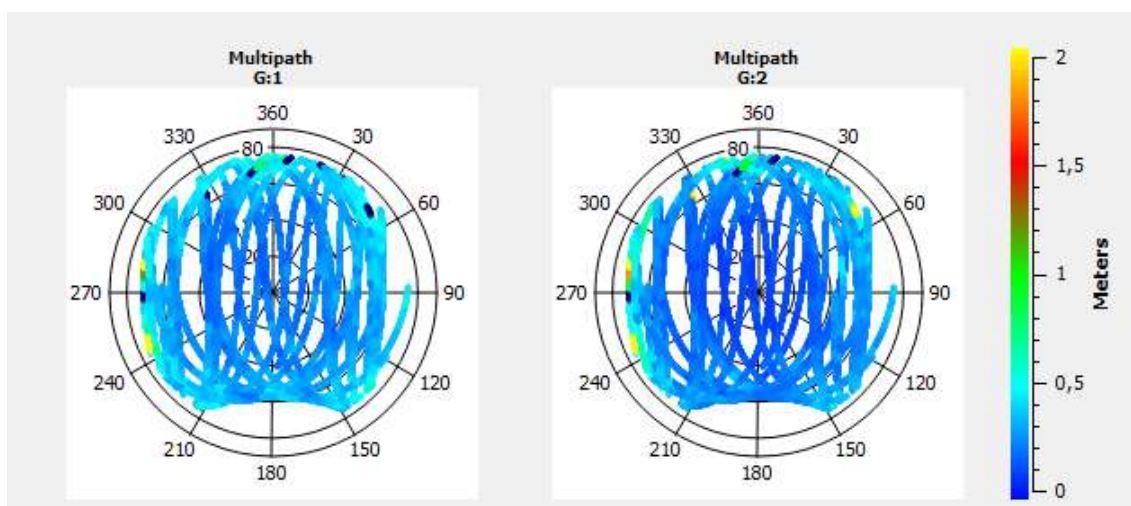
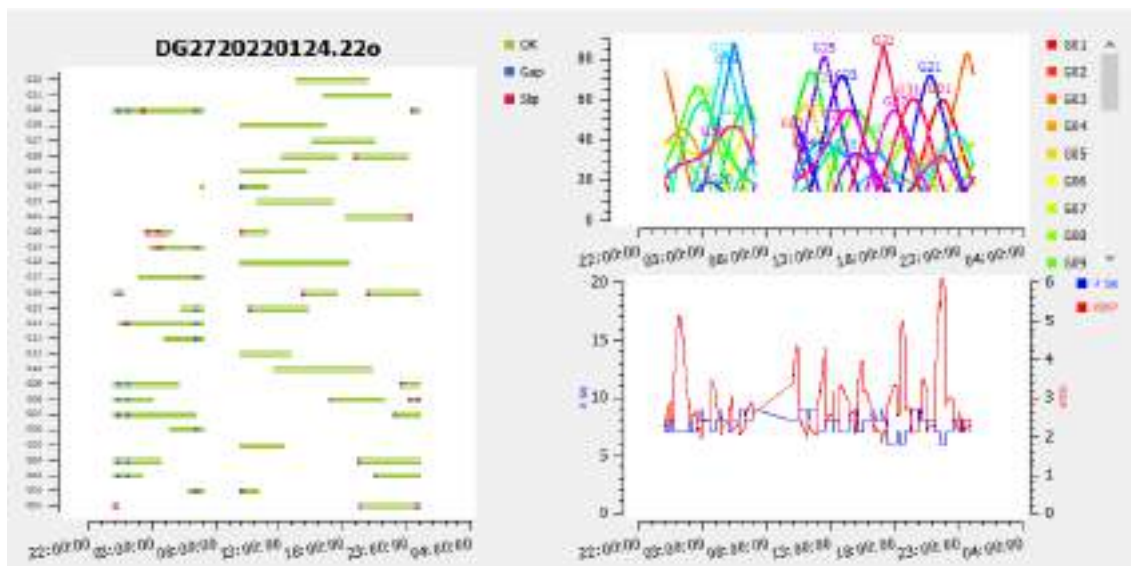
DG26 – GPS



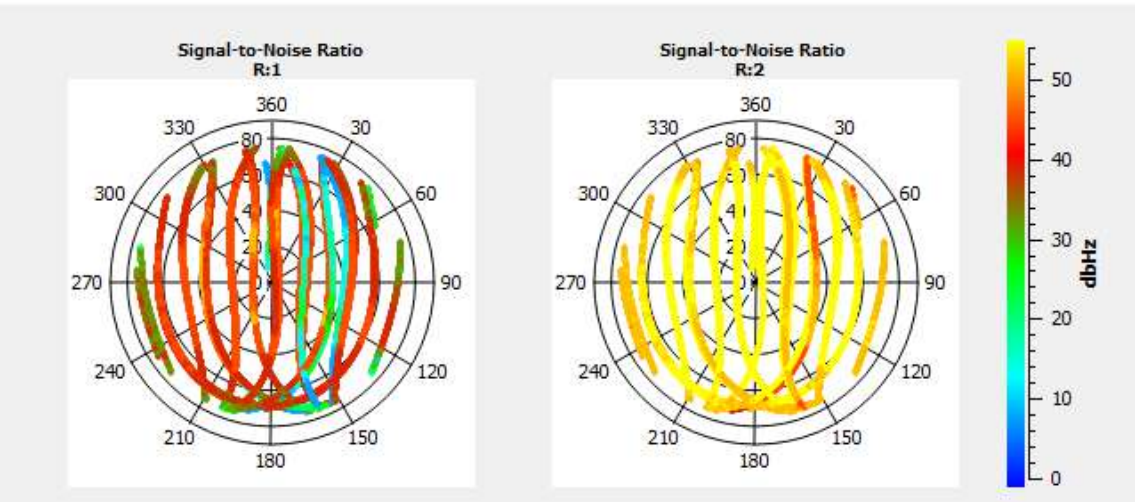
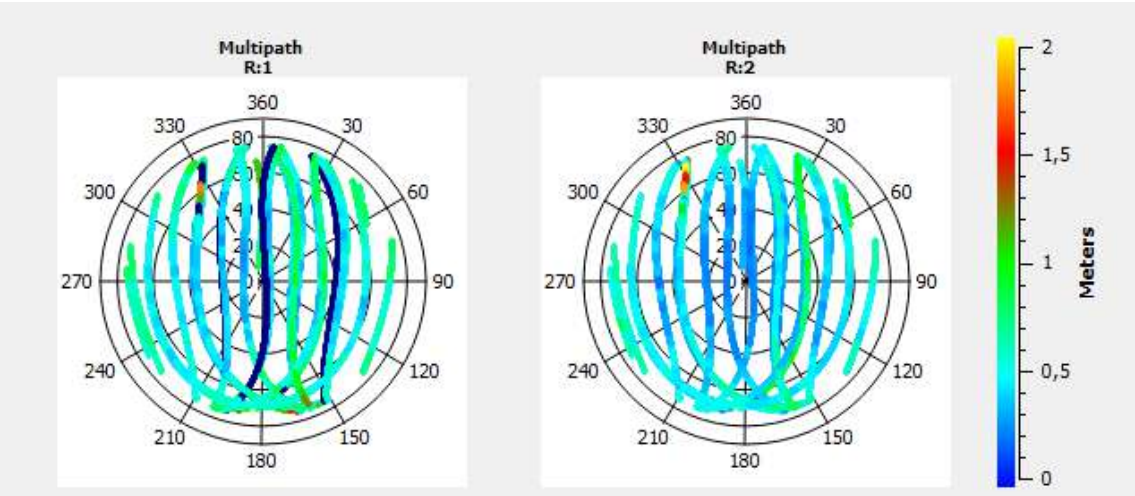
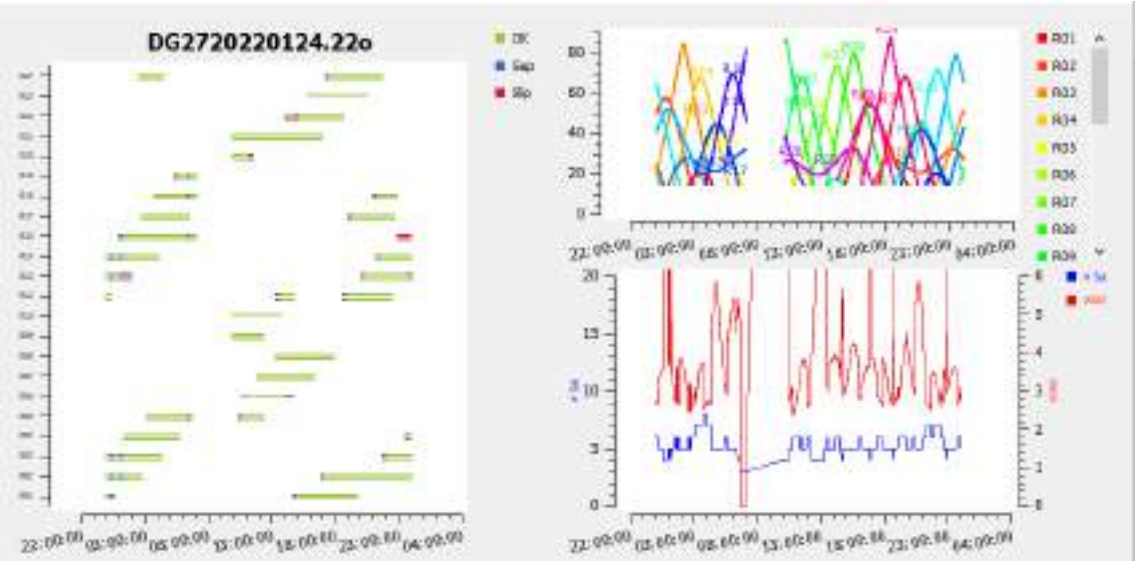
DG26 – GLONASS



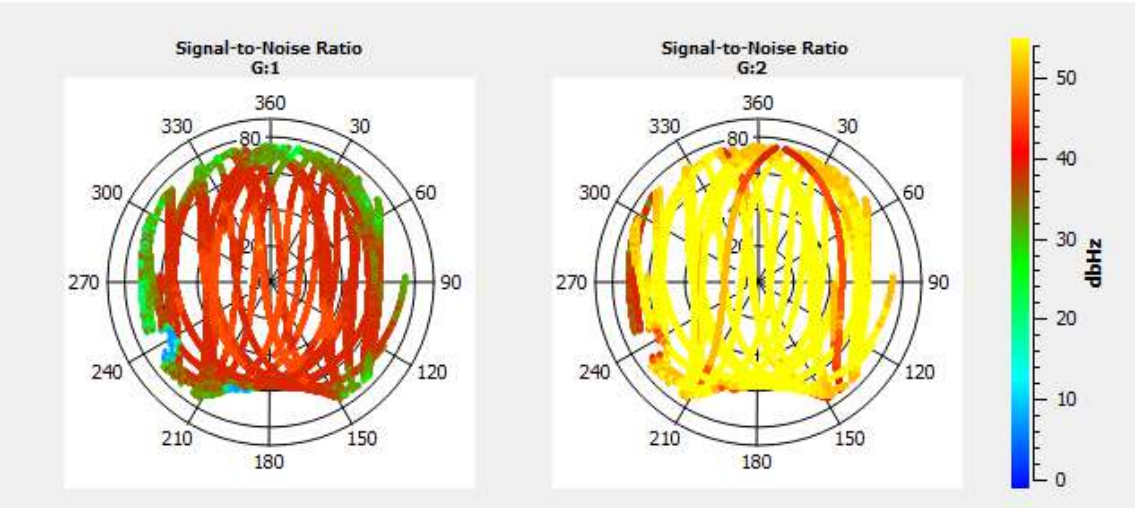
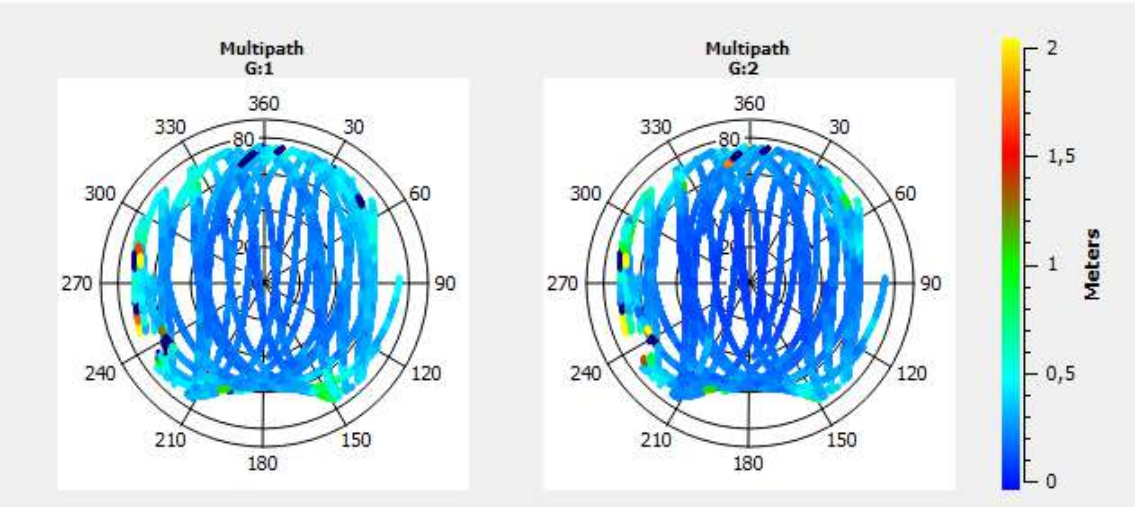
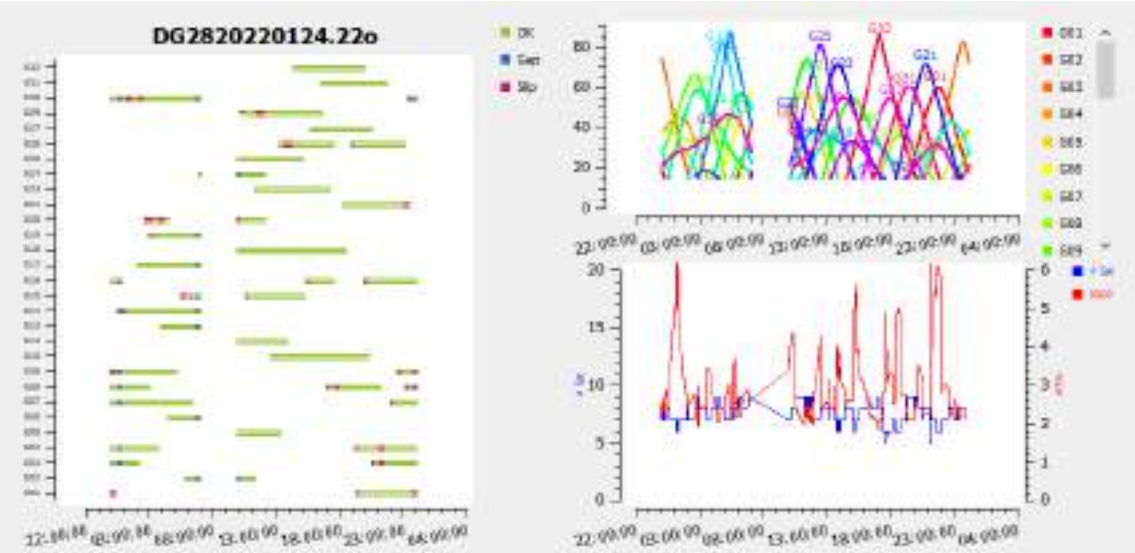
DG27 – GPS



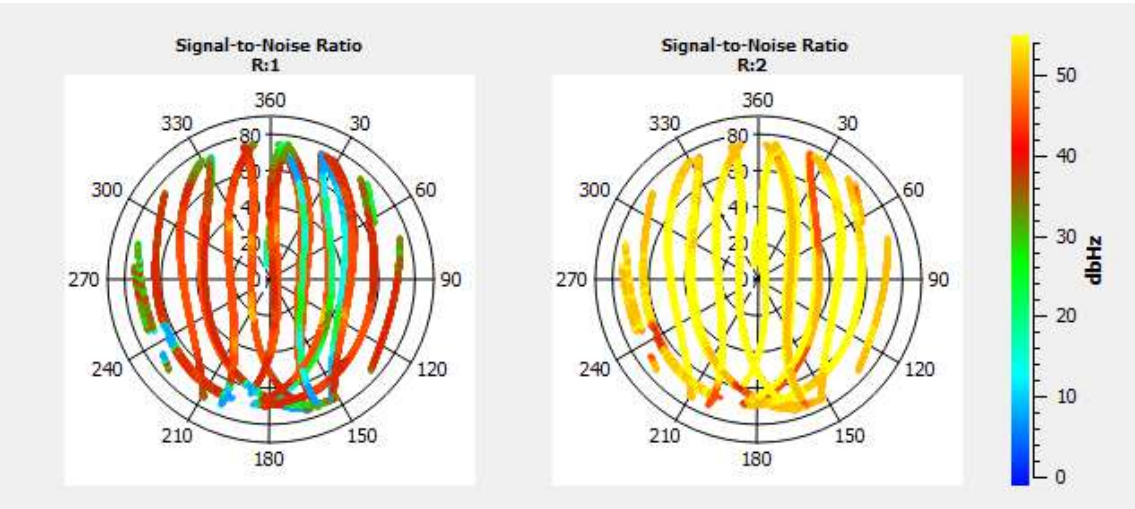
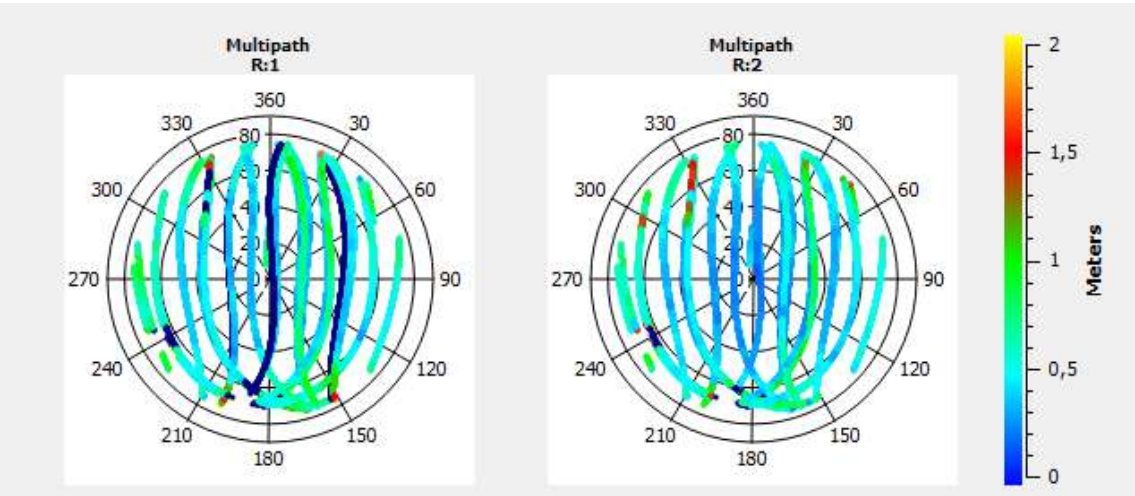
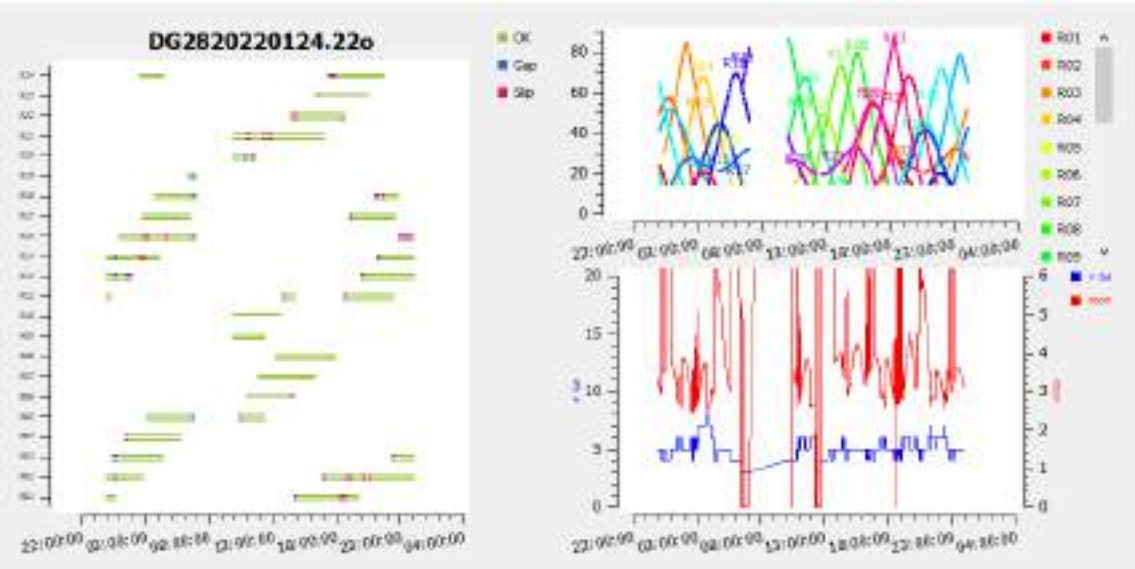
DG27 – GLONASS



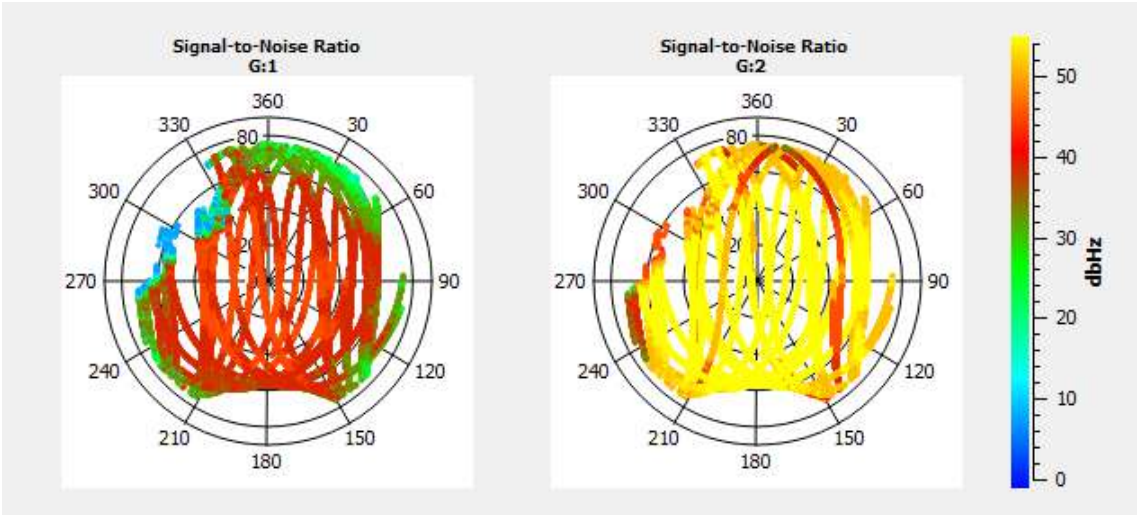
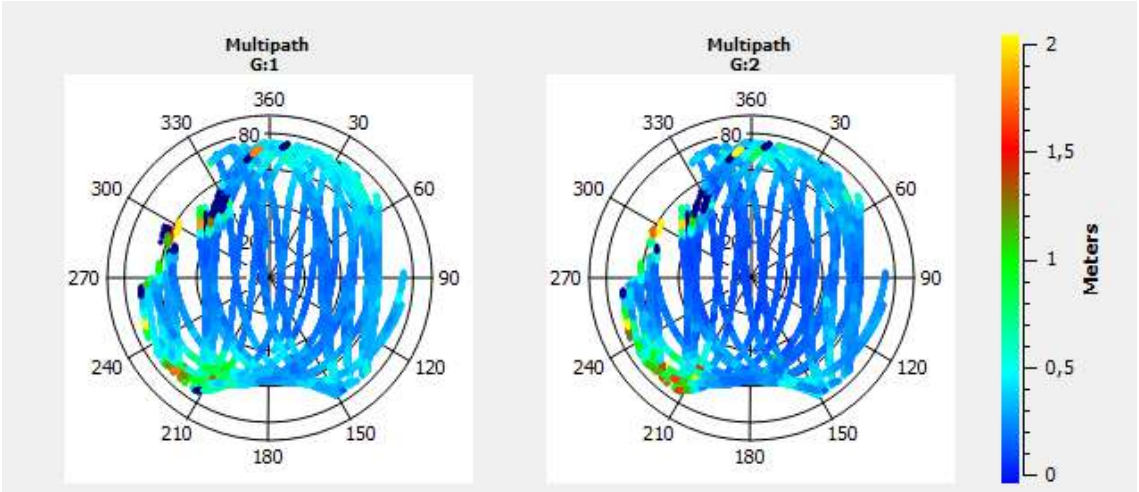
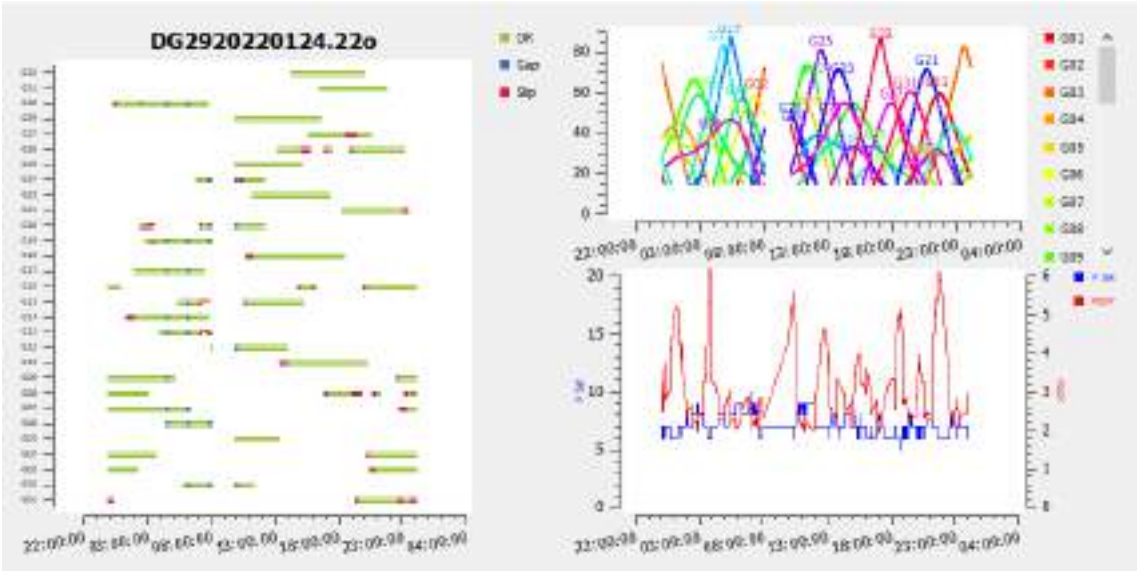
DG28 – GPS



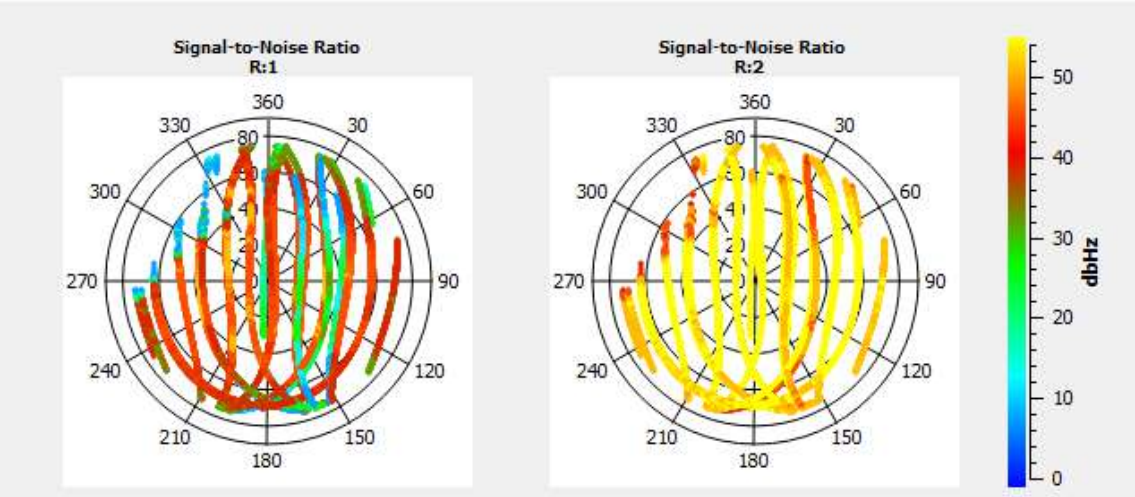
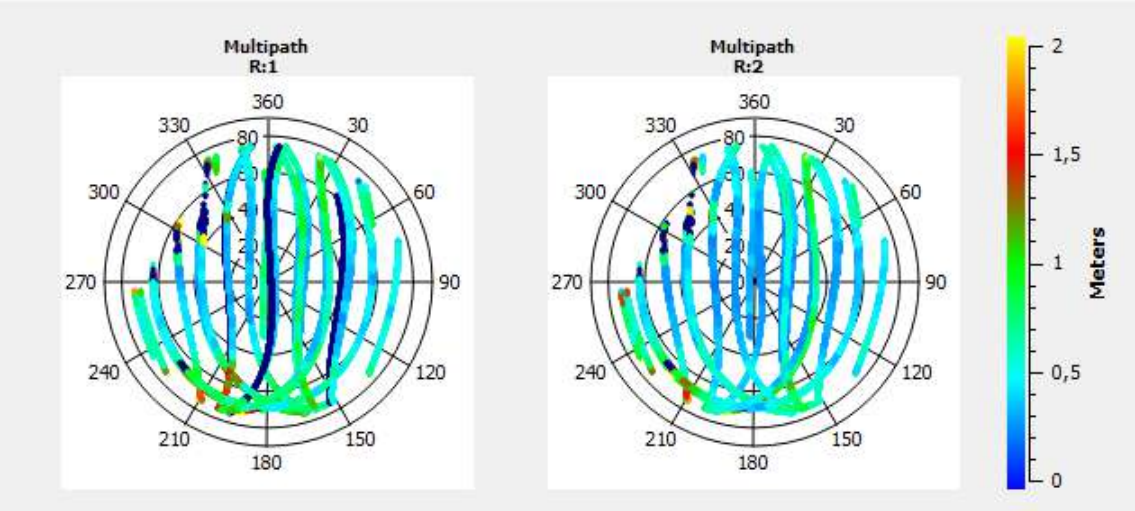
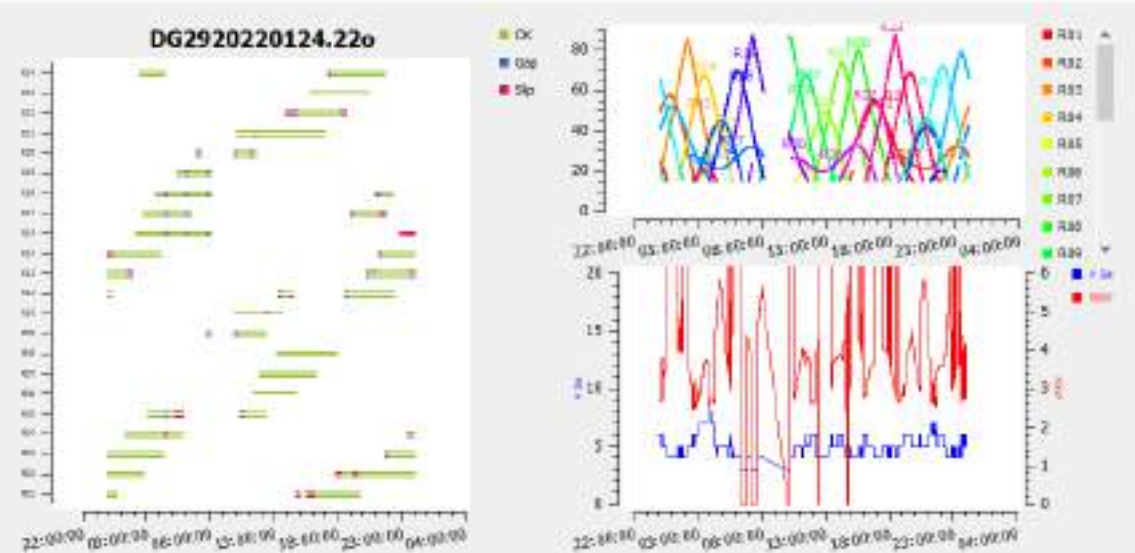
DG28 – GLONASS



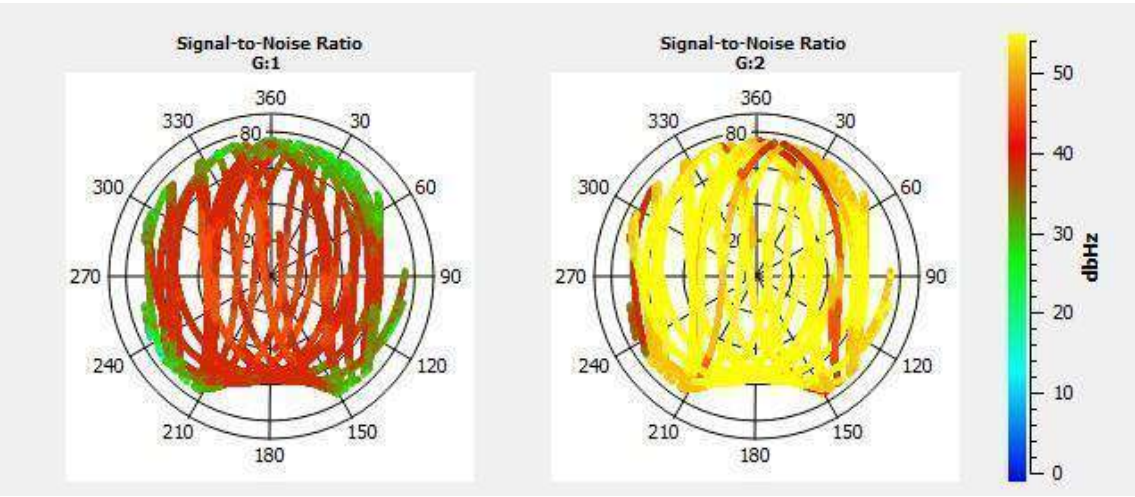
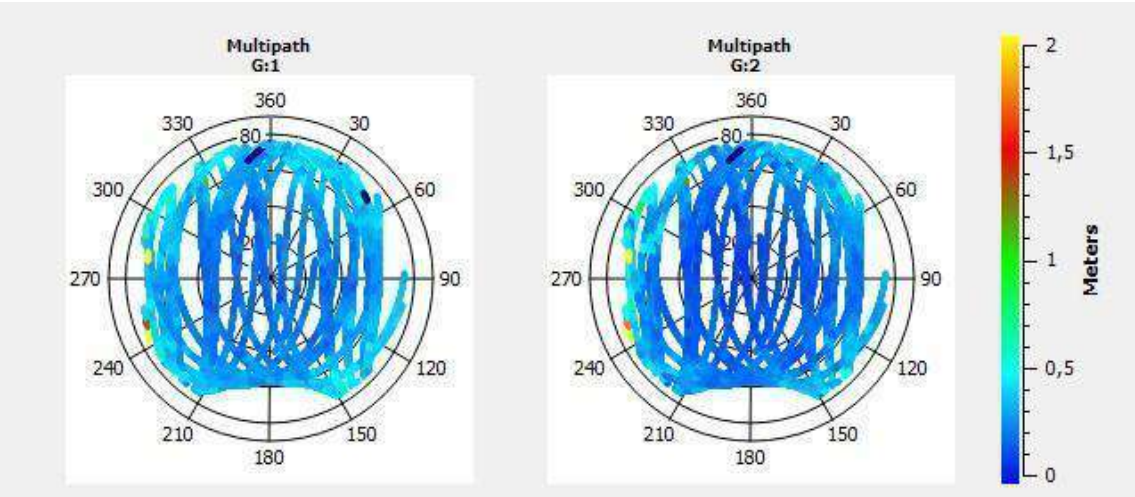
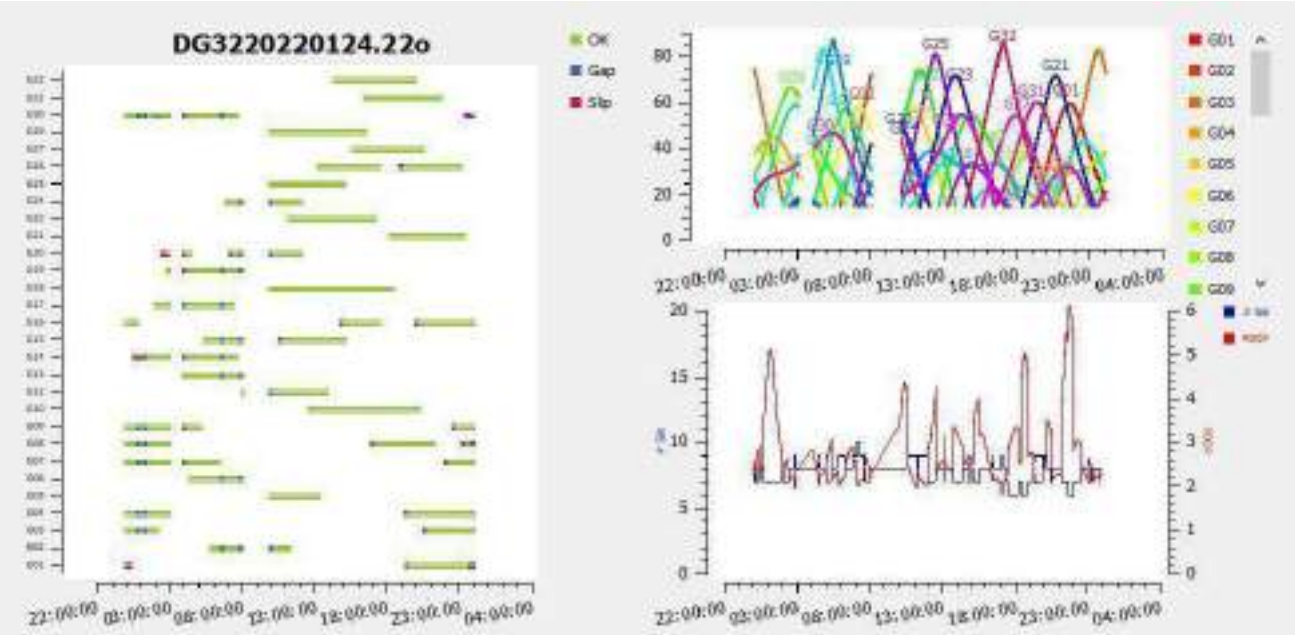
DG29 – GPS



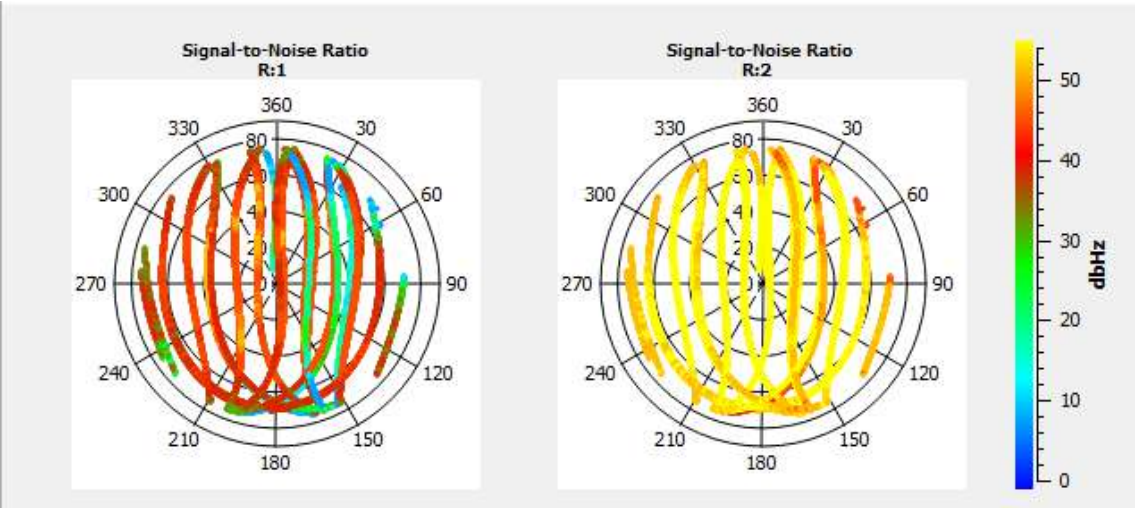
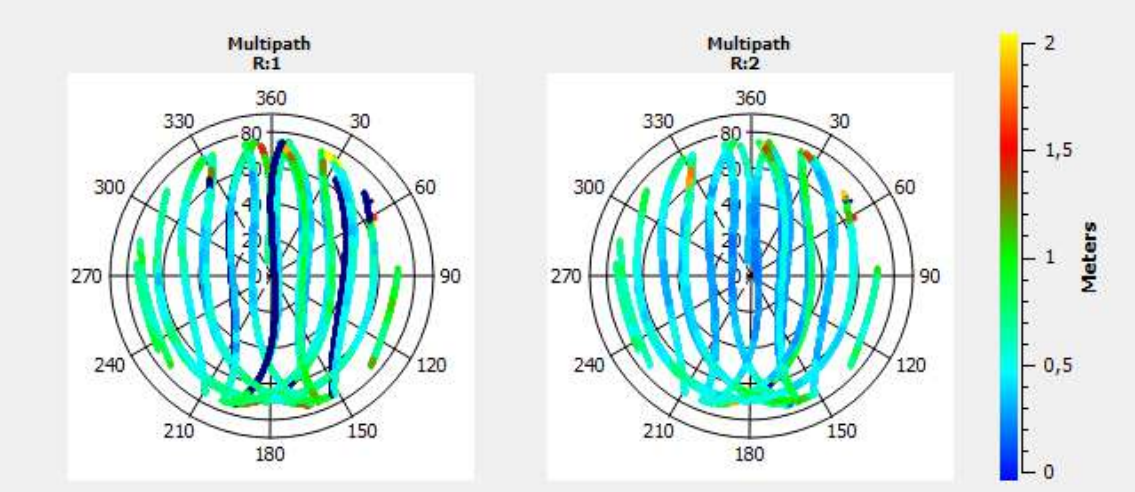
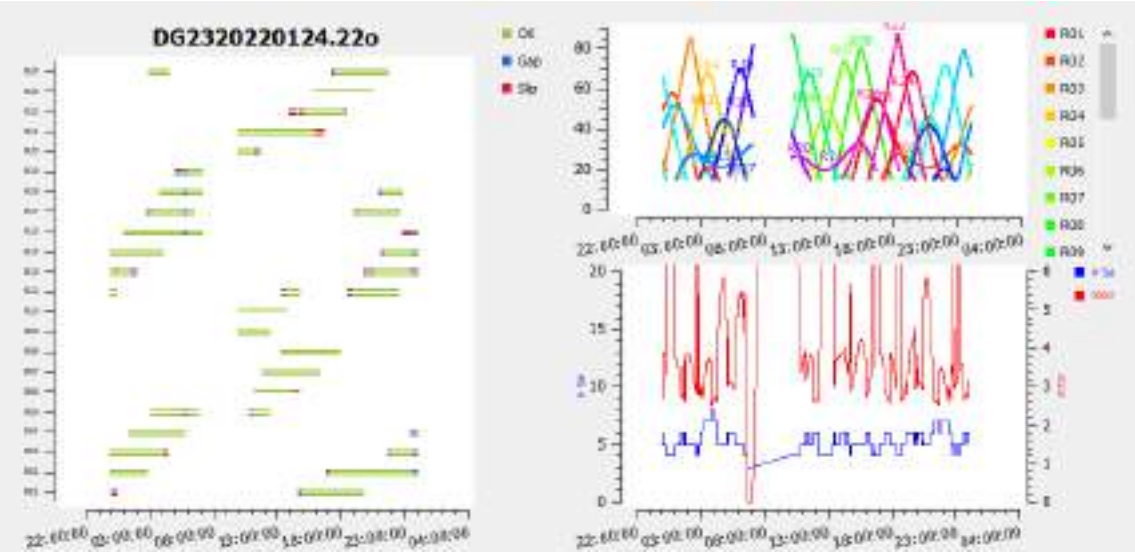
DG29 – GLONASS



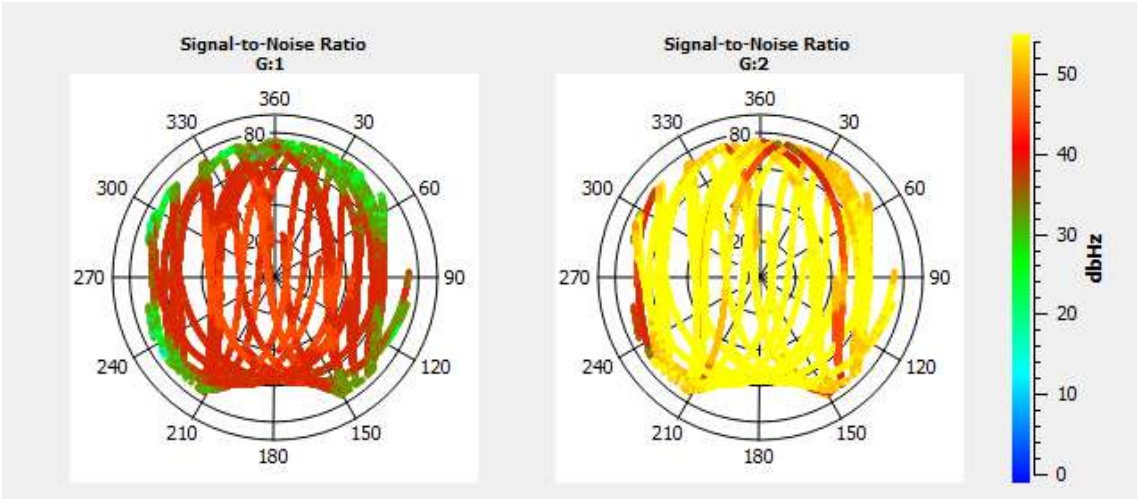
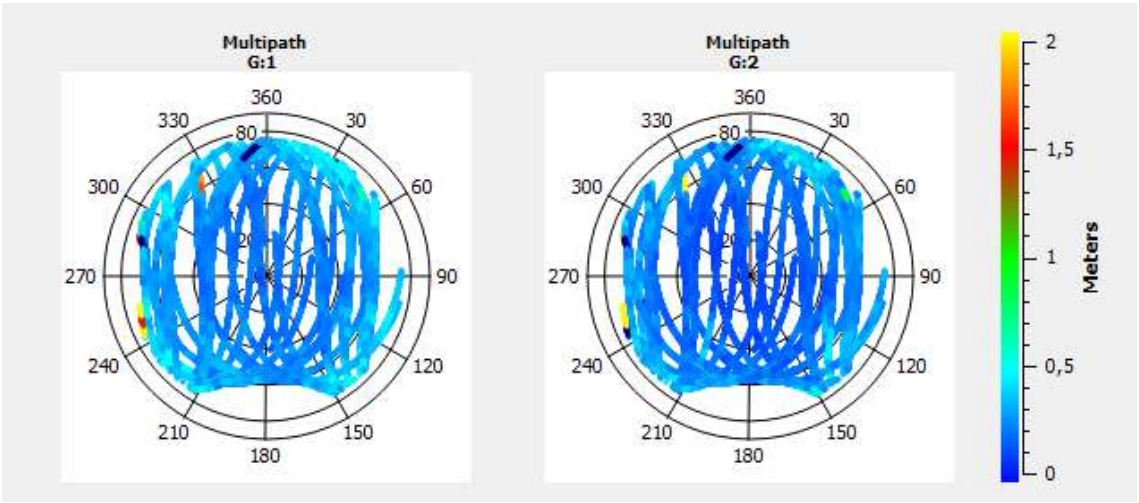
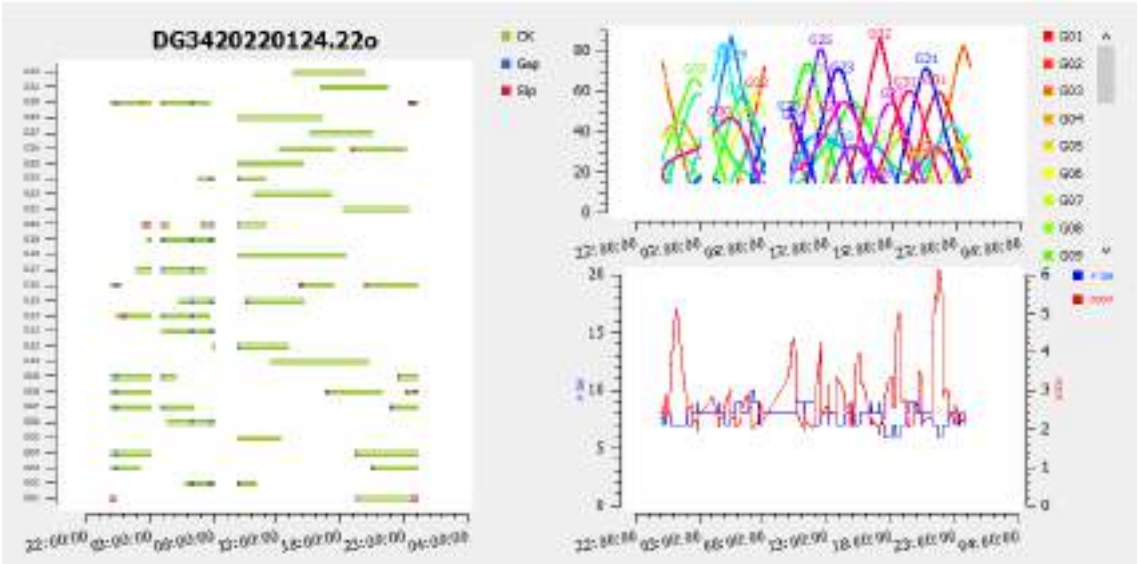
DG32 – GPS



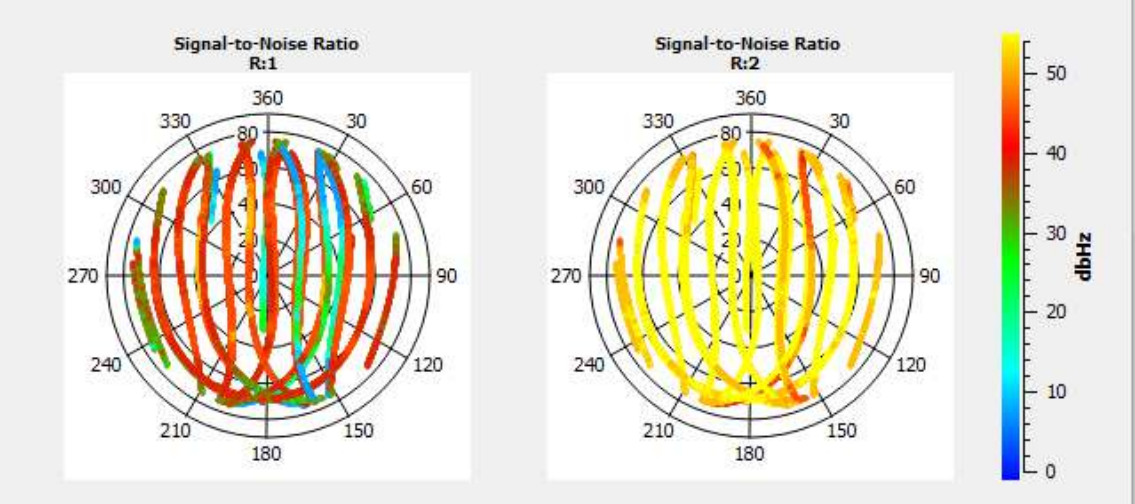
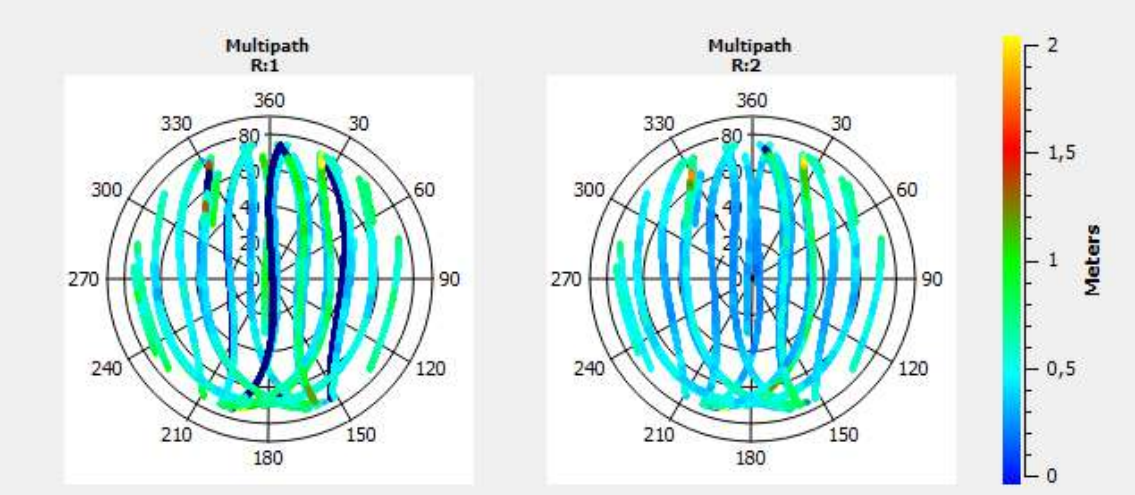
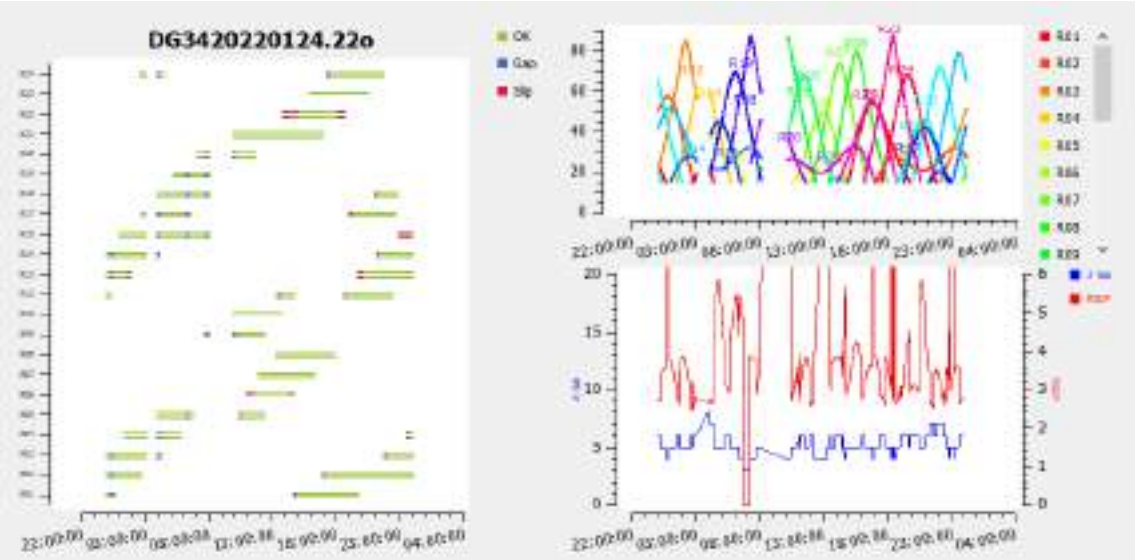
DG32 – GLONASS



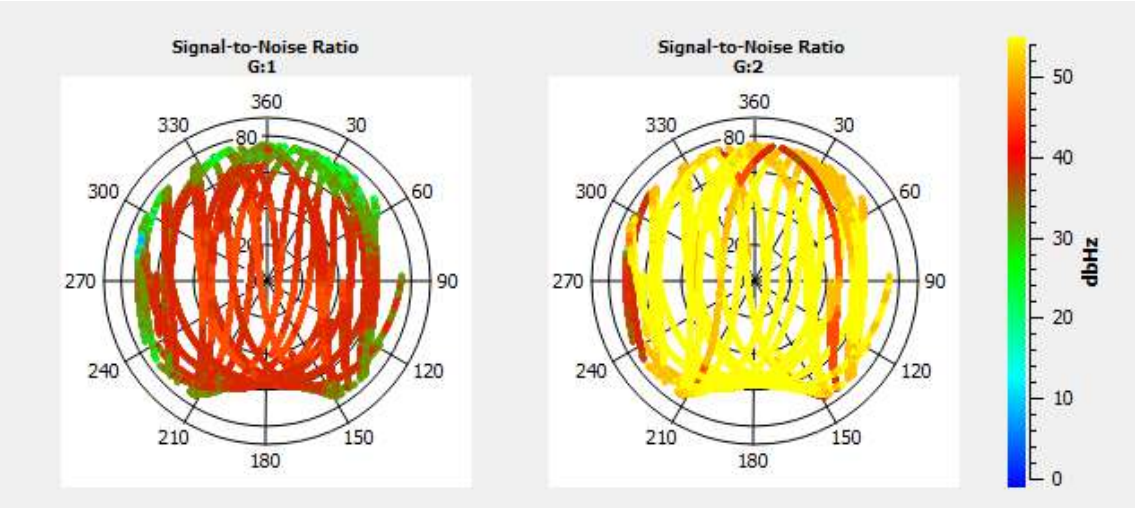
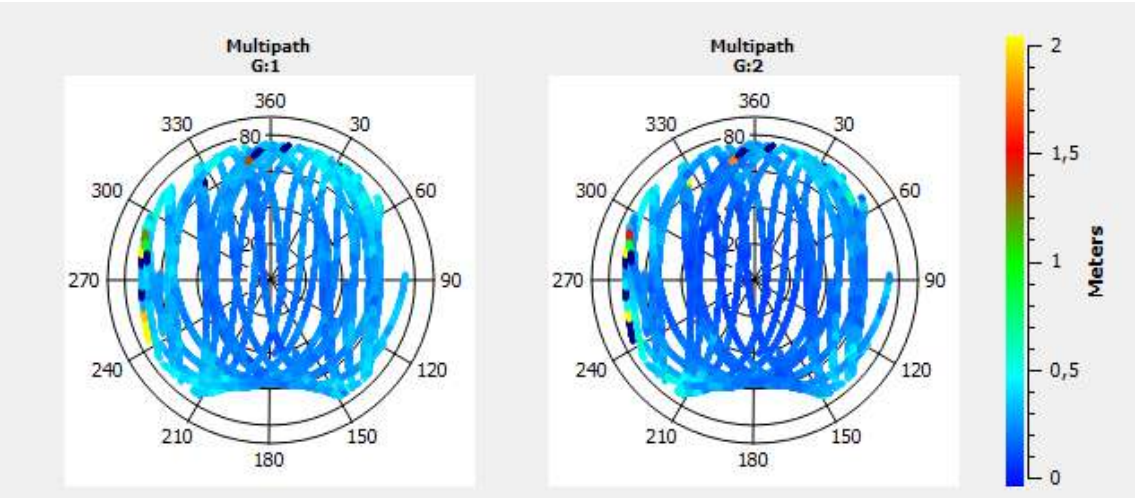
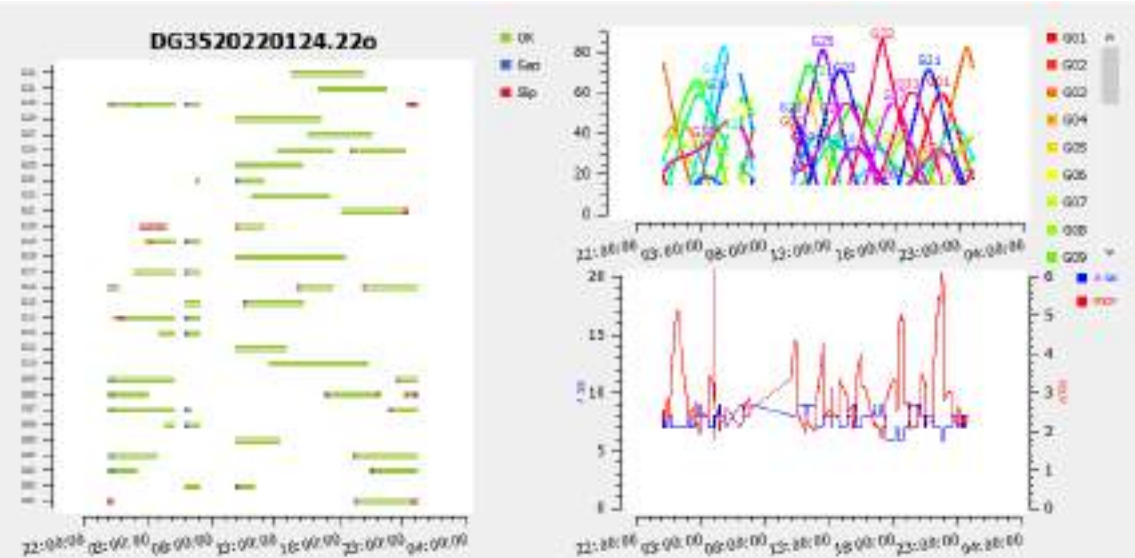
DG34 – GPS



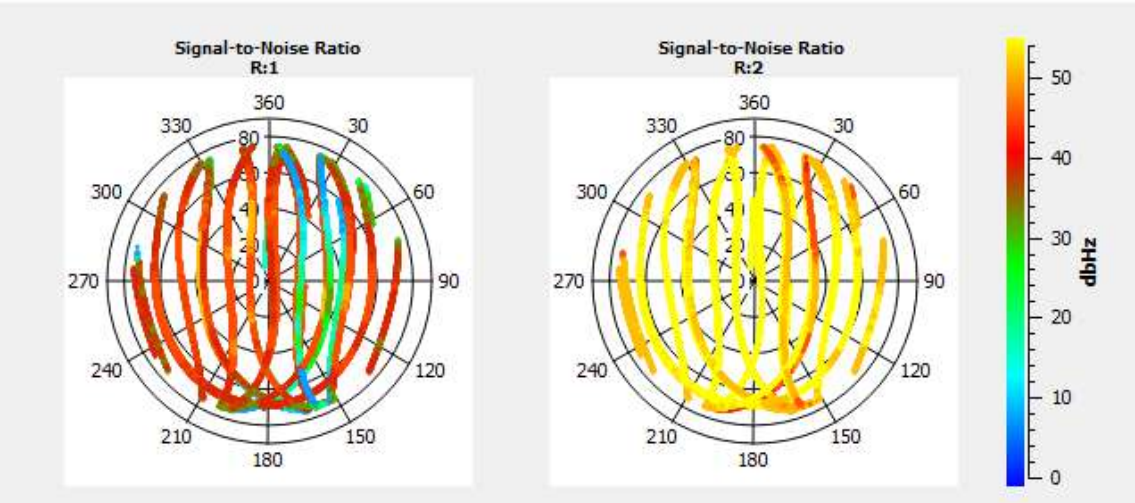
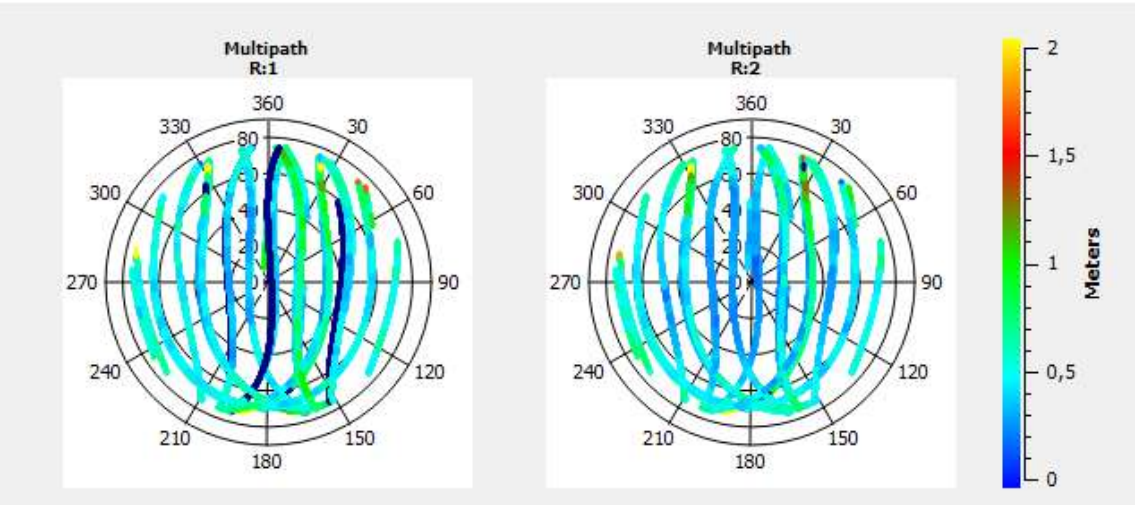
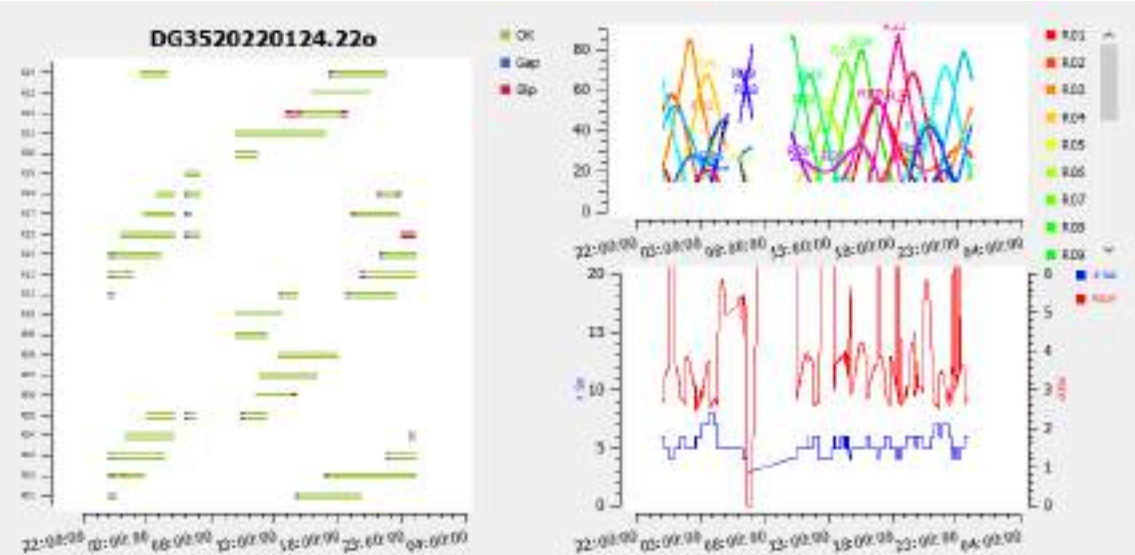
DG34 – GLONASS



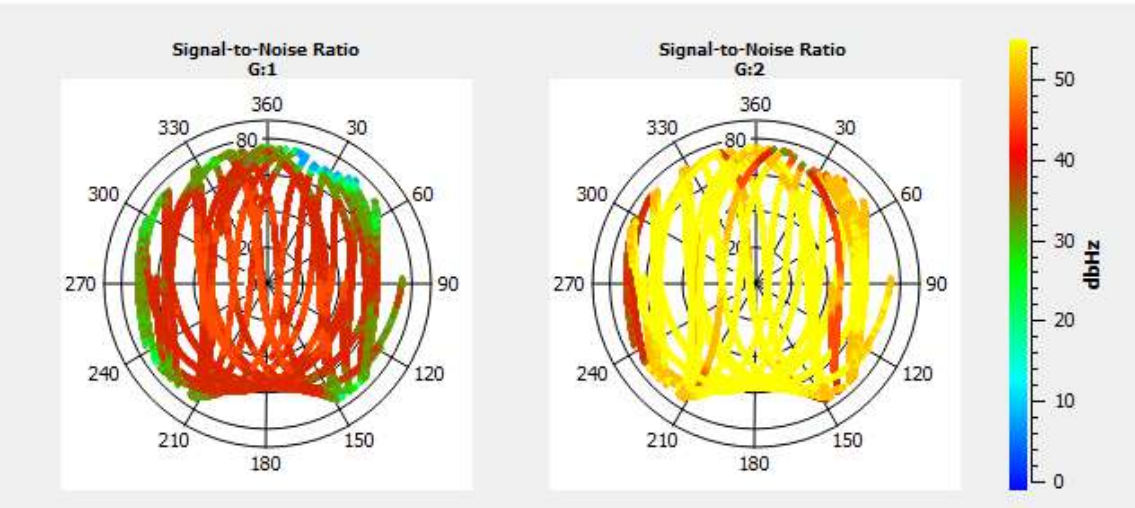
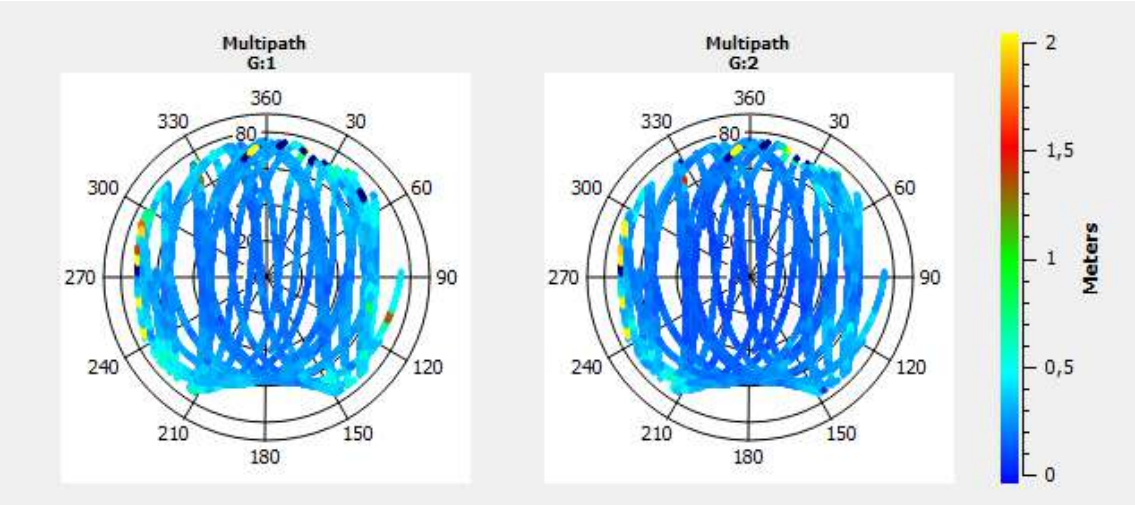
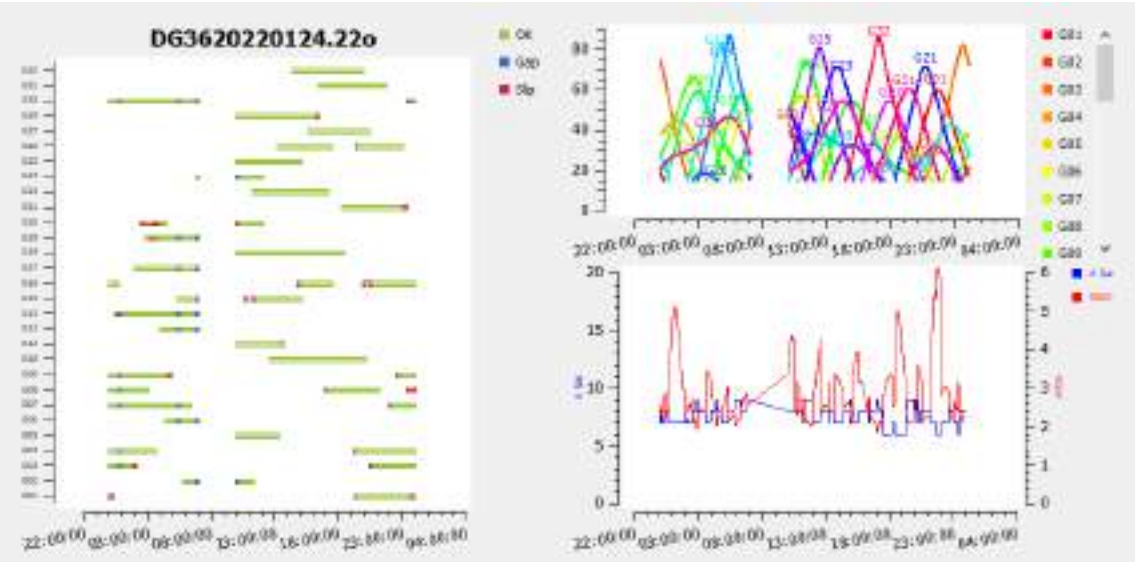
DG35 – GPS



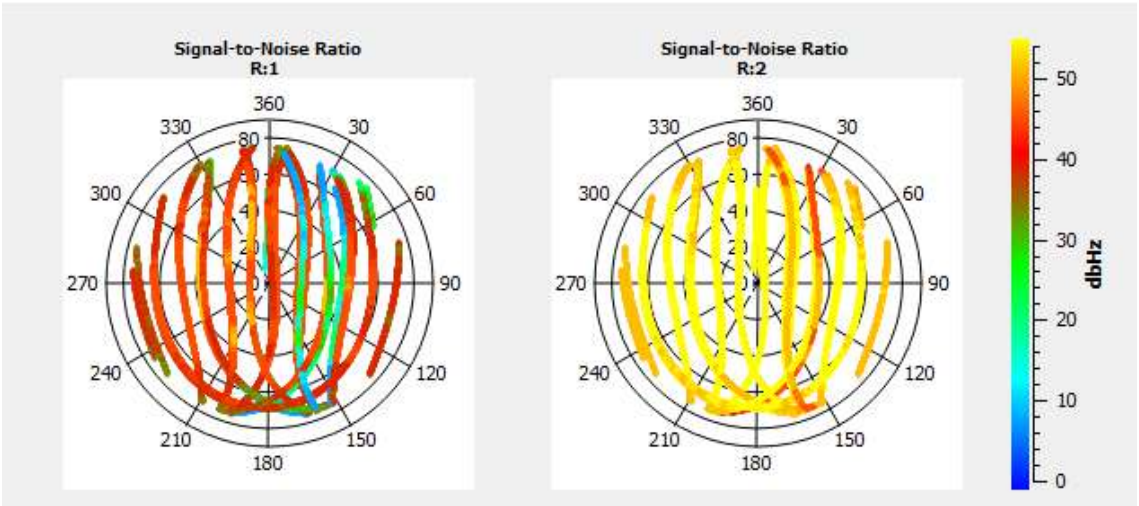
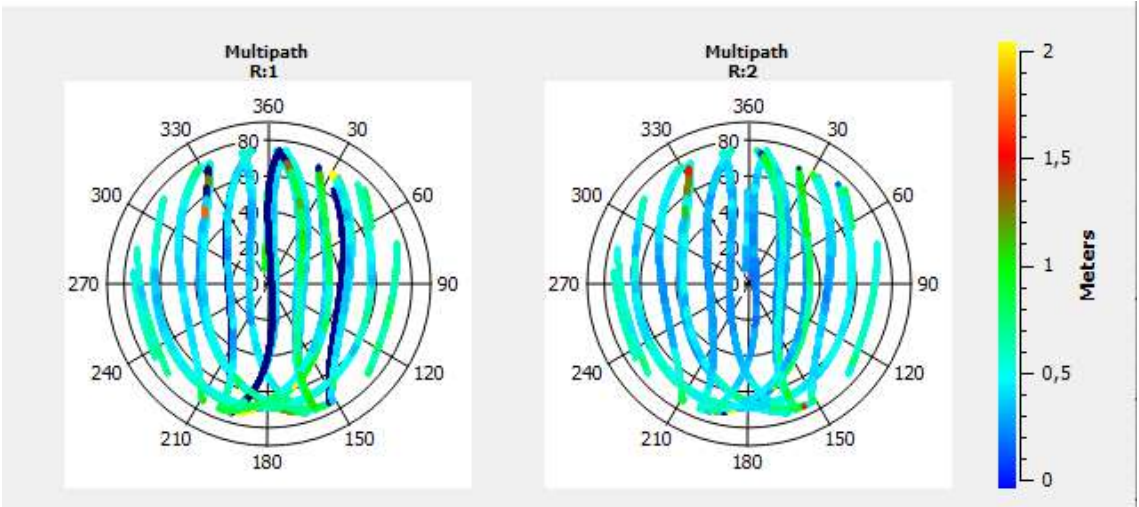
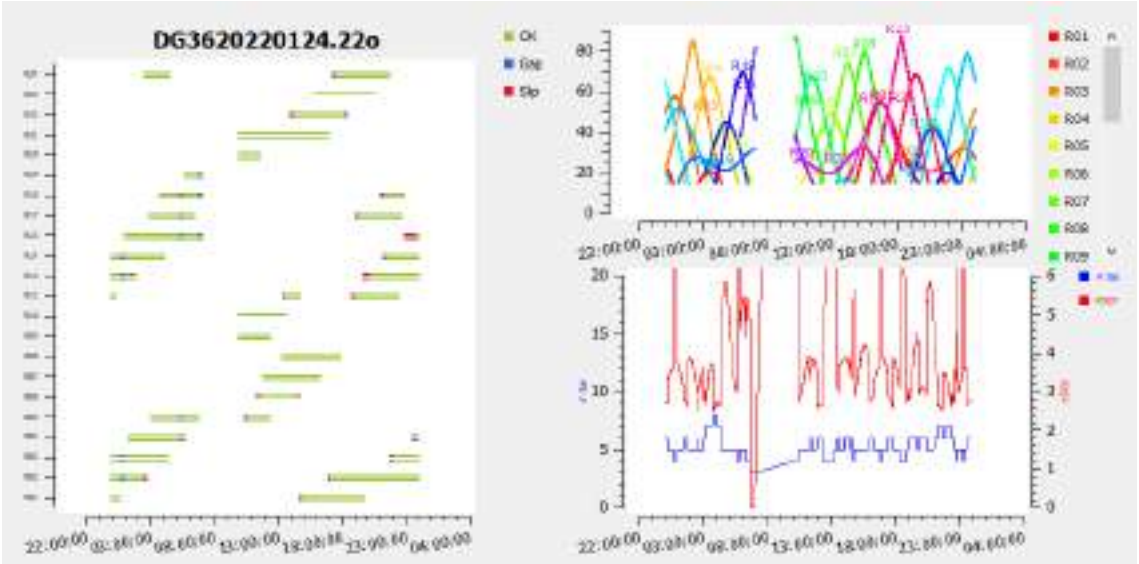
DG35 – GLONASS



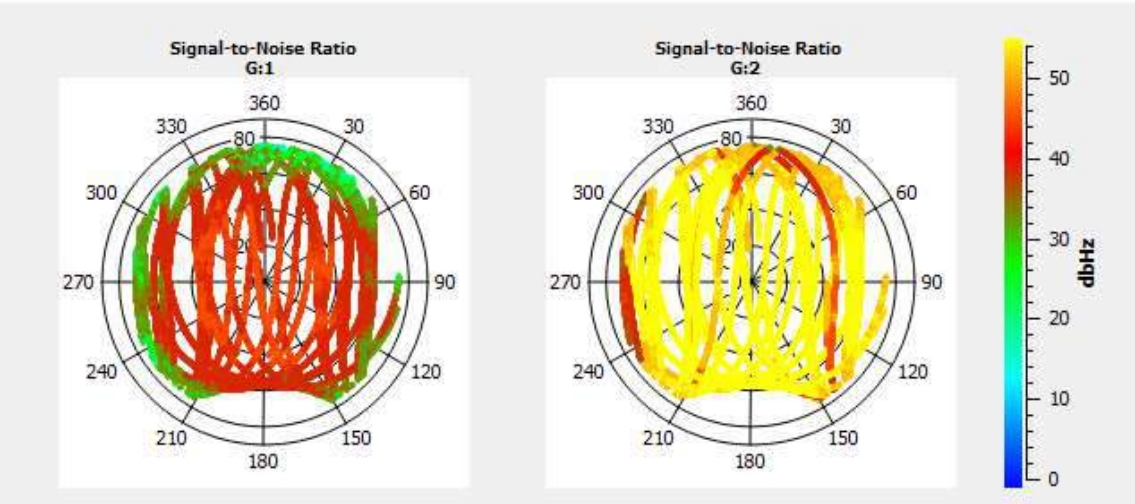
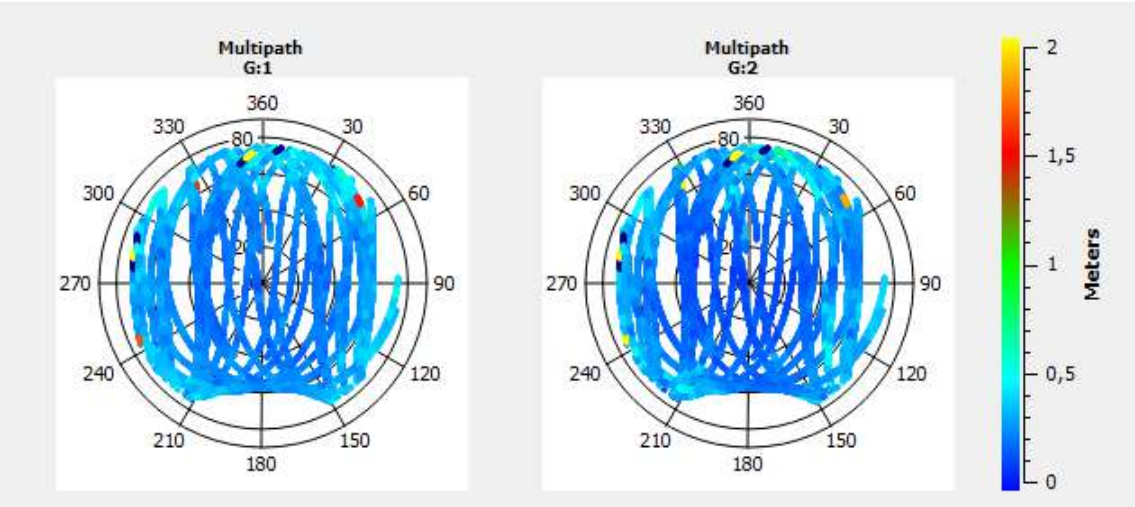
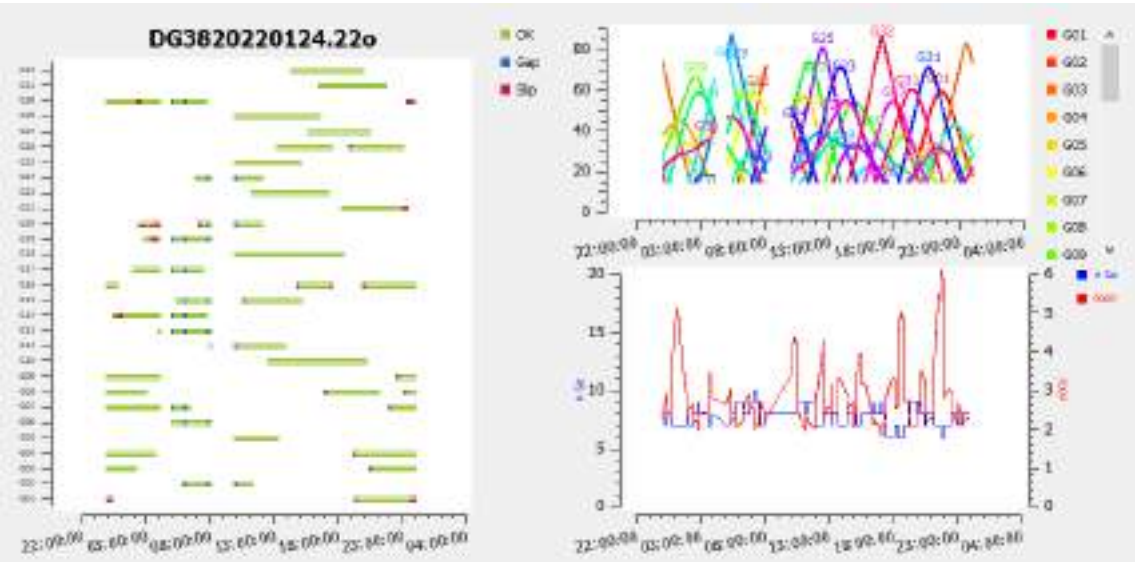
DG36 – GPS



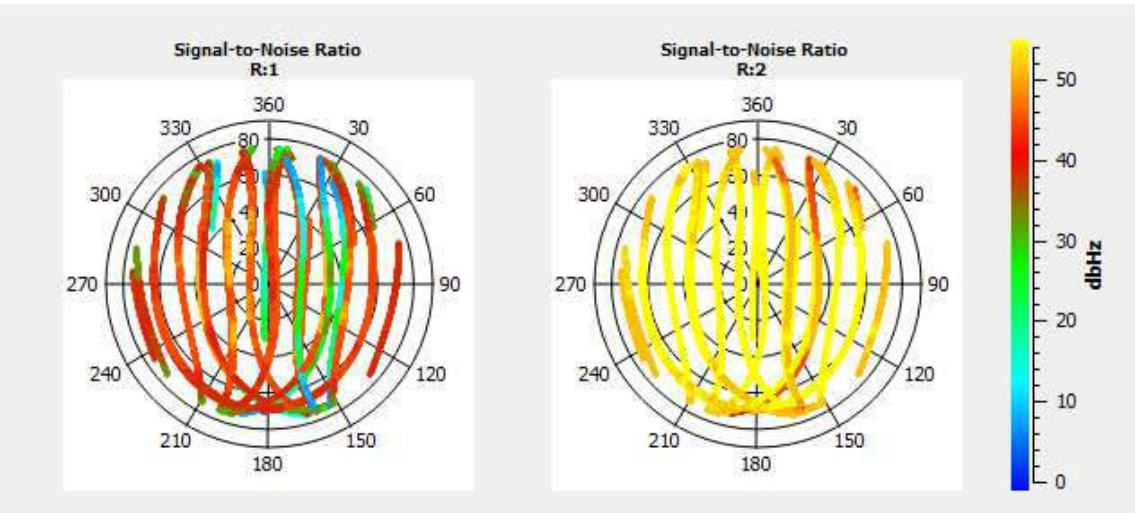
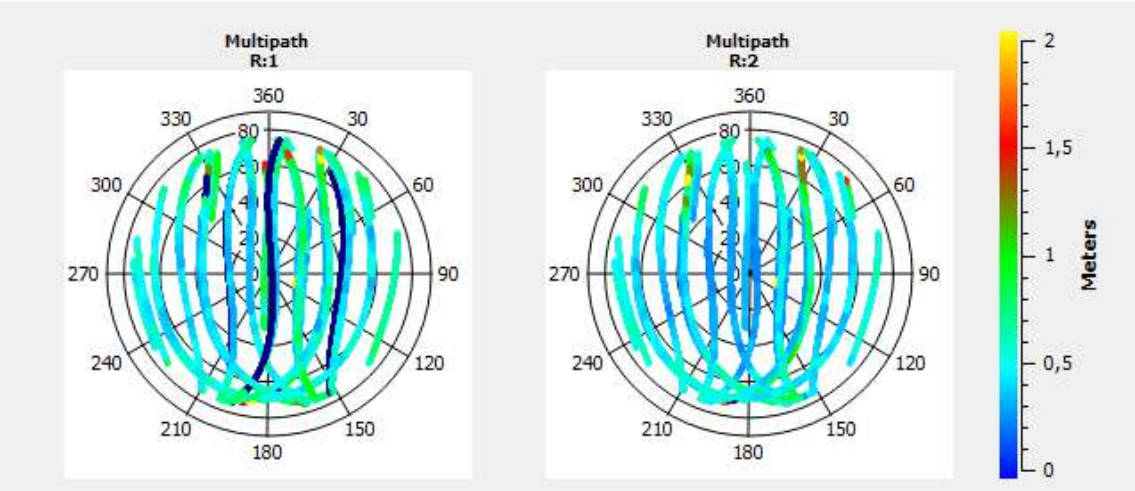
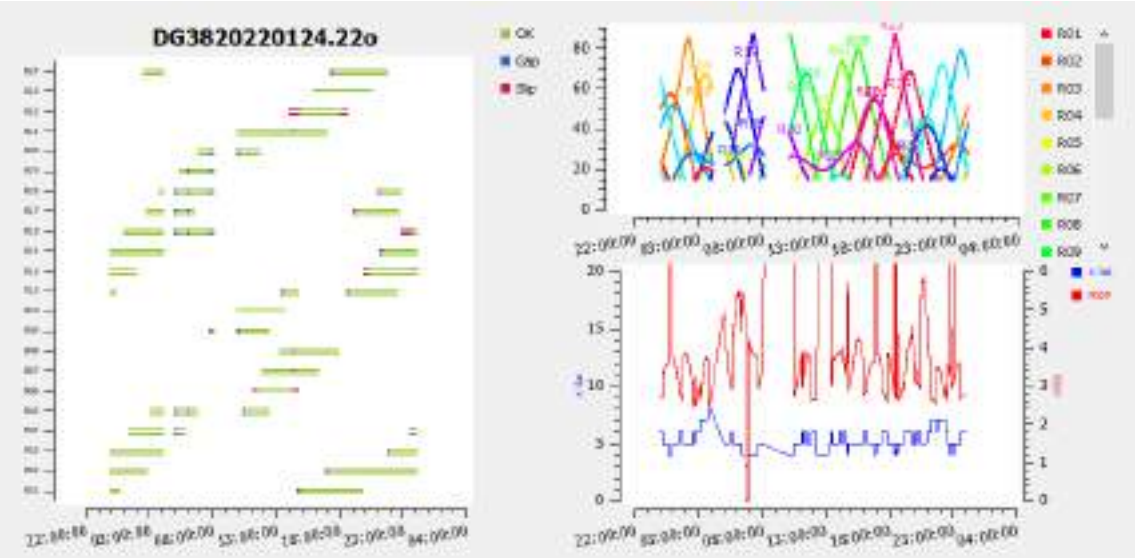
DG36 – GLONASS



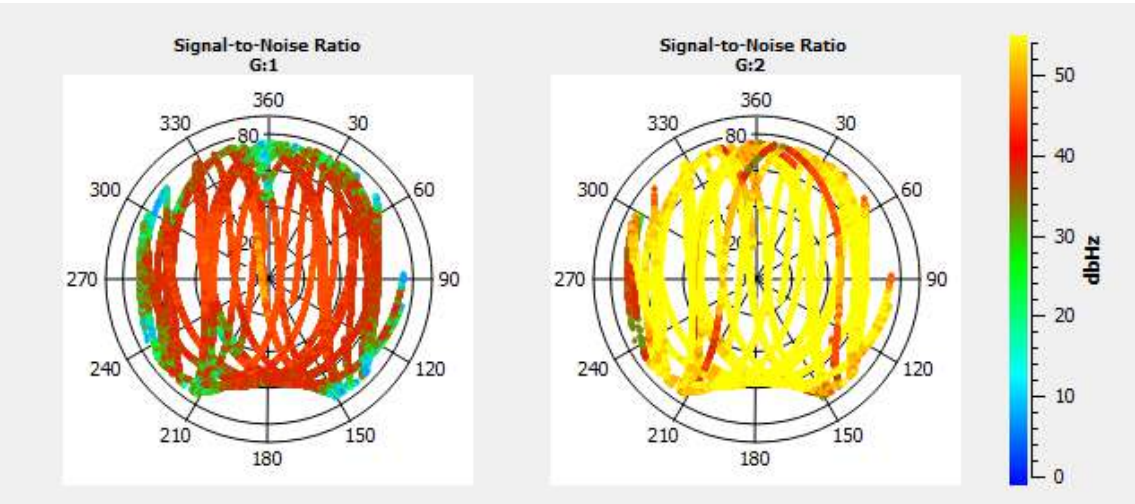
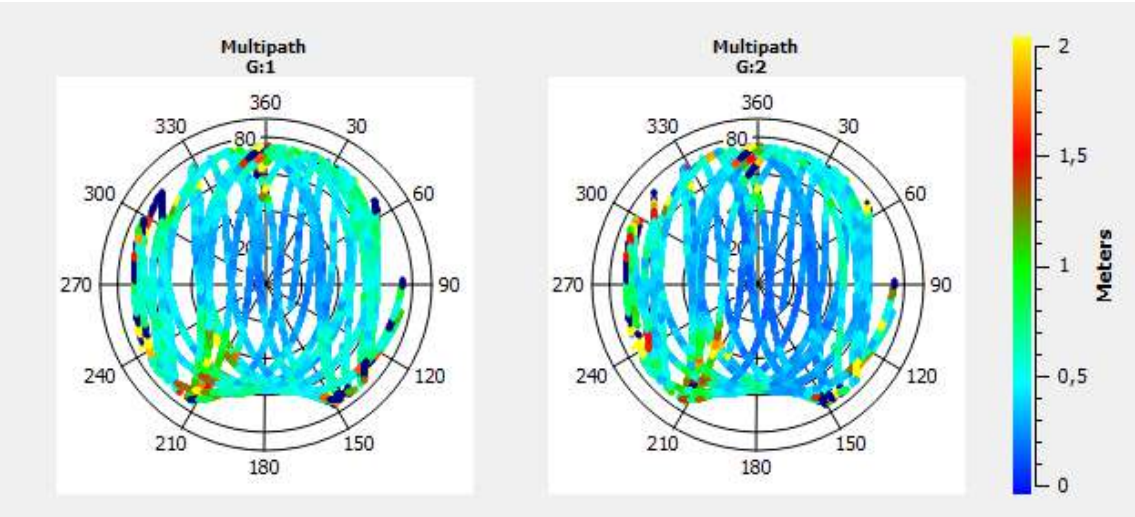
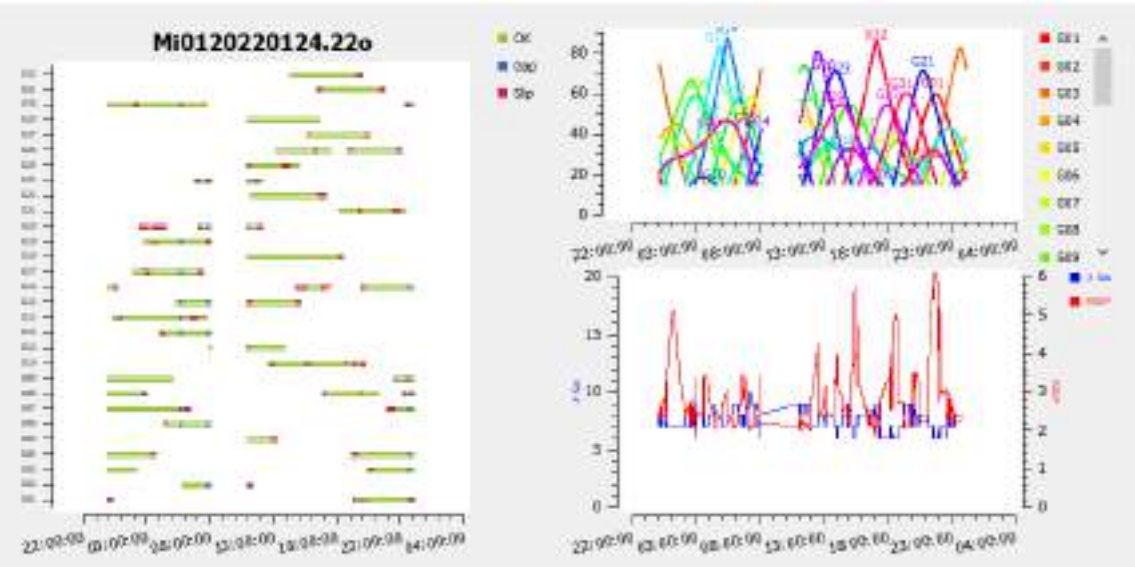
DG38 – GPS



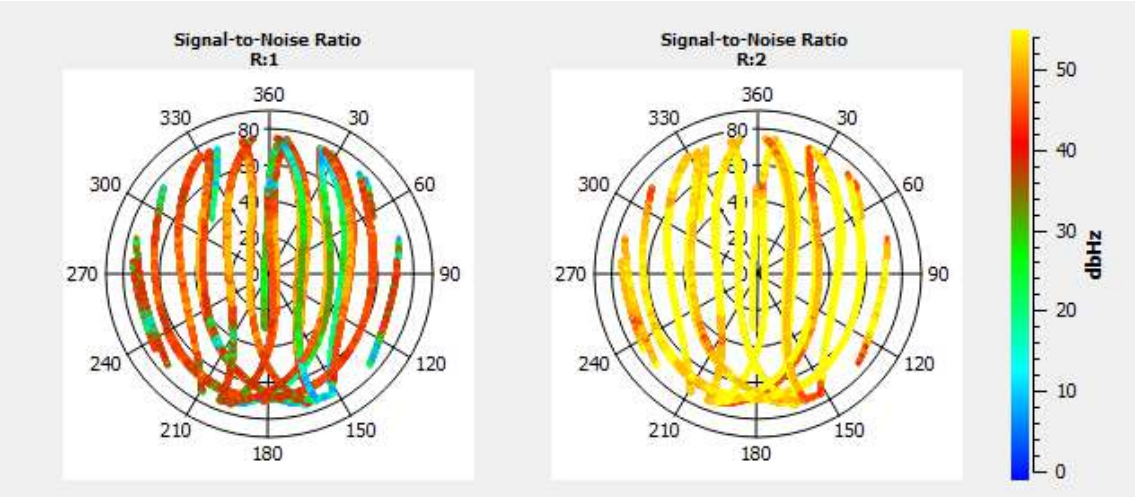
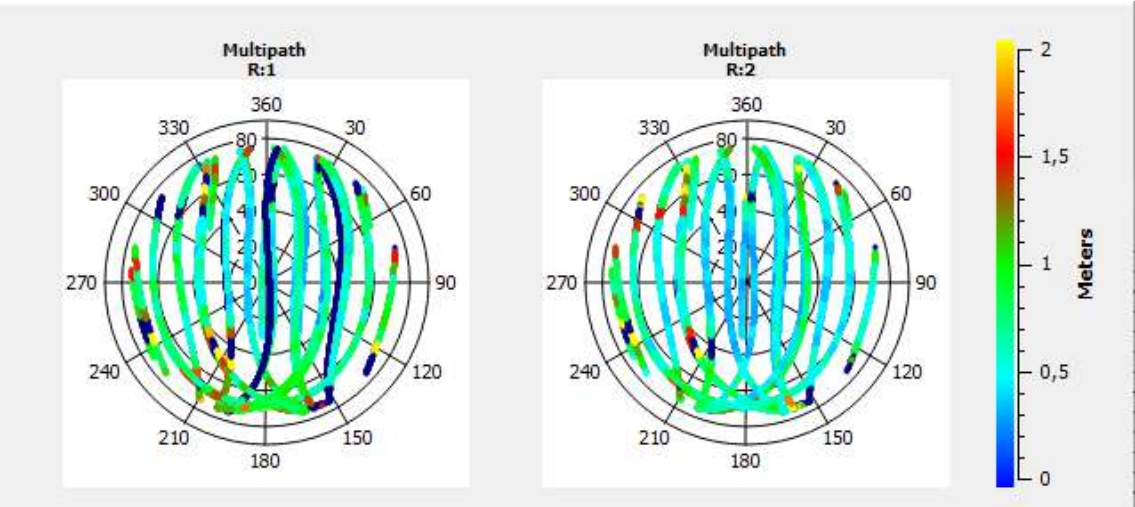
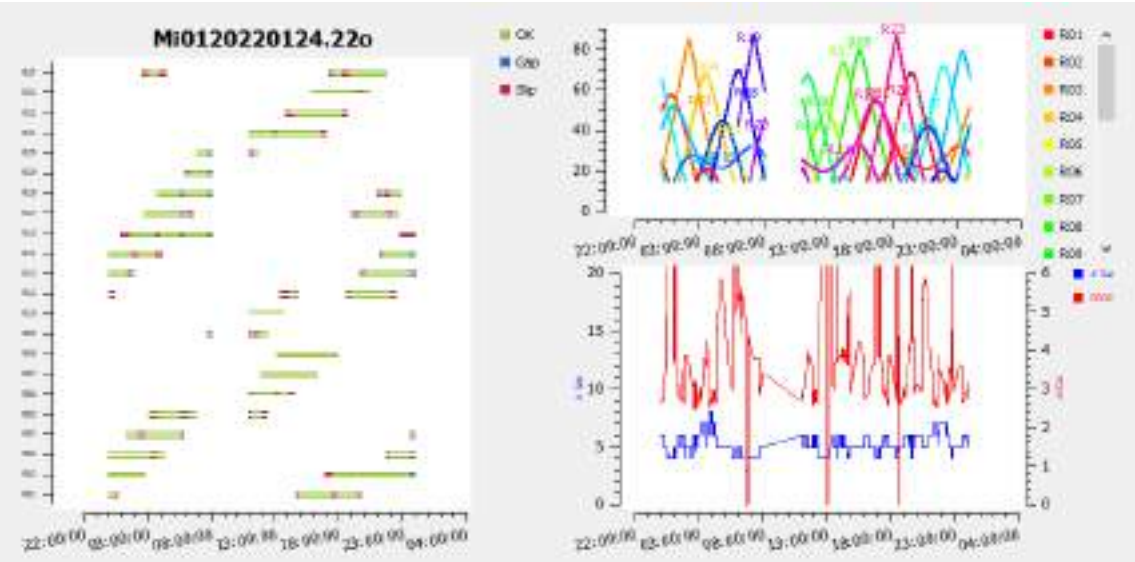
DG38 – GLONASS



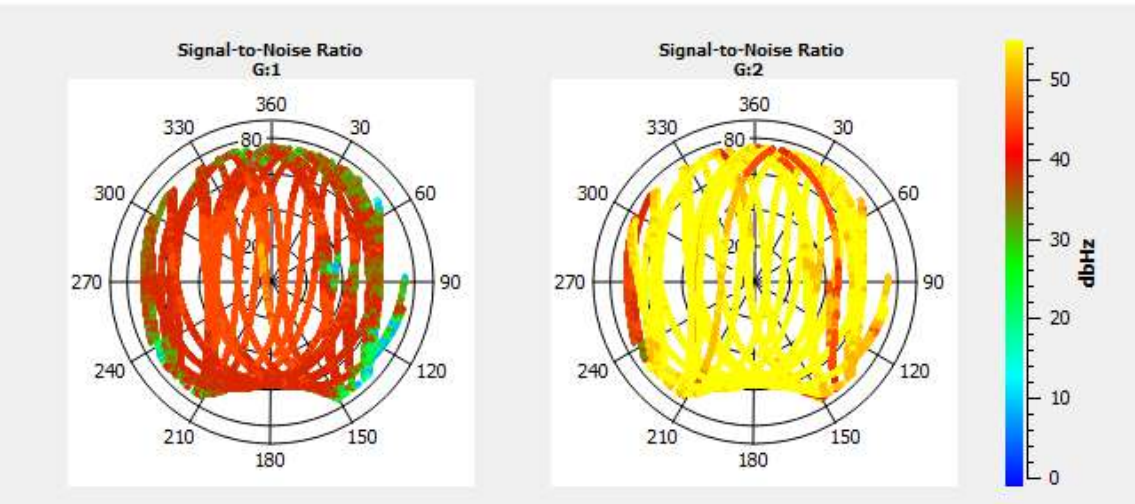
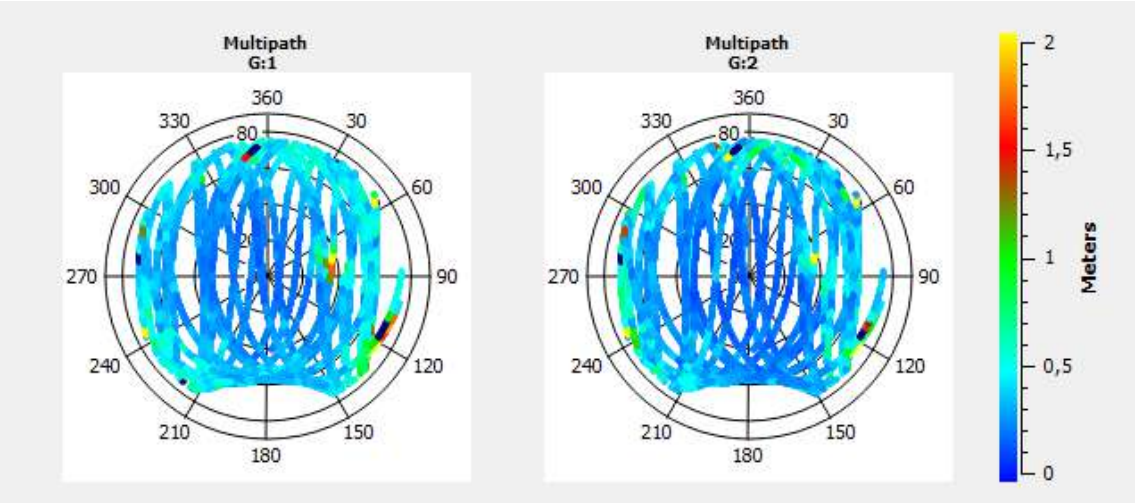
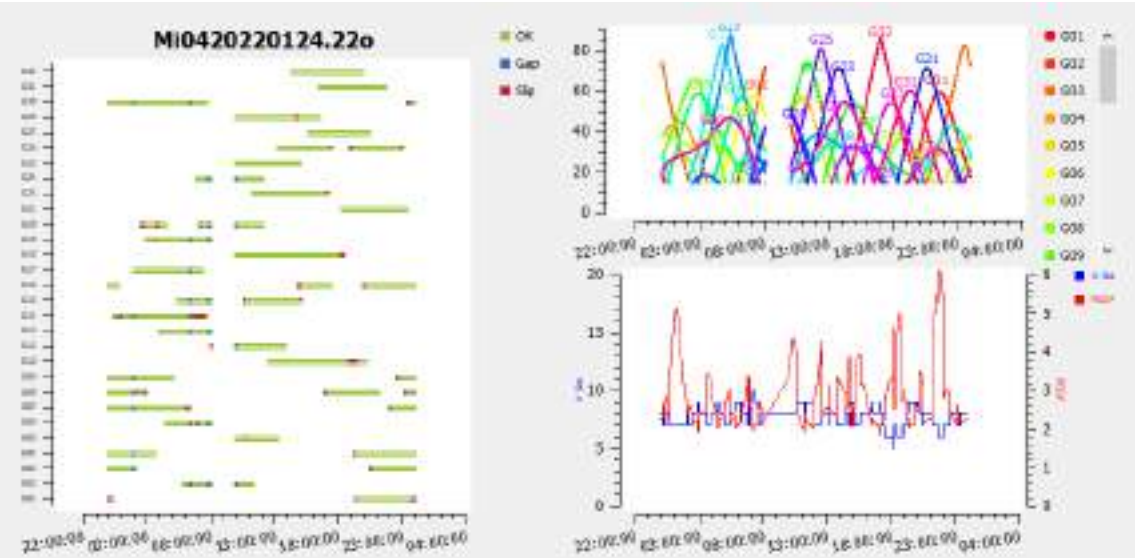
ESTAÇÕES MINA
Mi01 – GPS



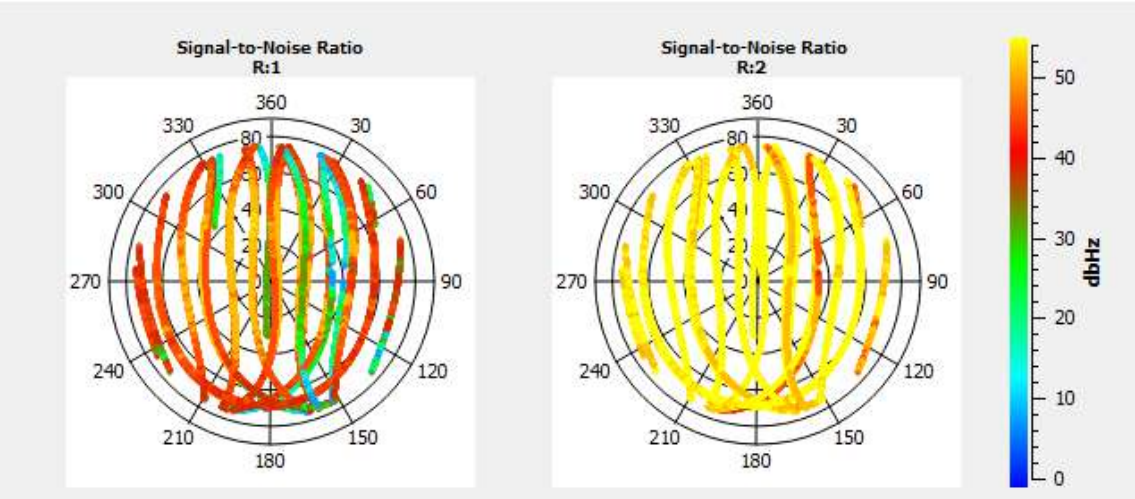
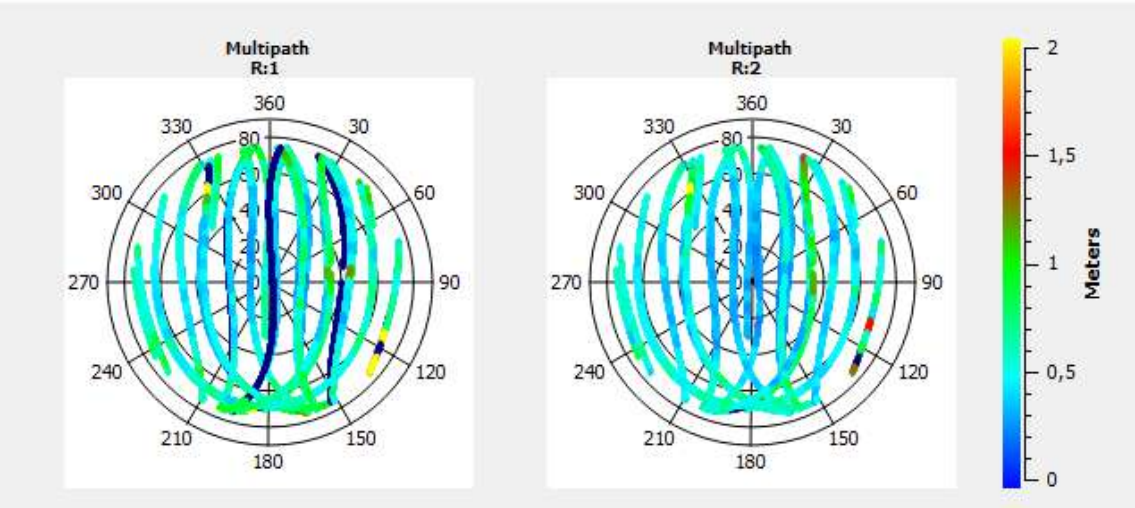
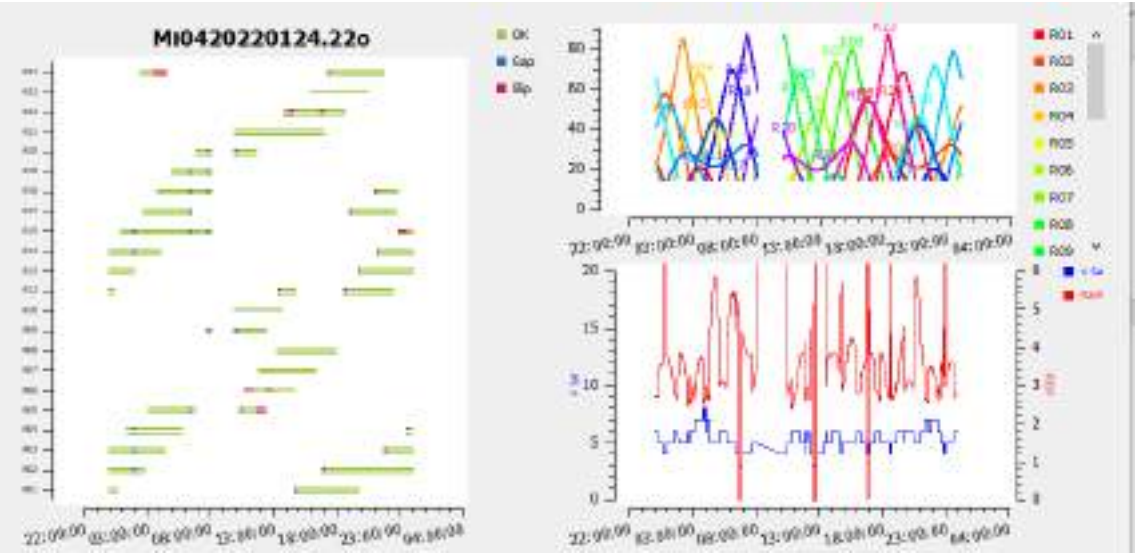
Mi01 – GLONASS



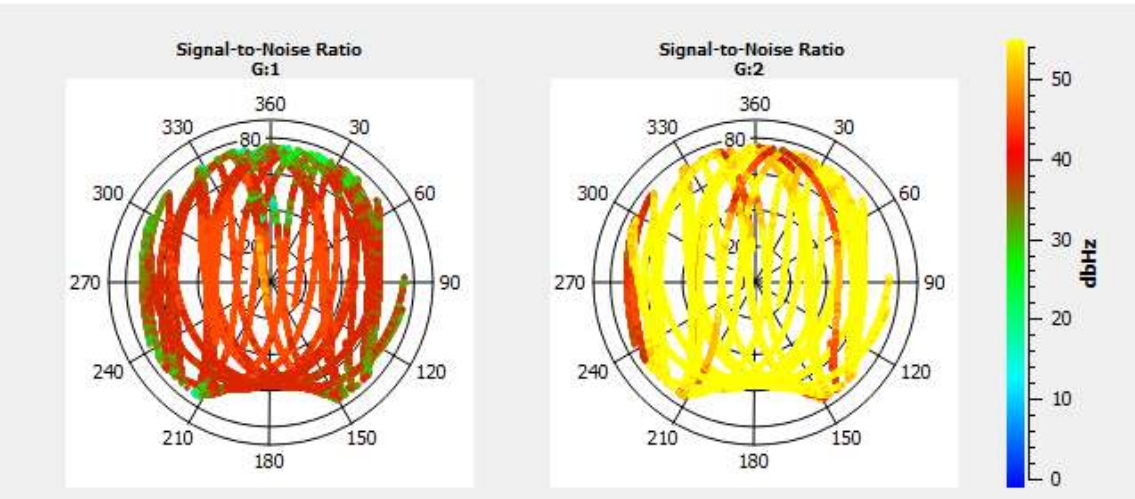
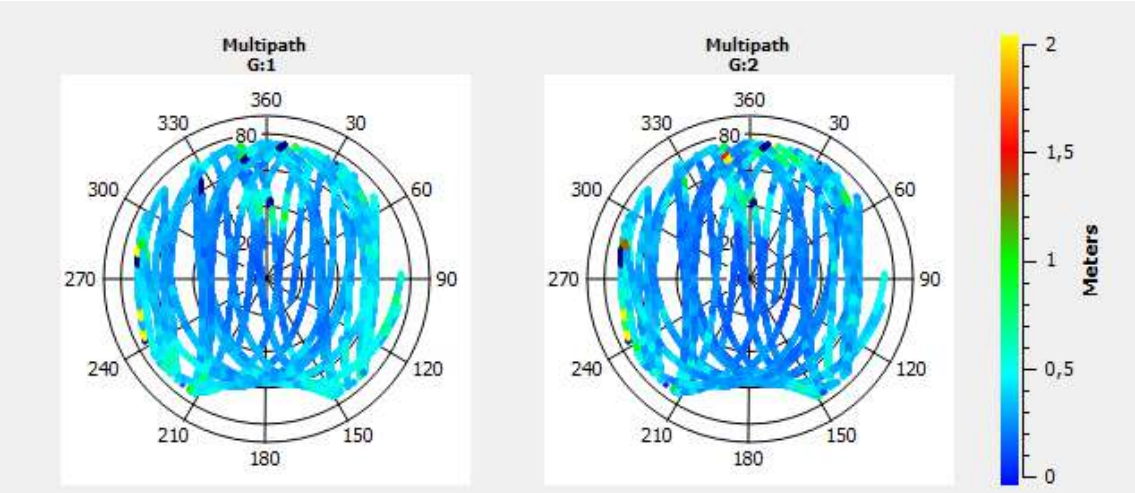
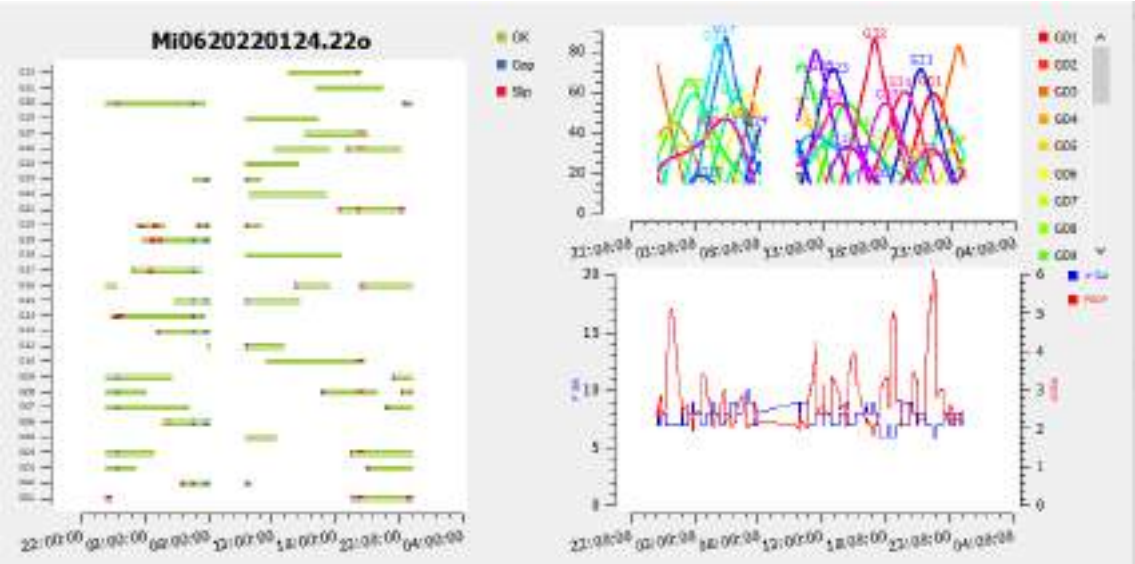
Mi04 – GPS



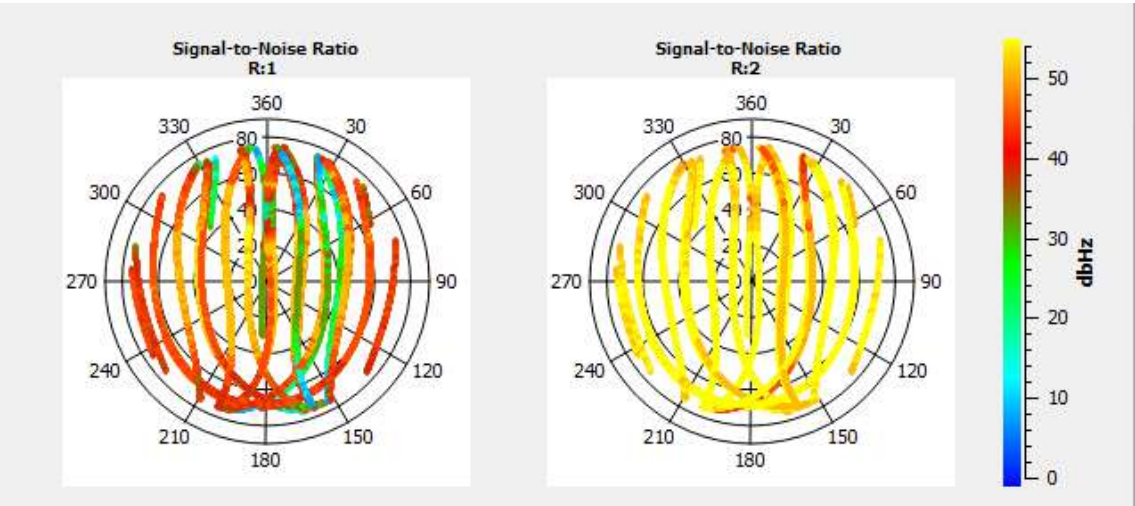
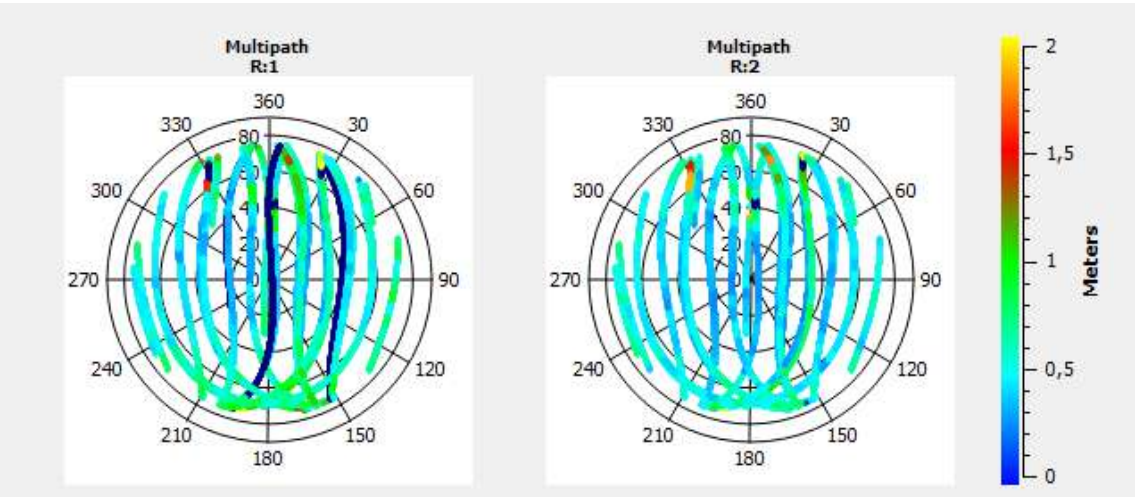
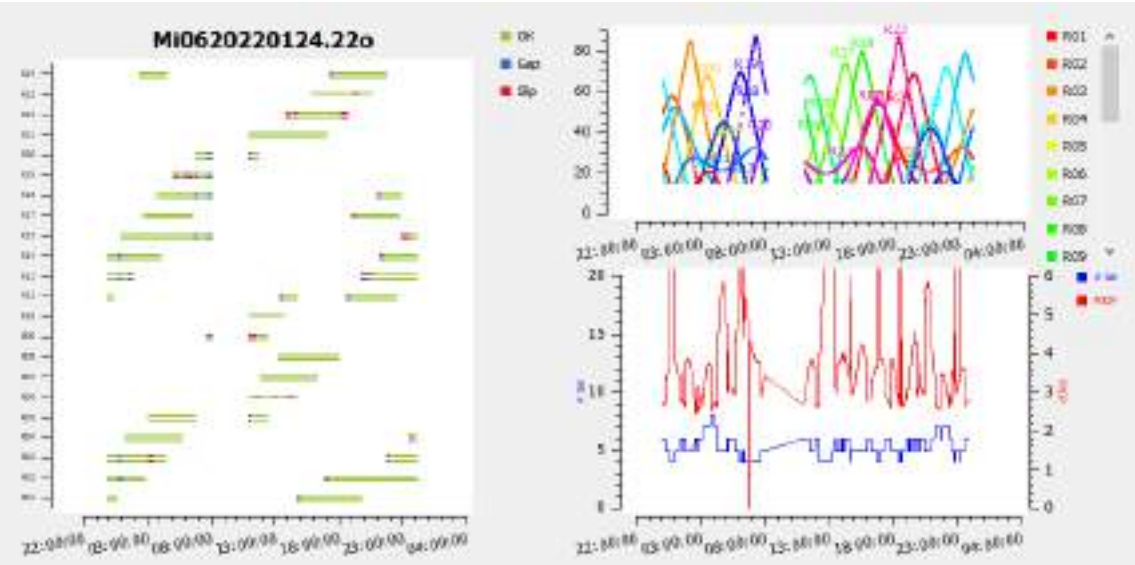
Mi04 – GLONASS



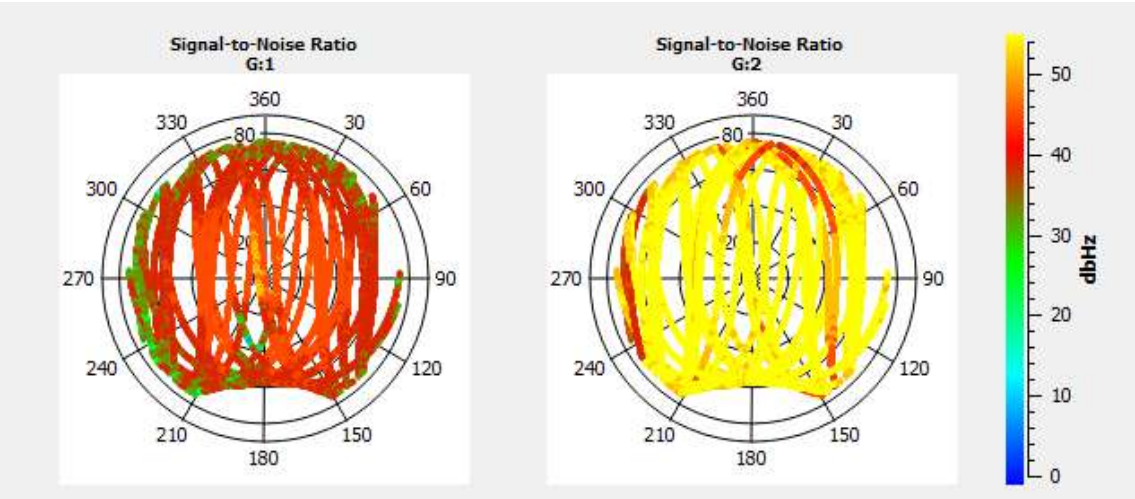
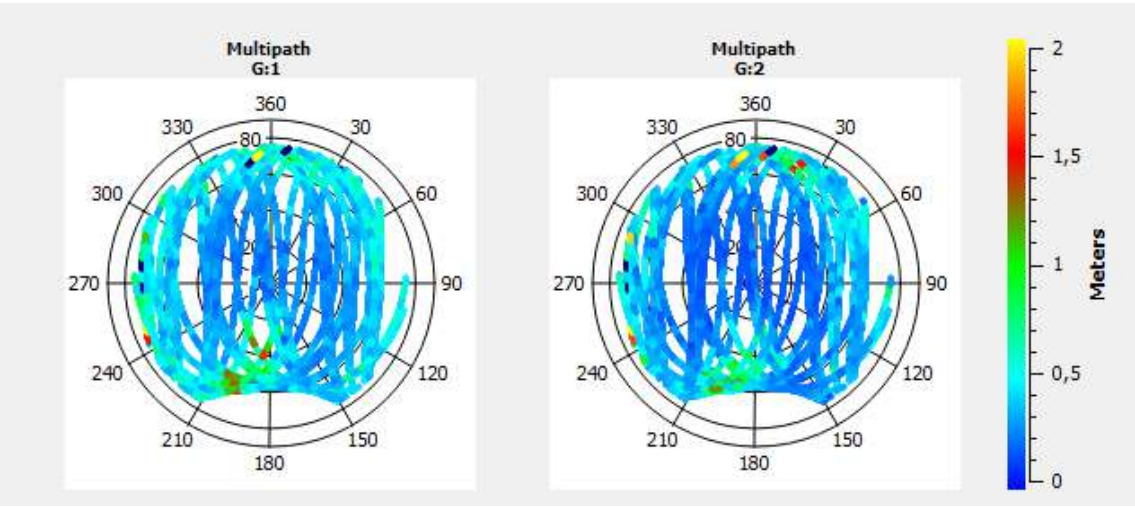
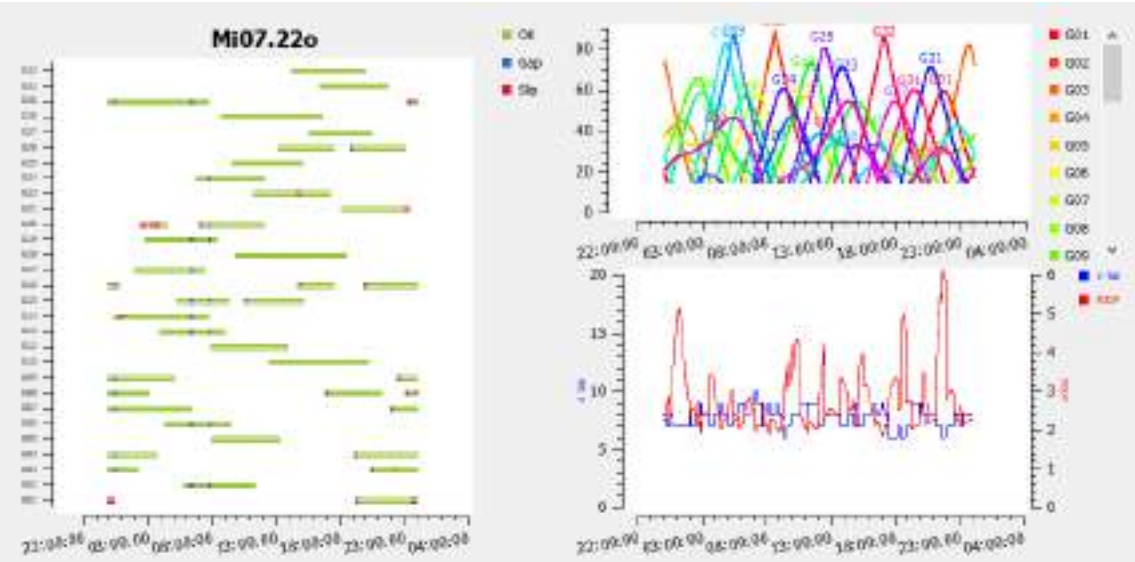
Mi06 – GPS



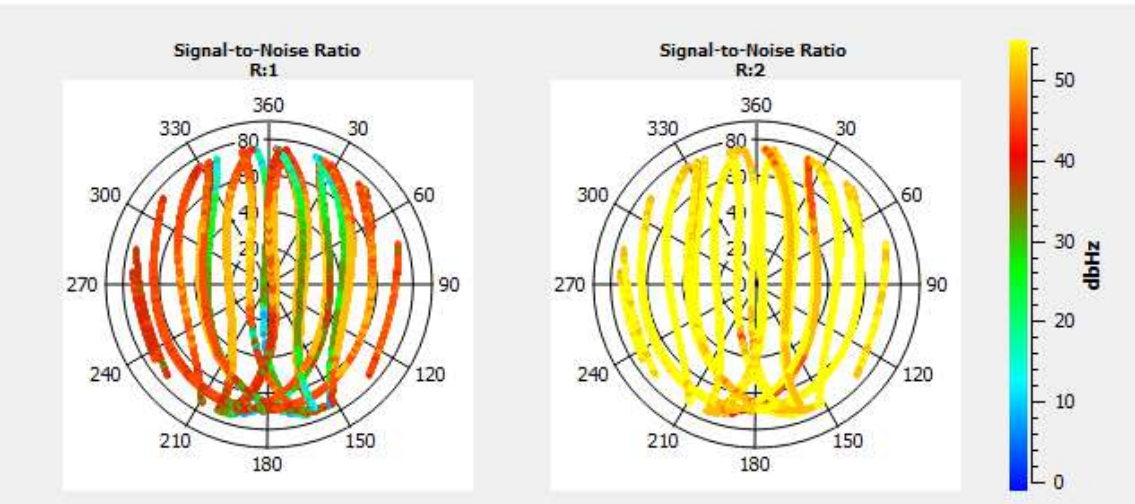
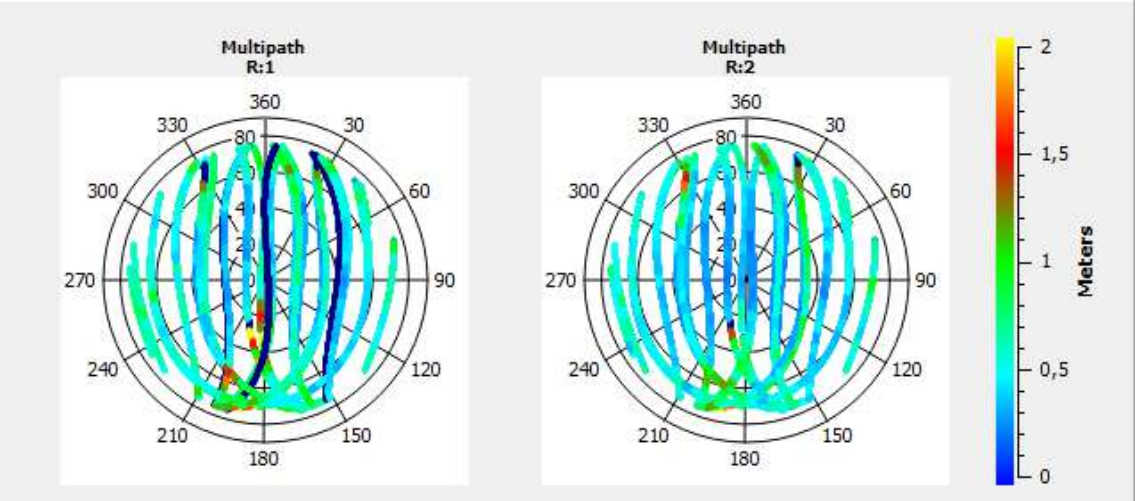
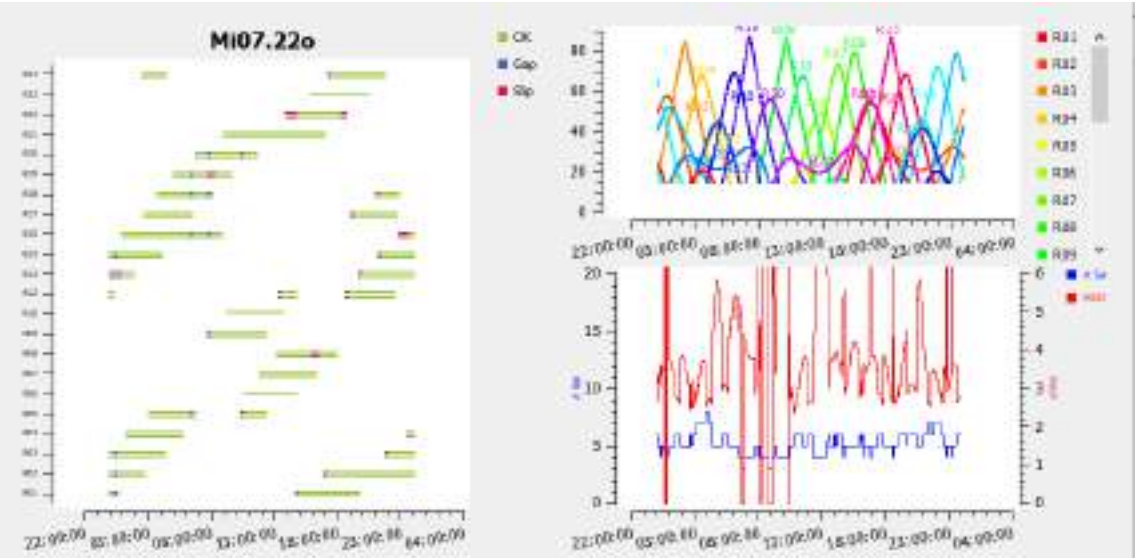
Mi06 – GLONASS



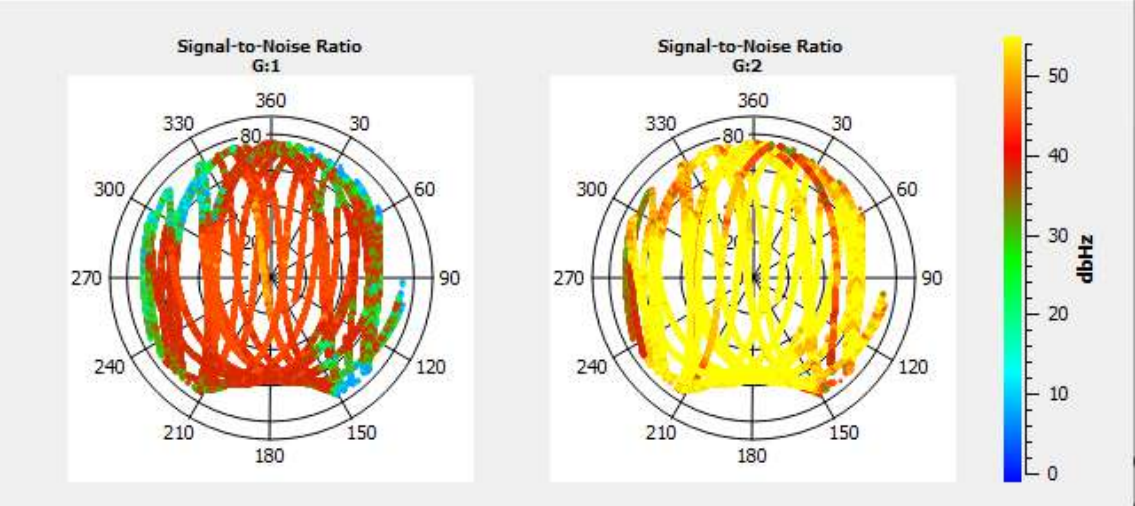
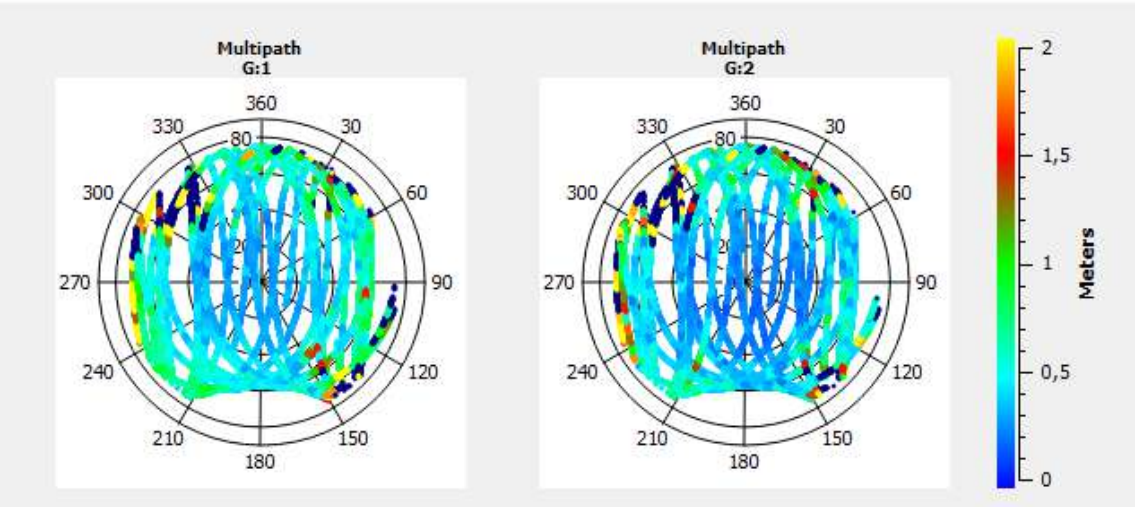
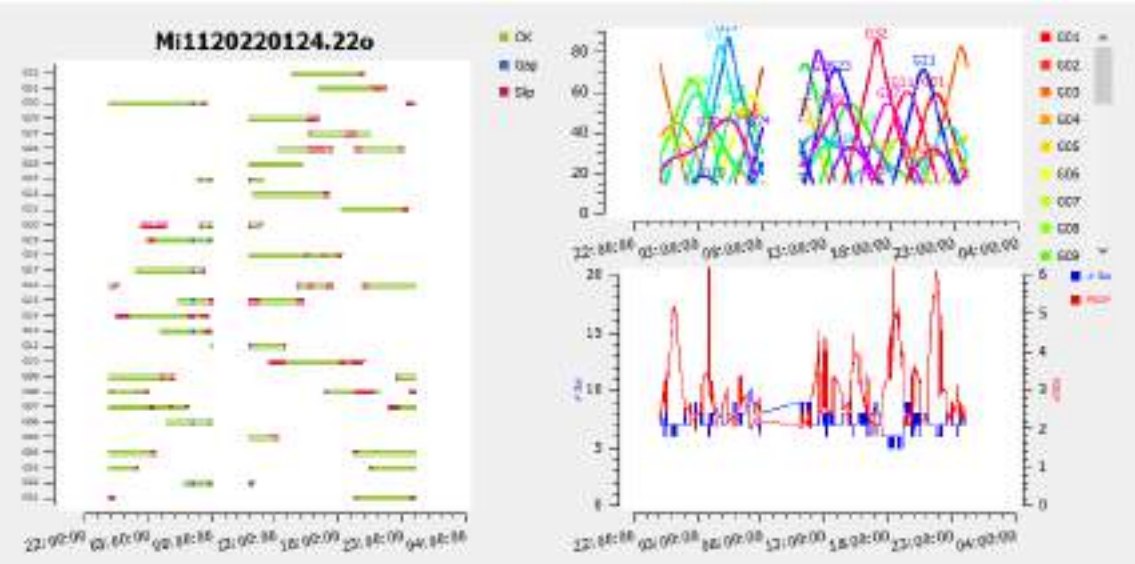
Mi07 – GPS



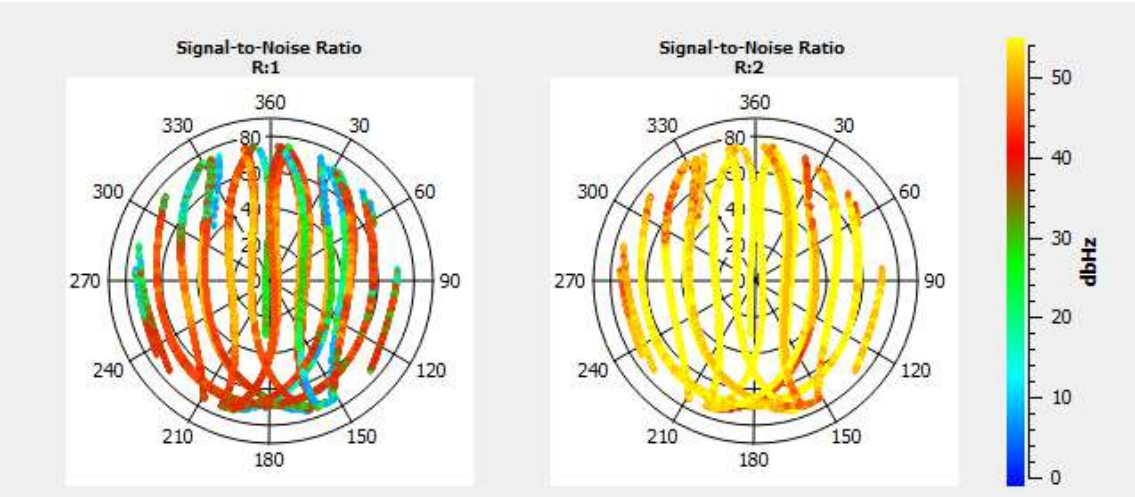
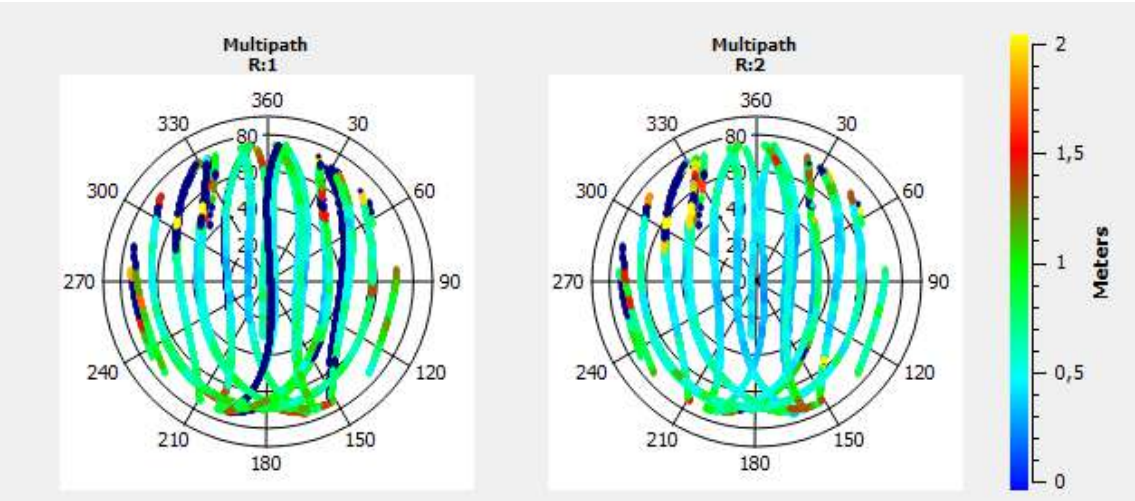
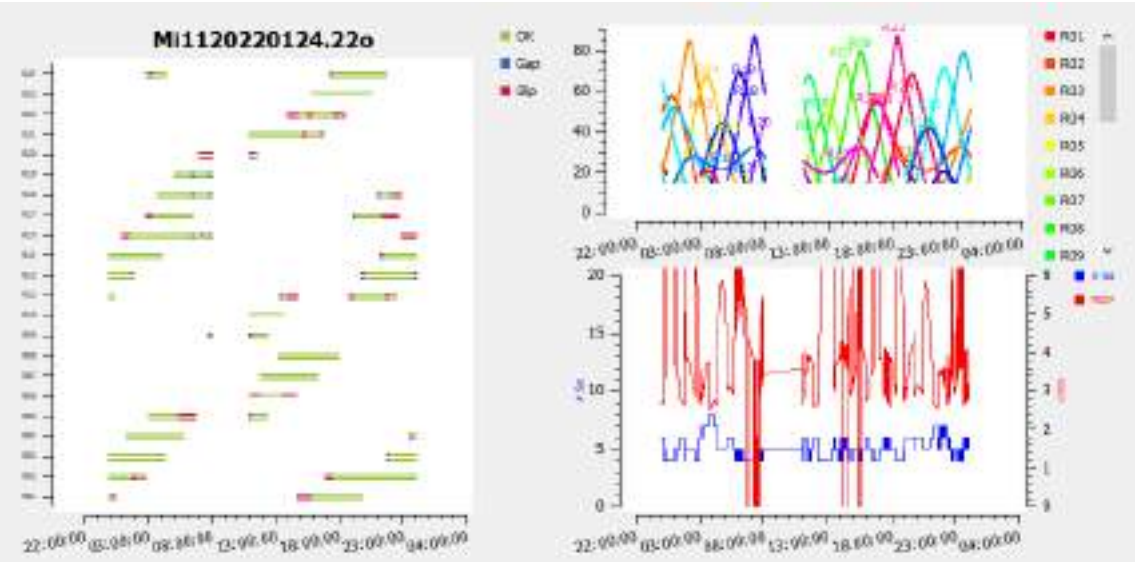
Mi07 – GLONASS



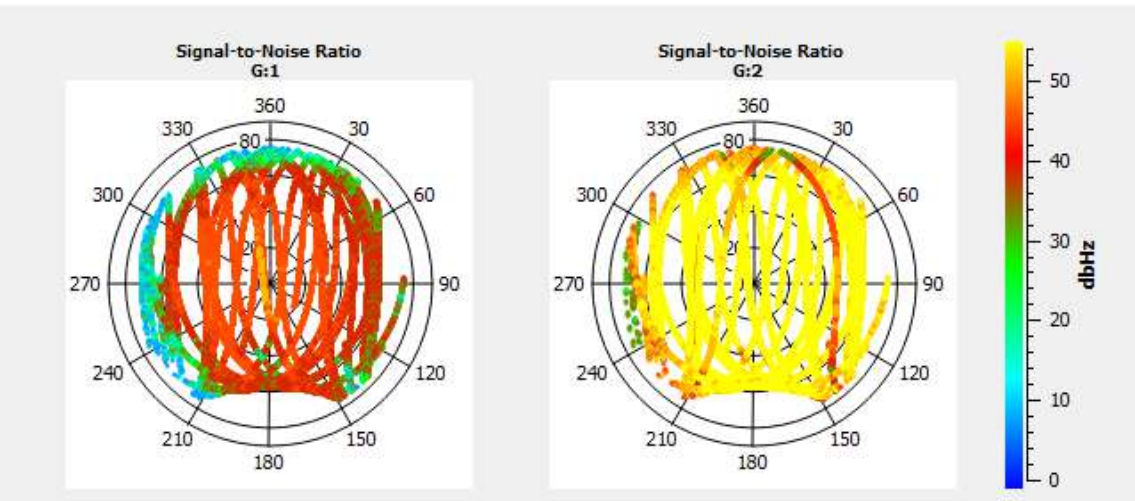
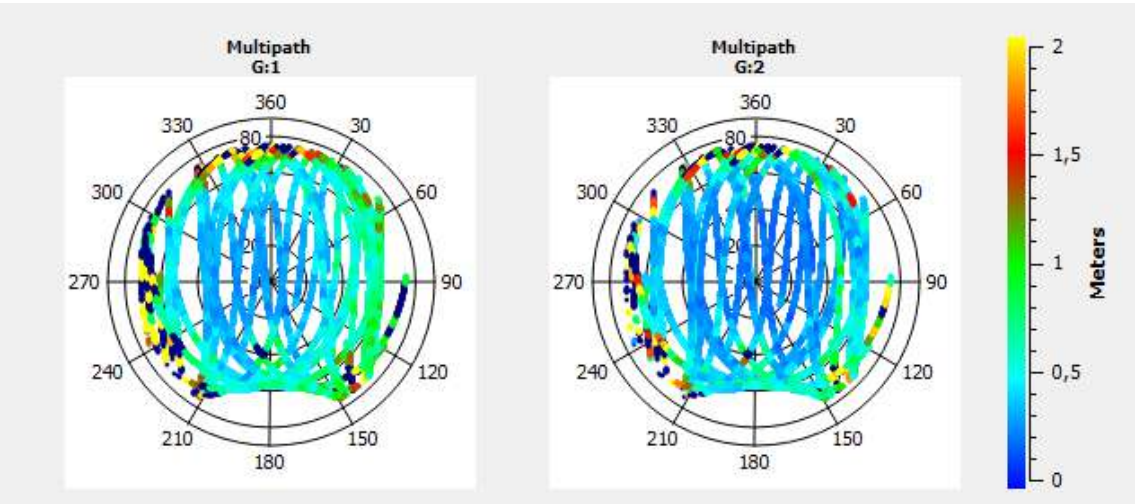
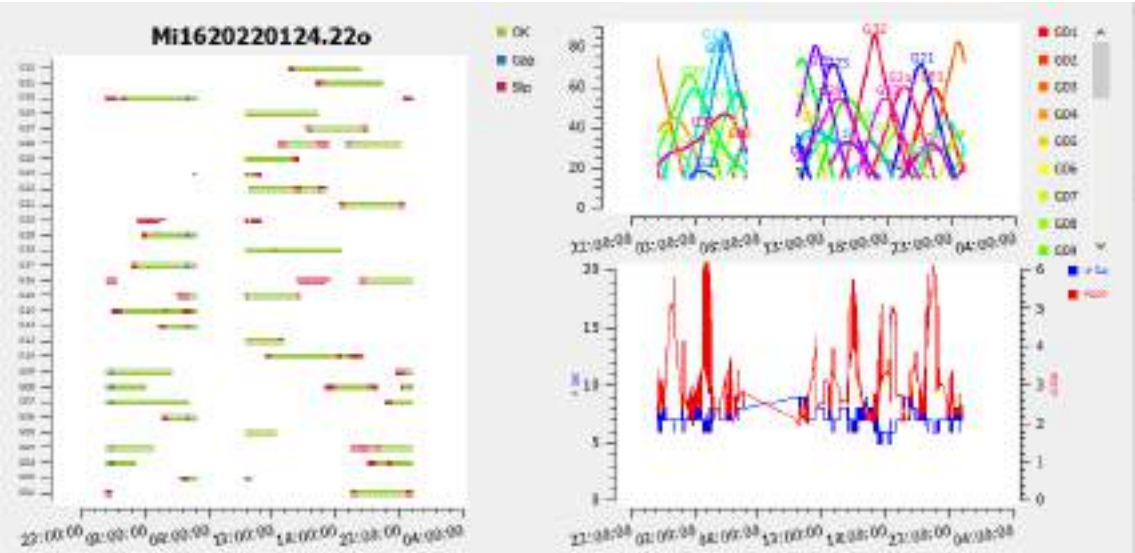
Mi11 – GPS

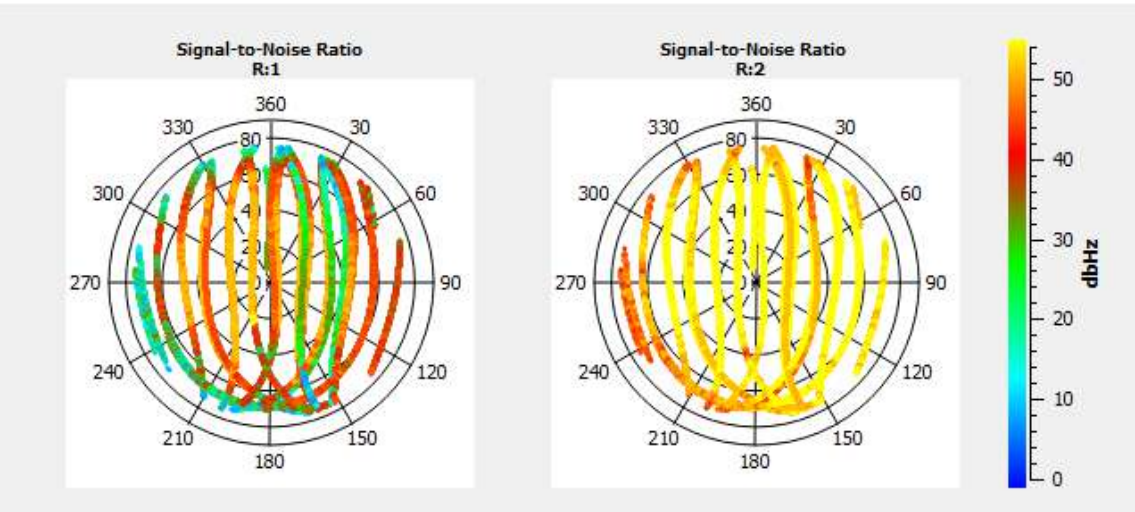
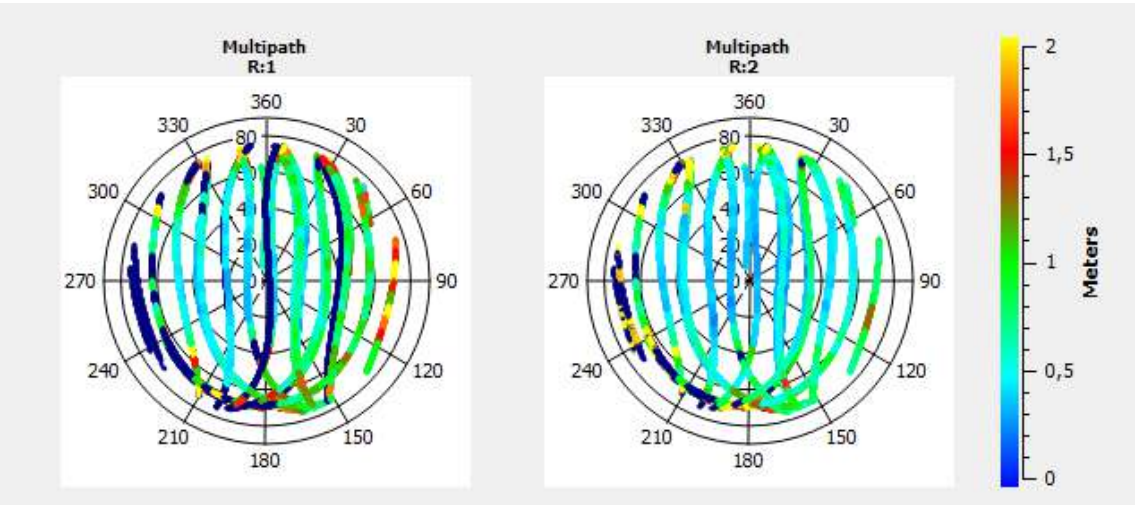
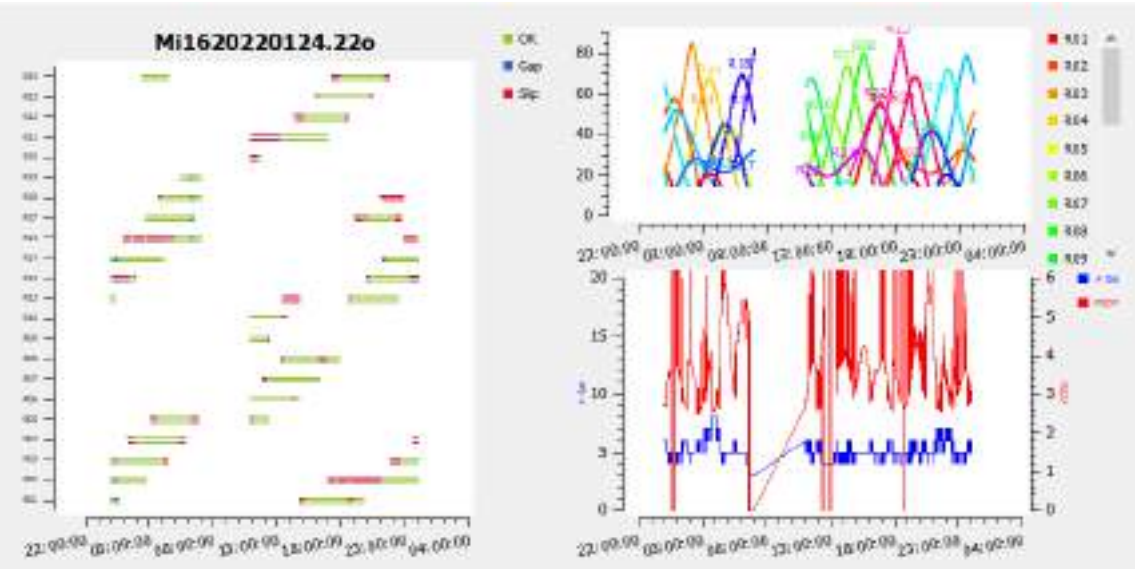


Mi11 – GLONASS

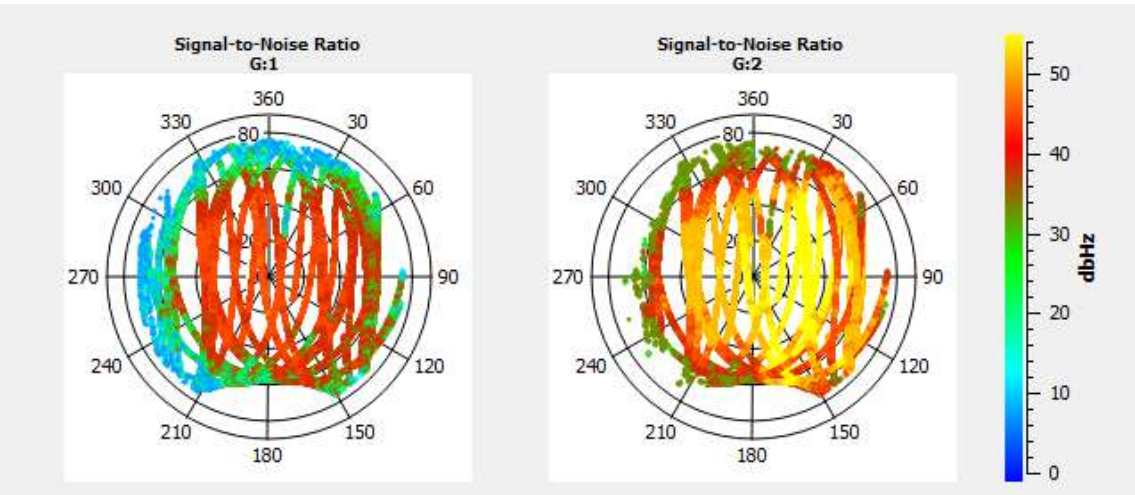
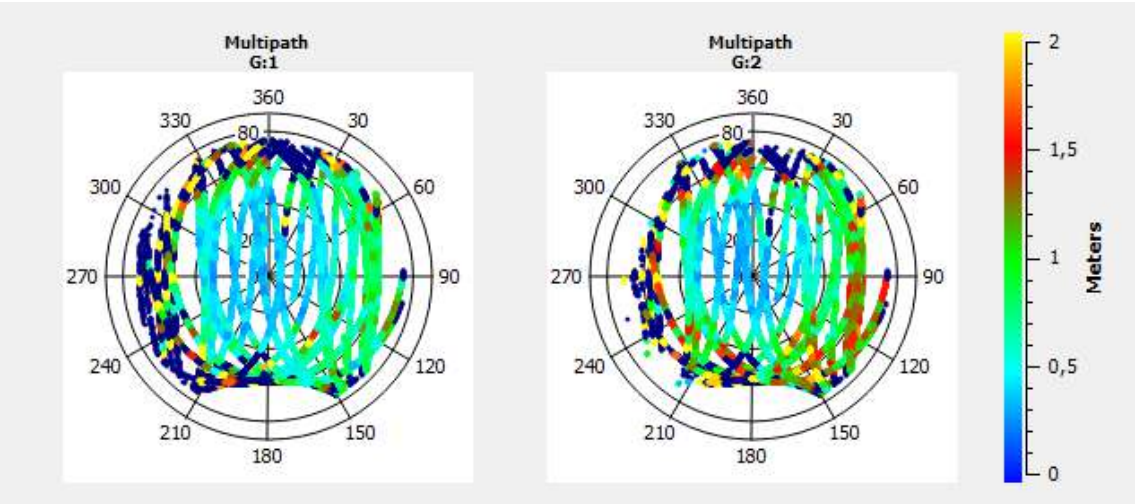
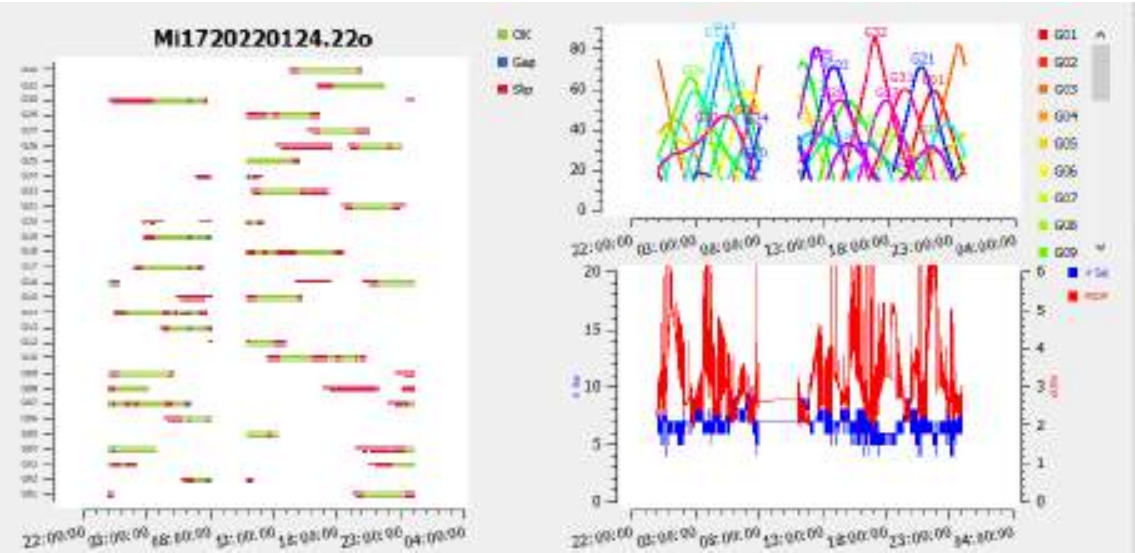


Mina 16 – GPS

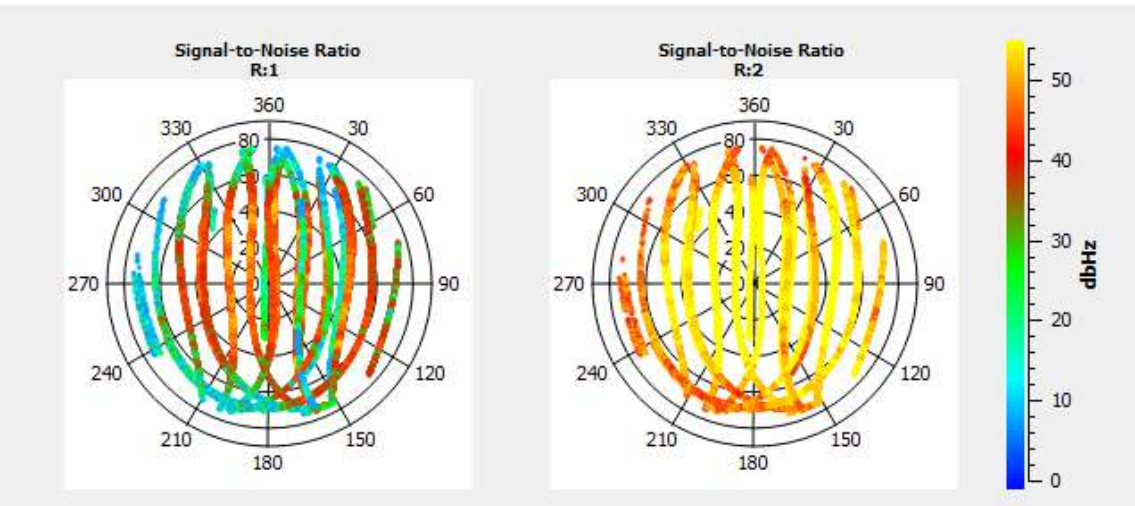
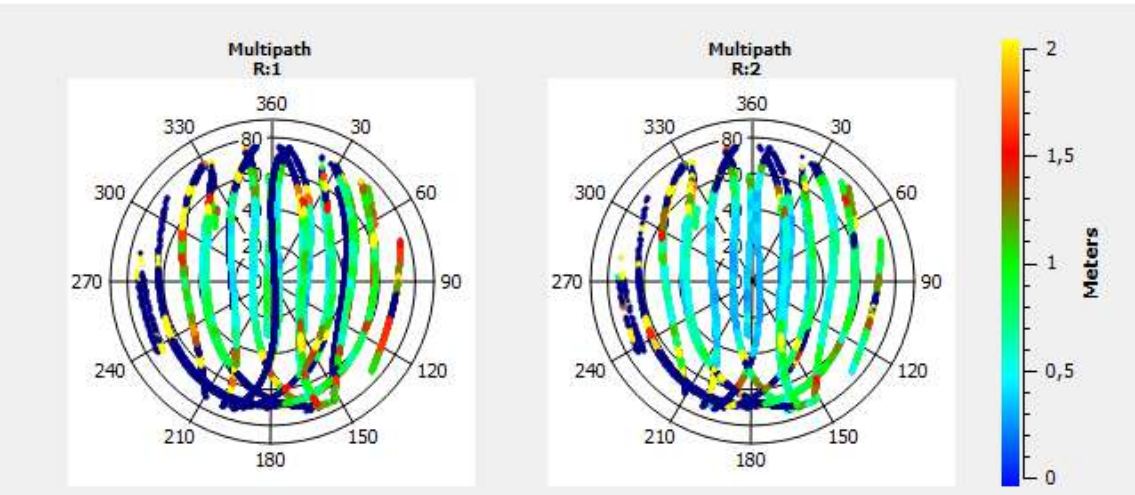
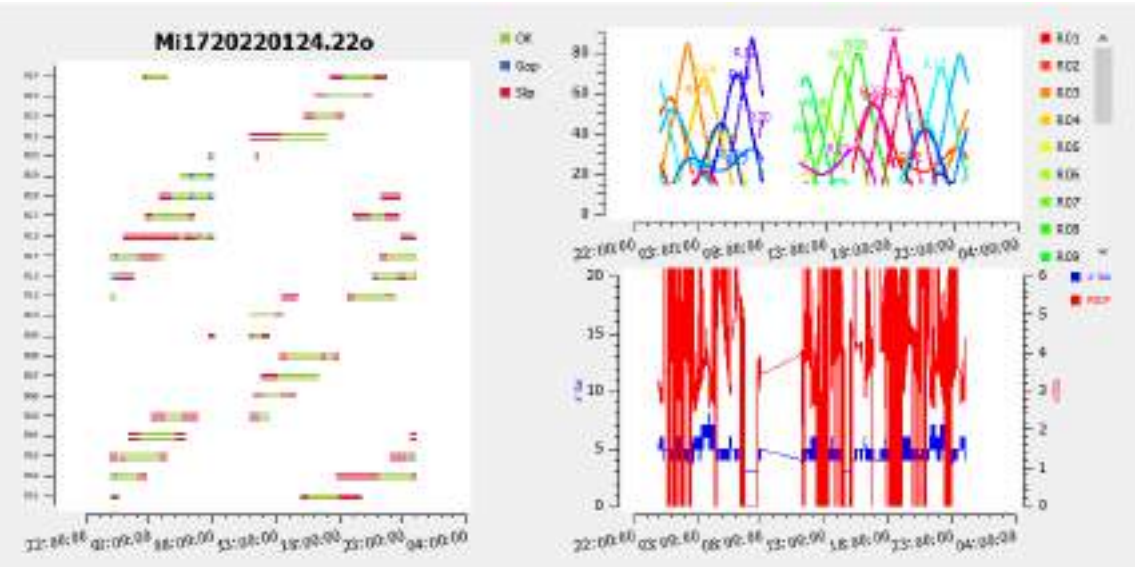




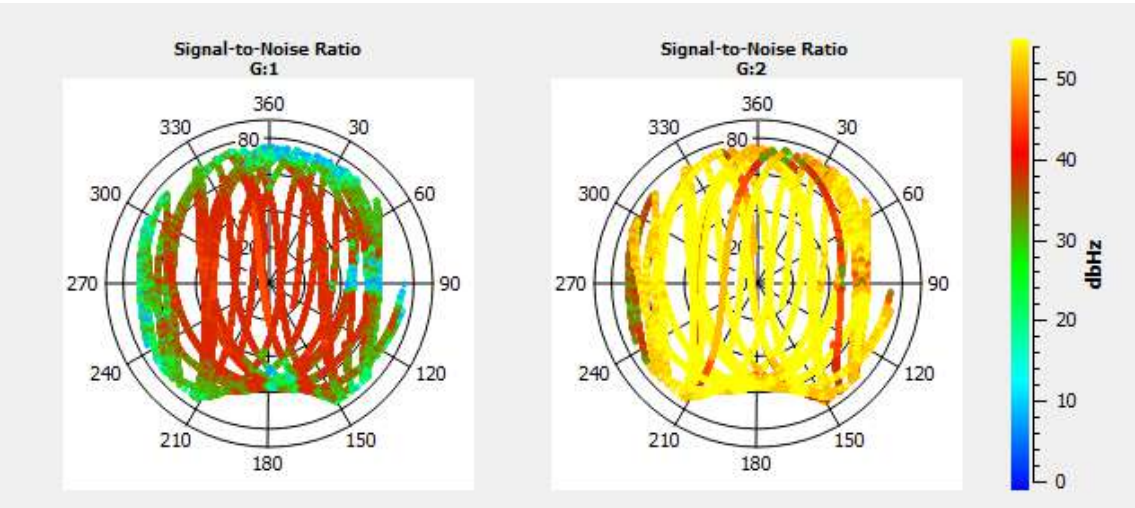
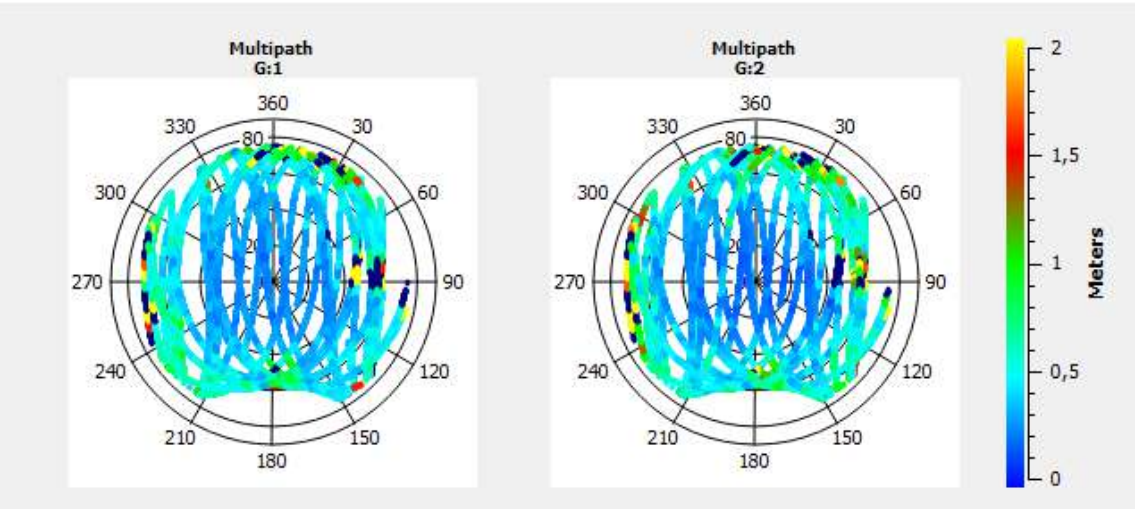
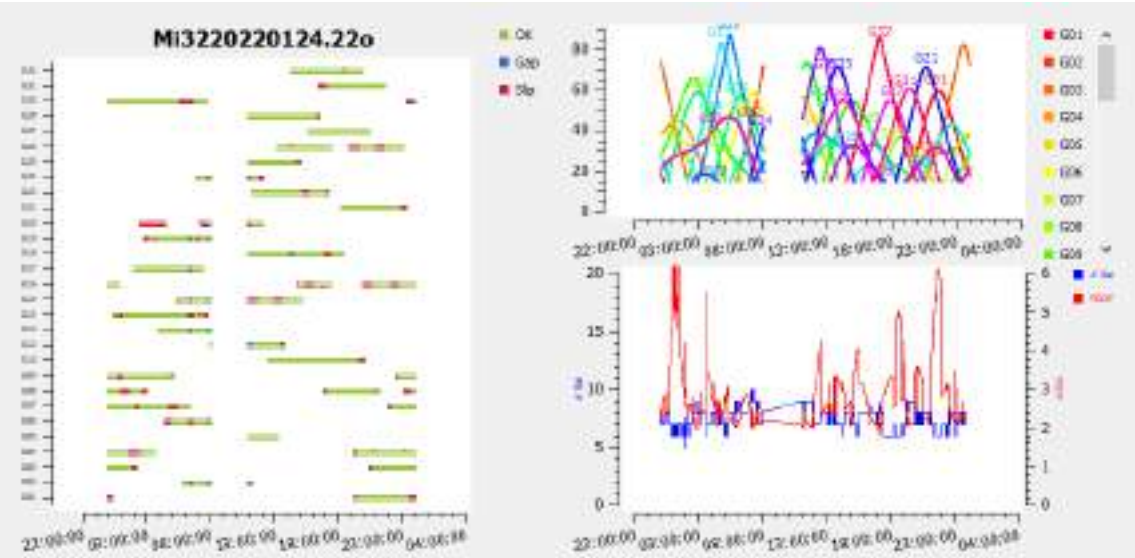
Mi17 – GPS



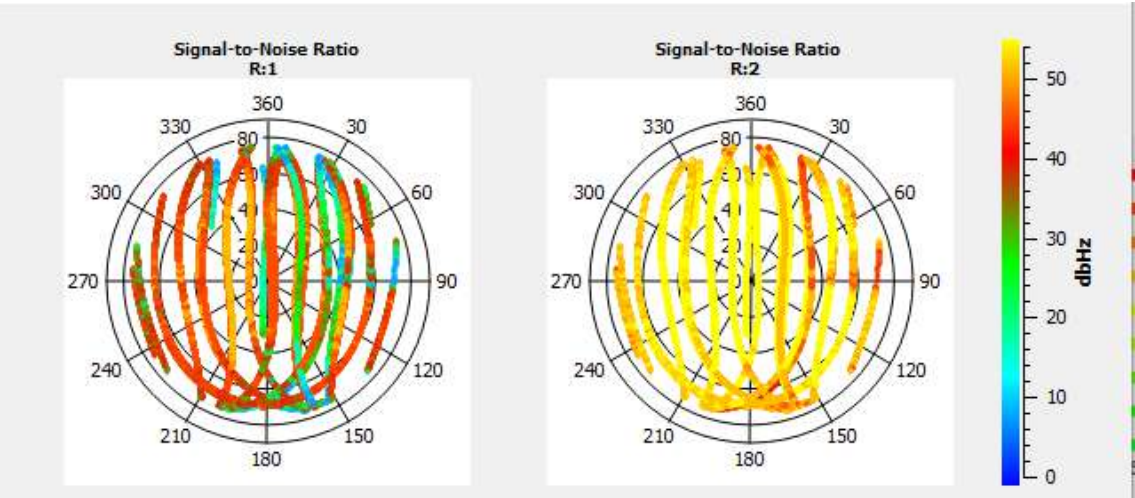
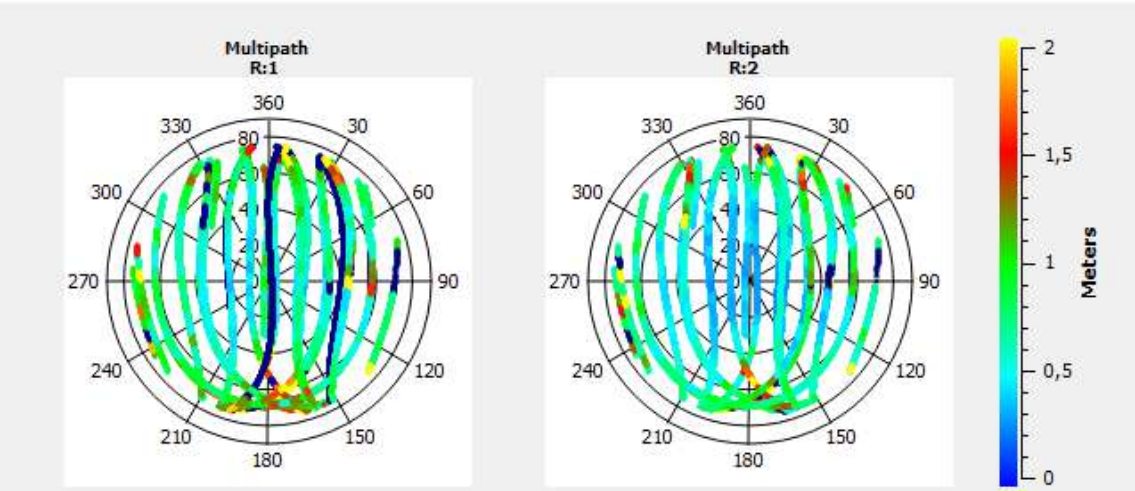
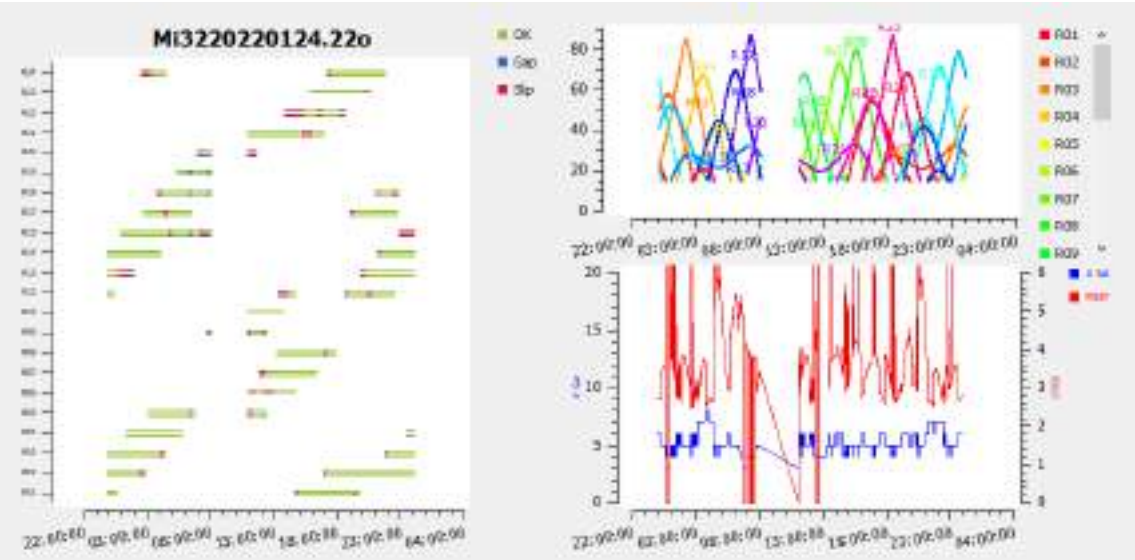
Mi17 – GLONASS

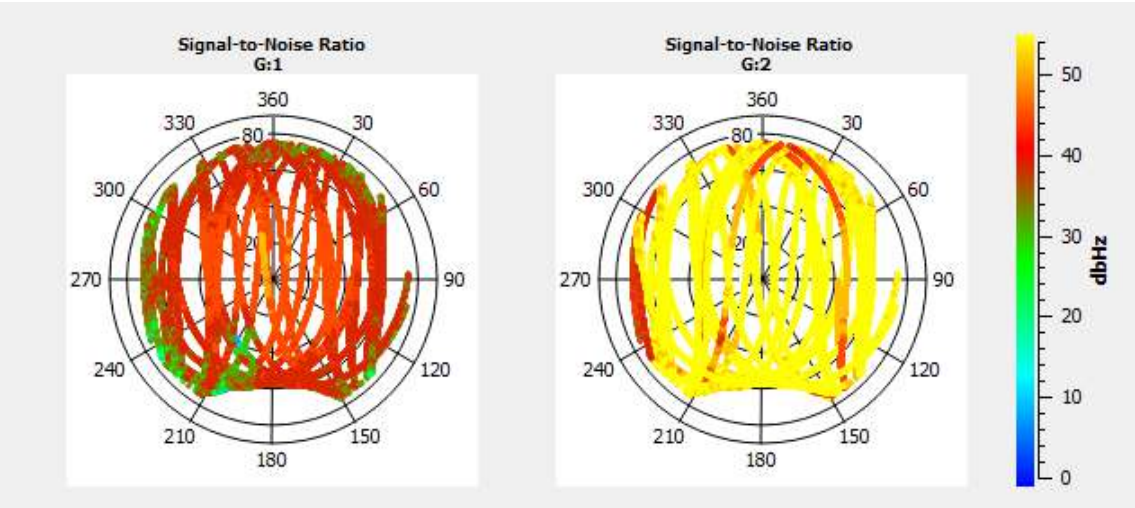
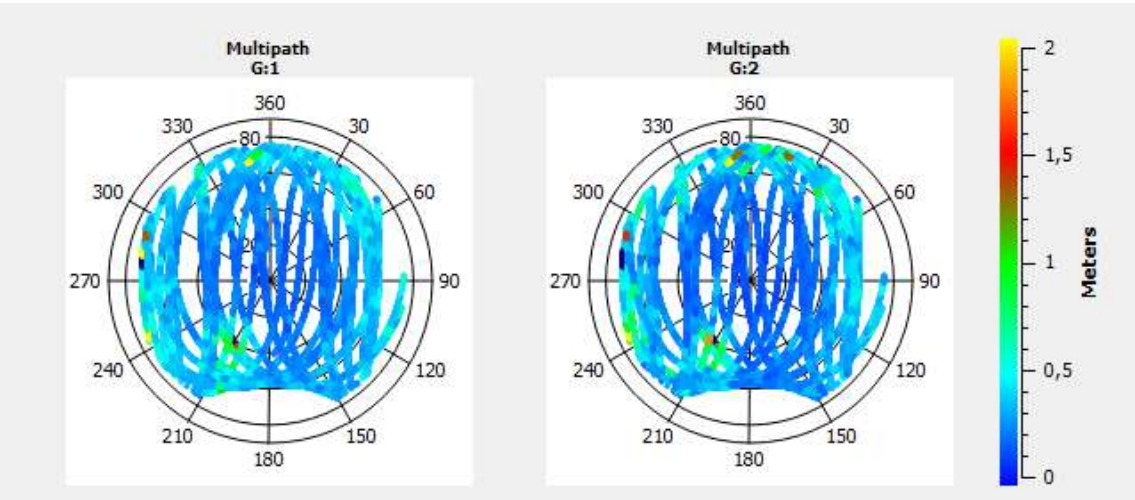
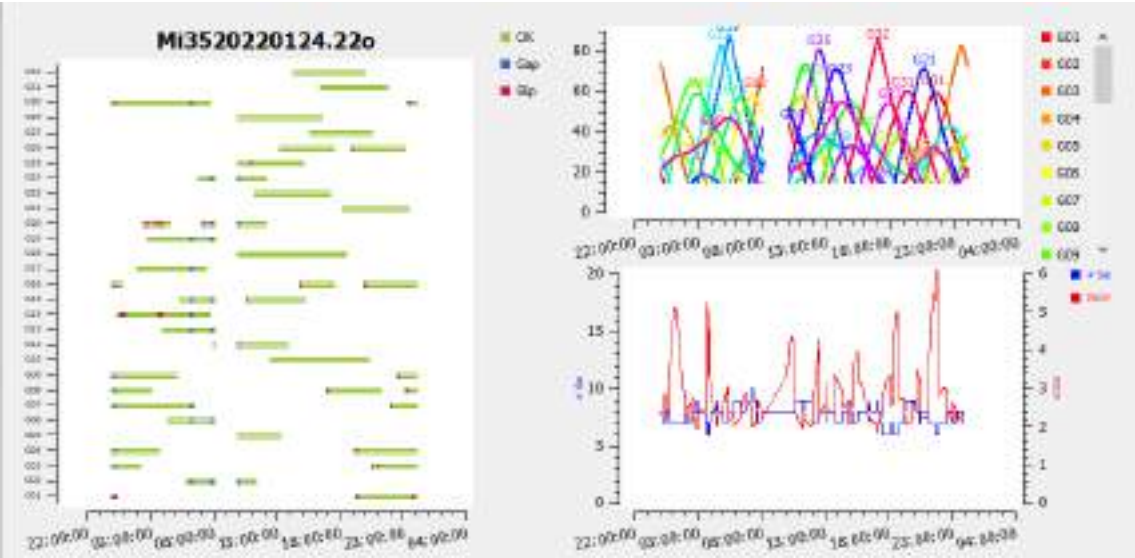


Mi32- GPS

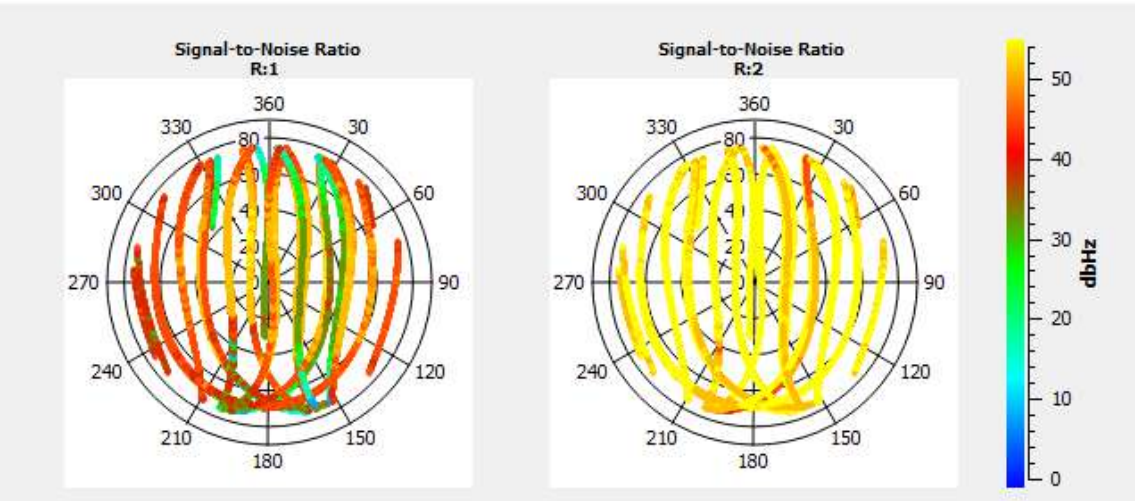
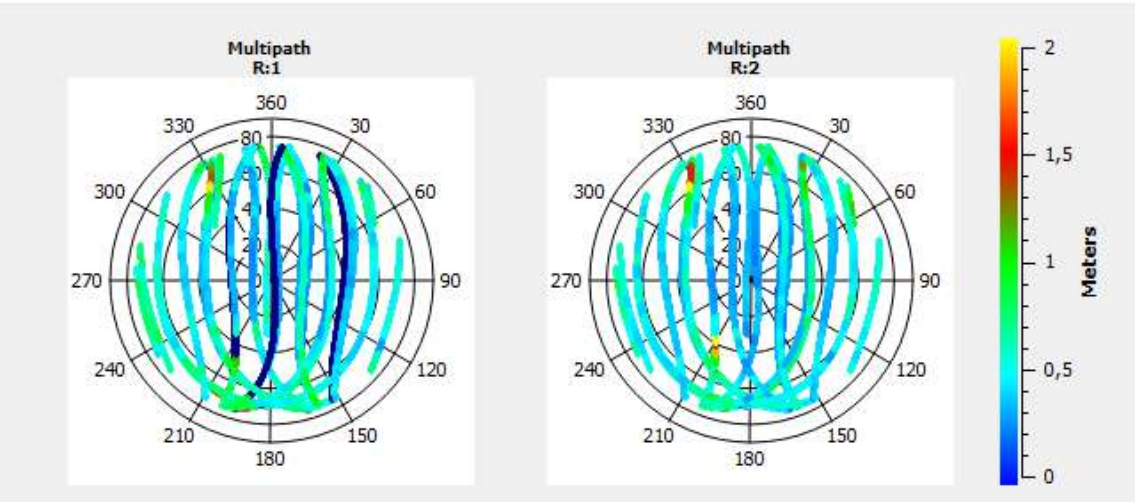
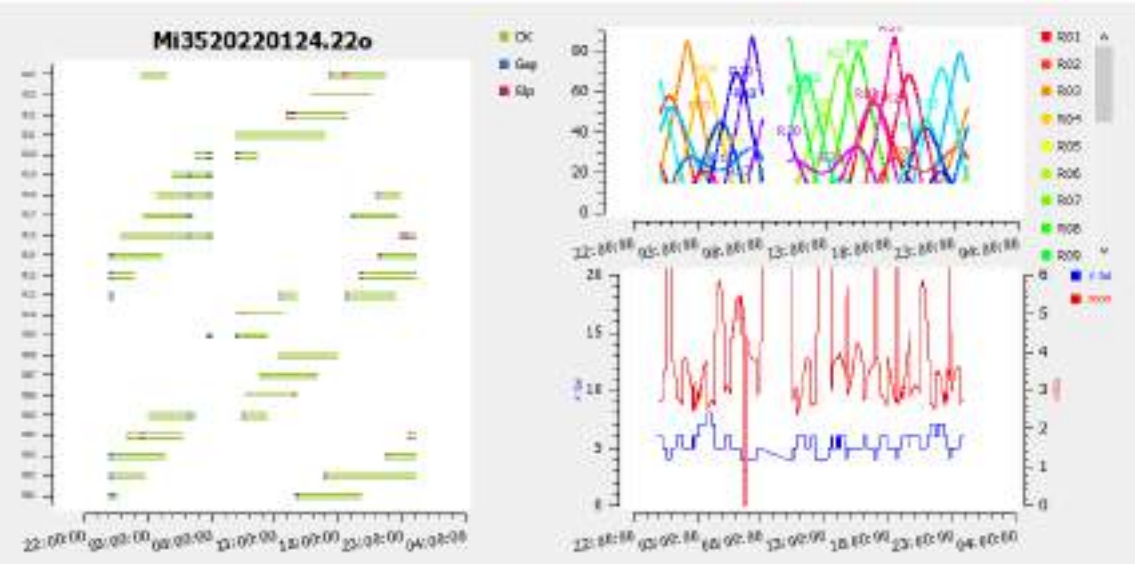


Mi32 – GLONASS



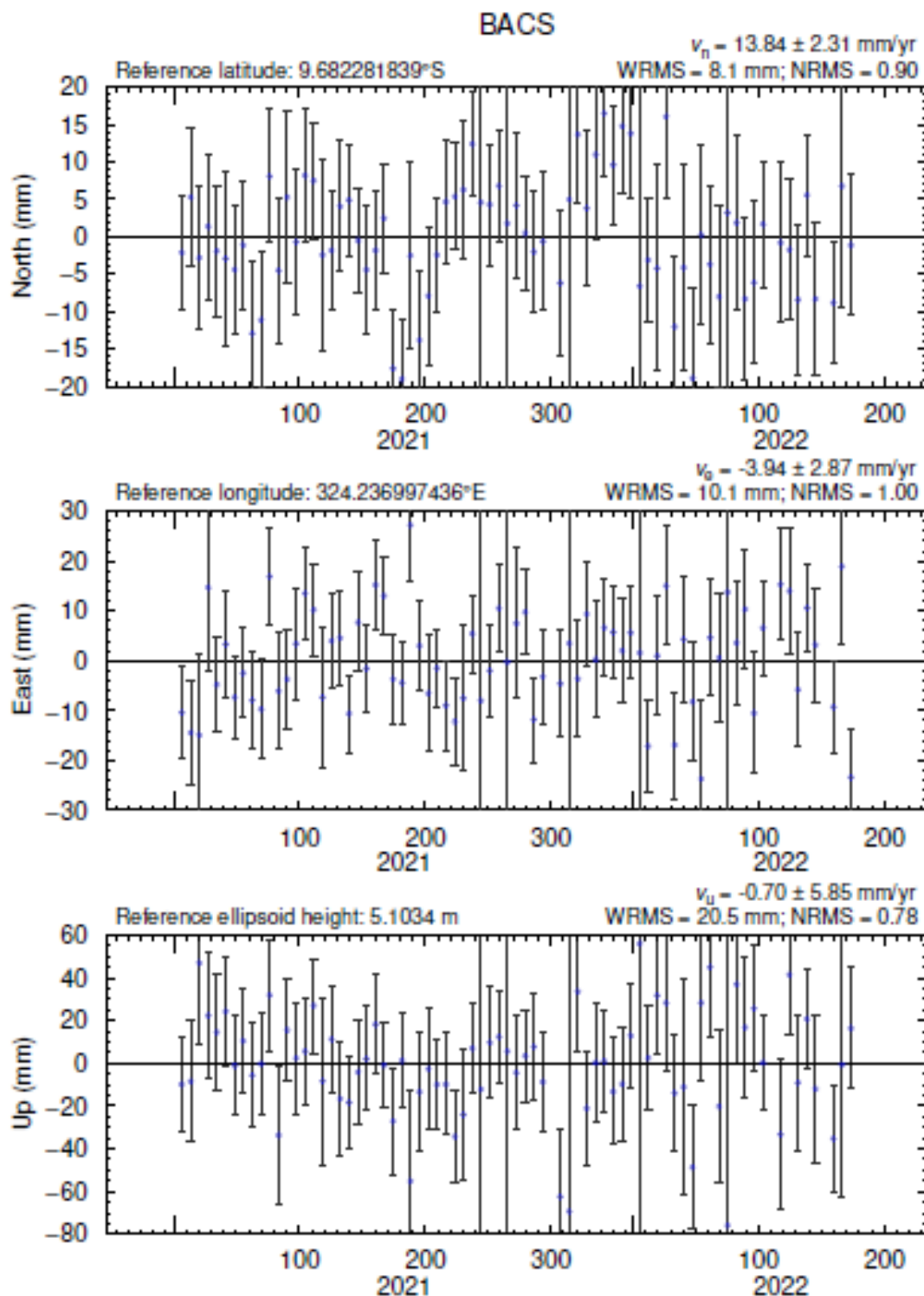


Mi35 – GLONASS

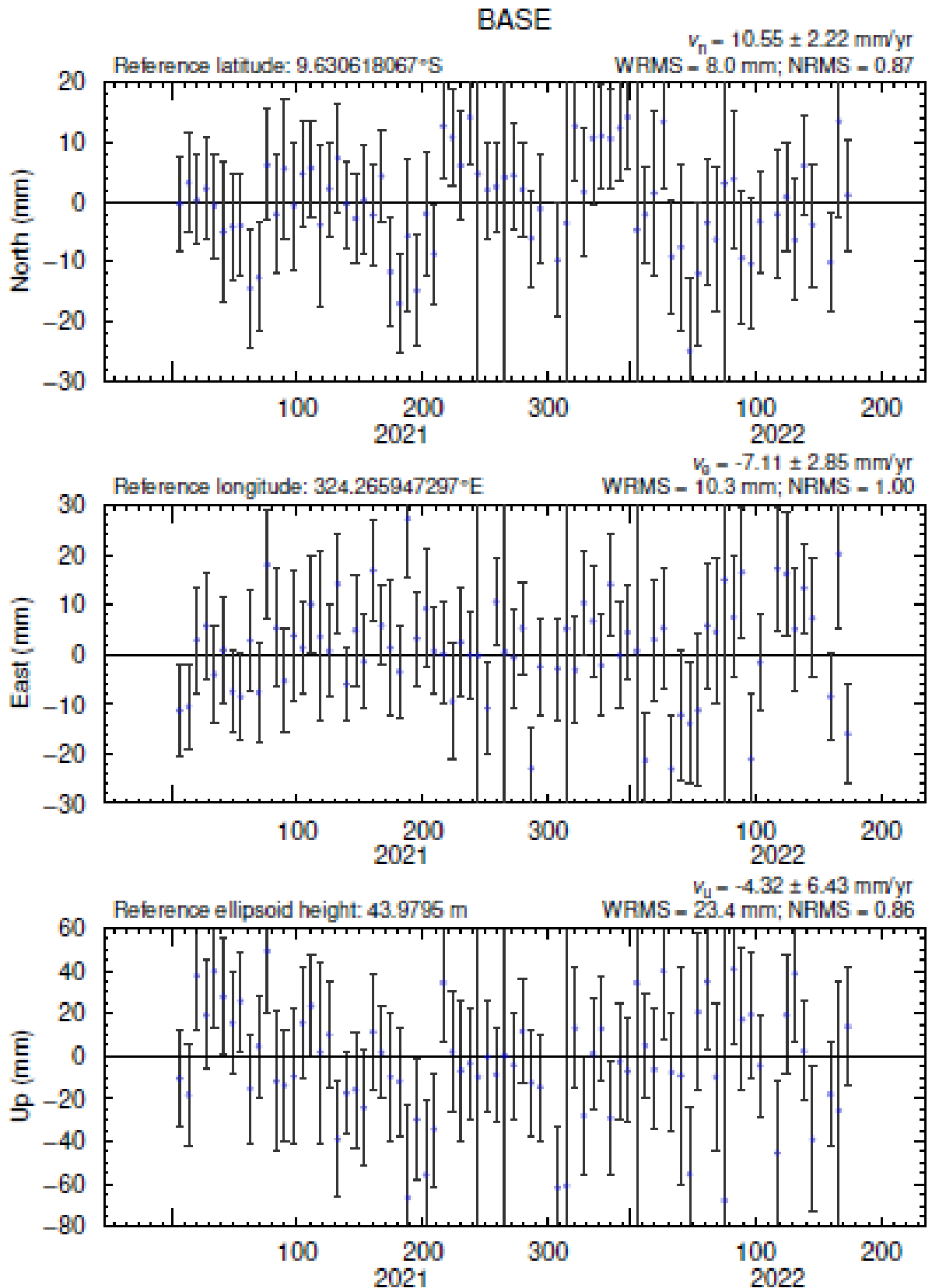


APÊNDICE 03: INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES REFERENTES AO ITEM 7

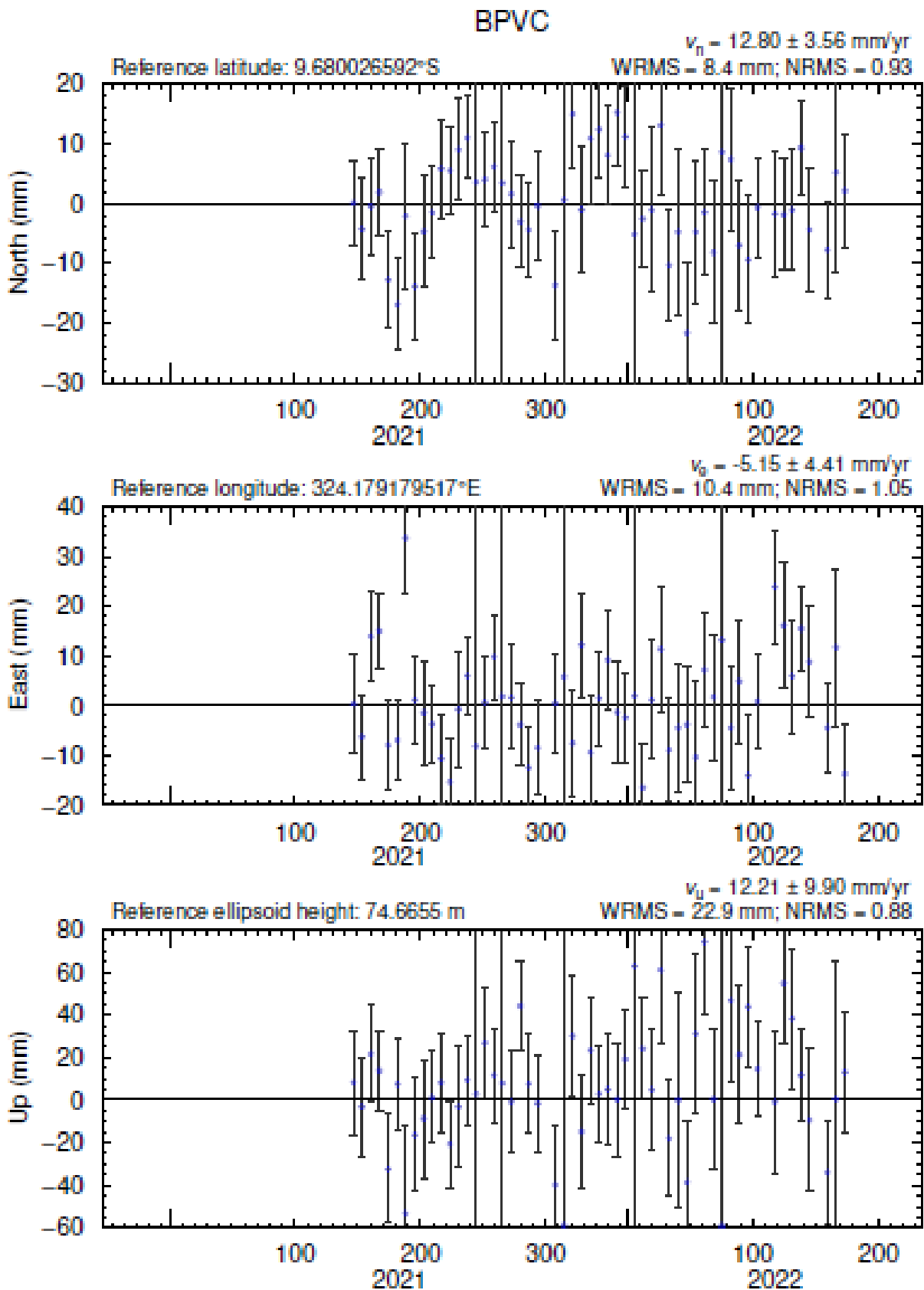
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação Base UCS.



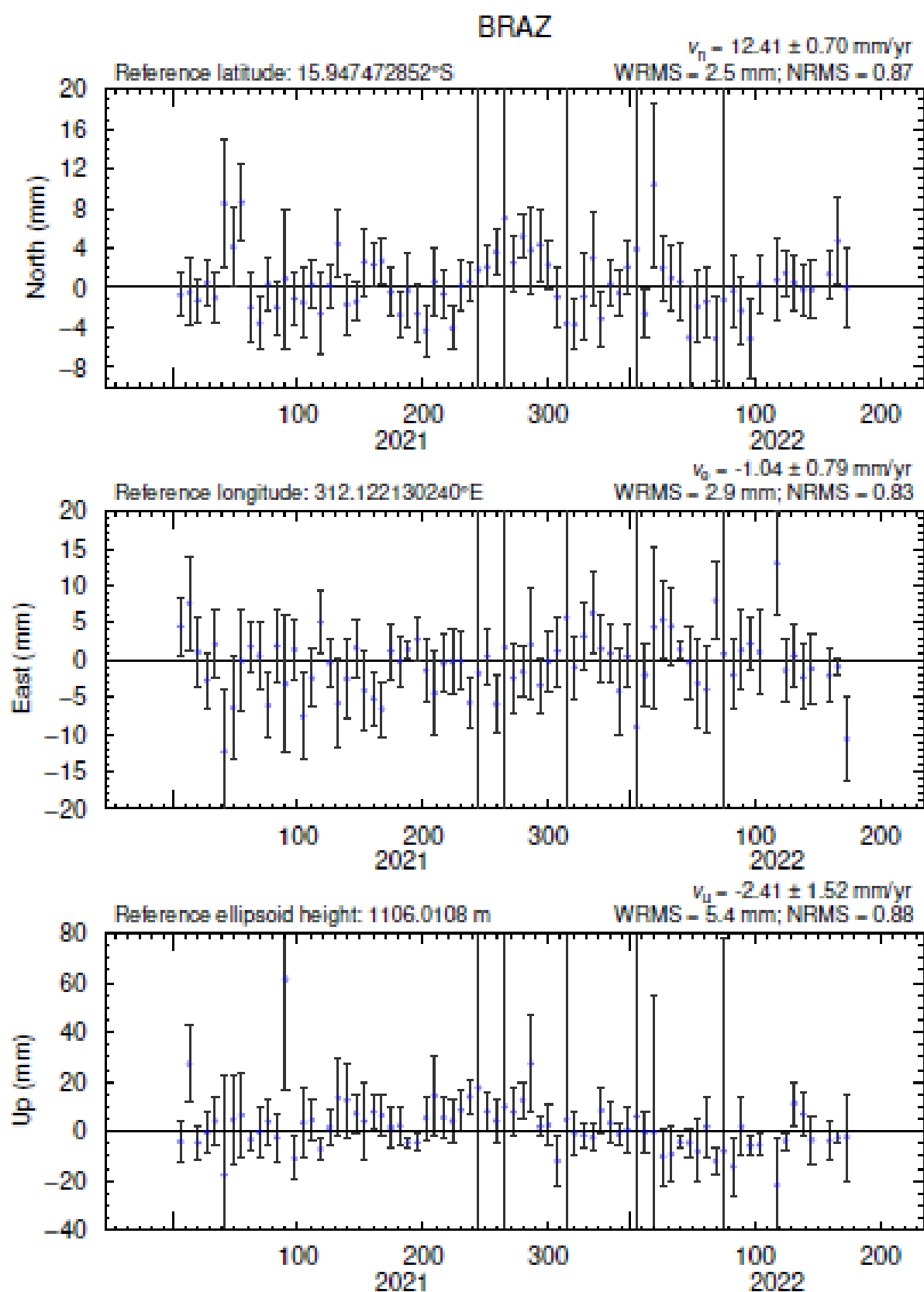
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação Base Exército.



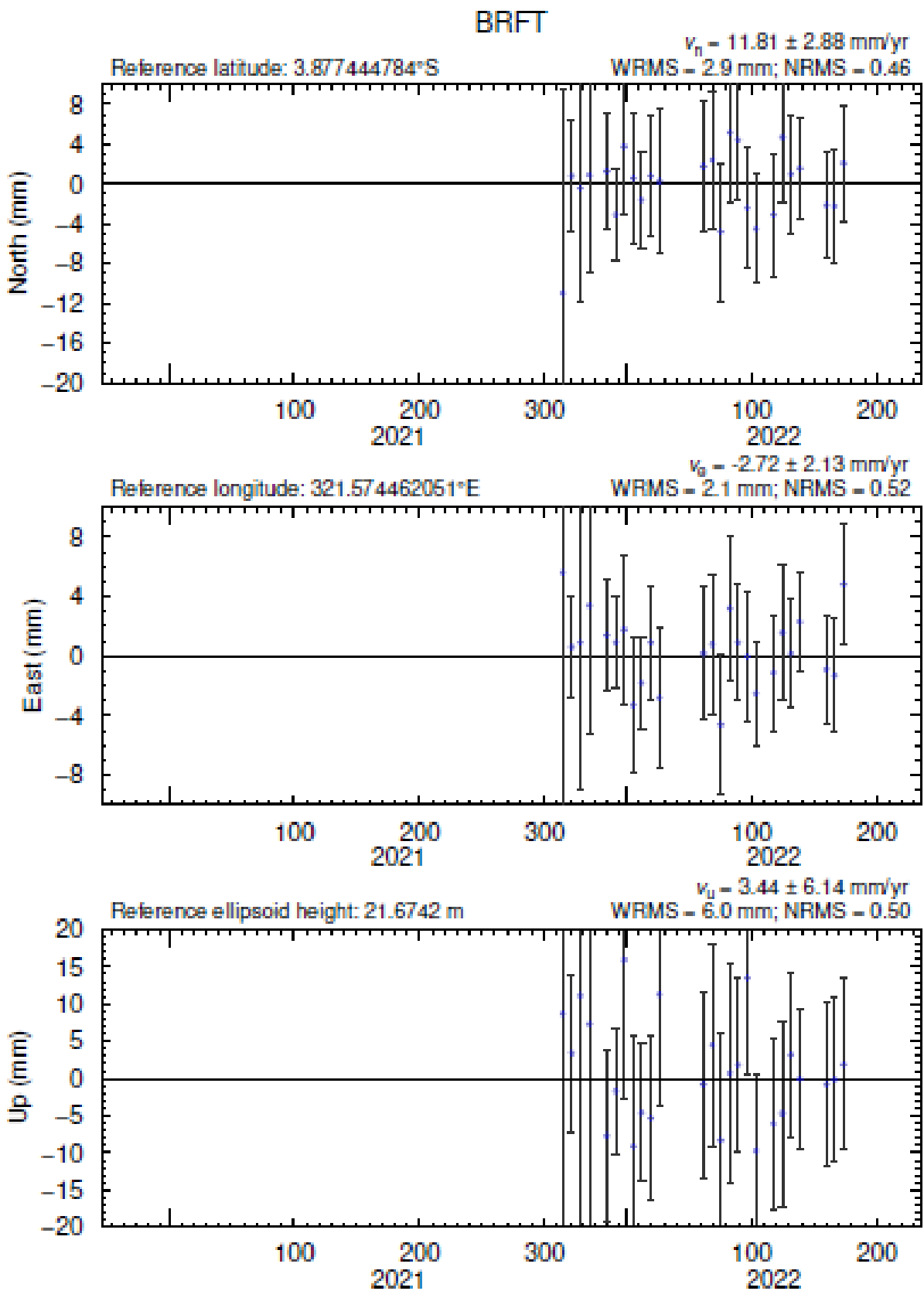
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação Base PVC.



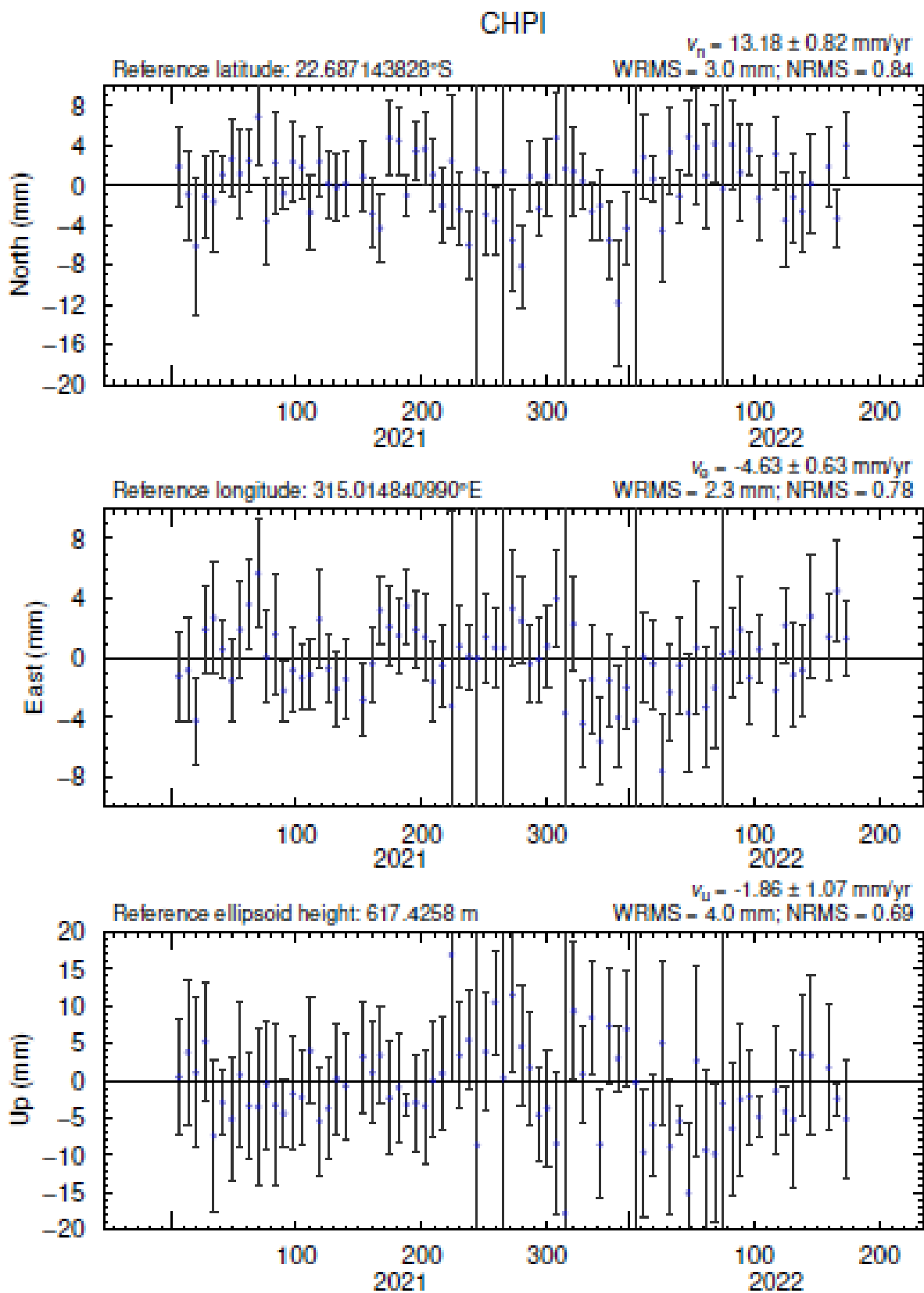
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação BRAZ.



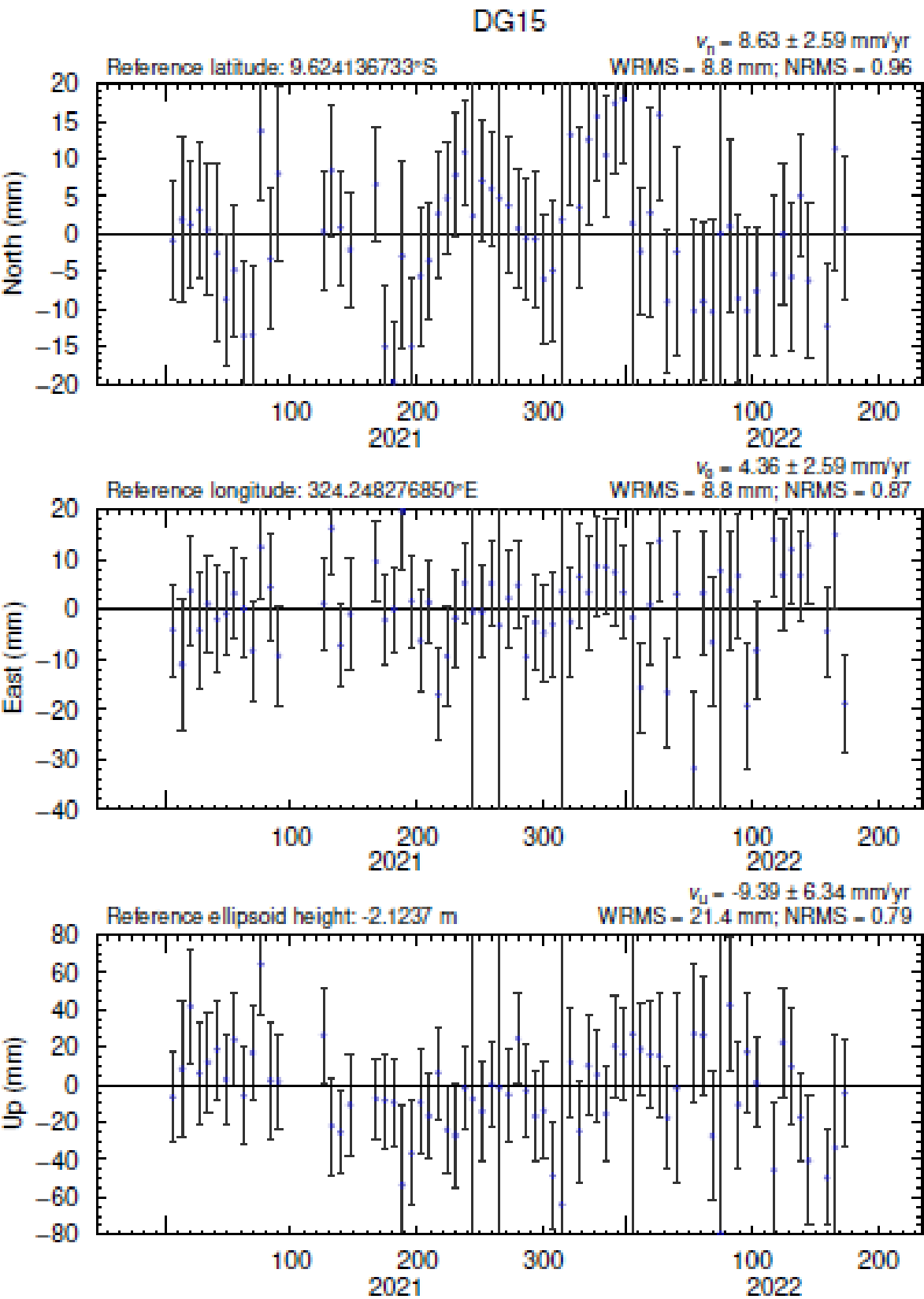
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação BRFT.



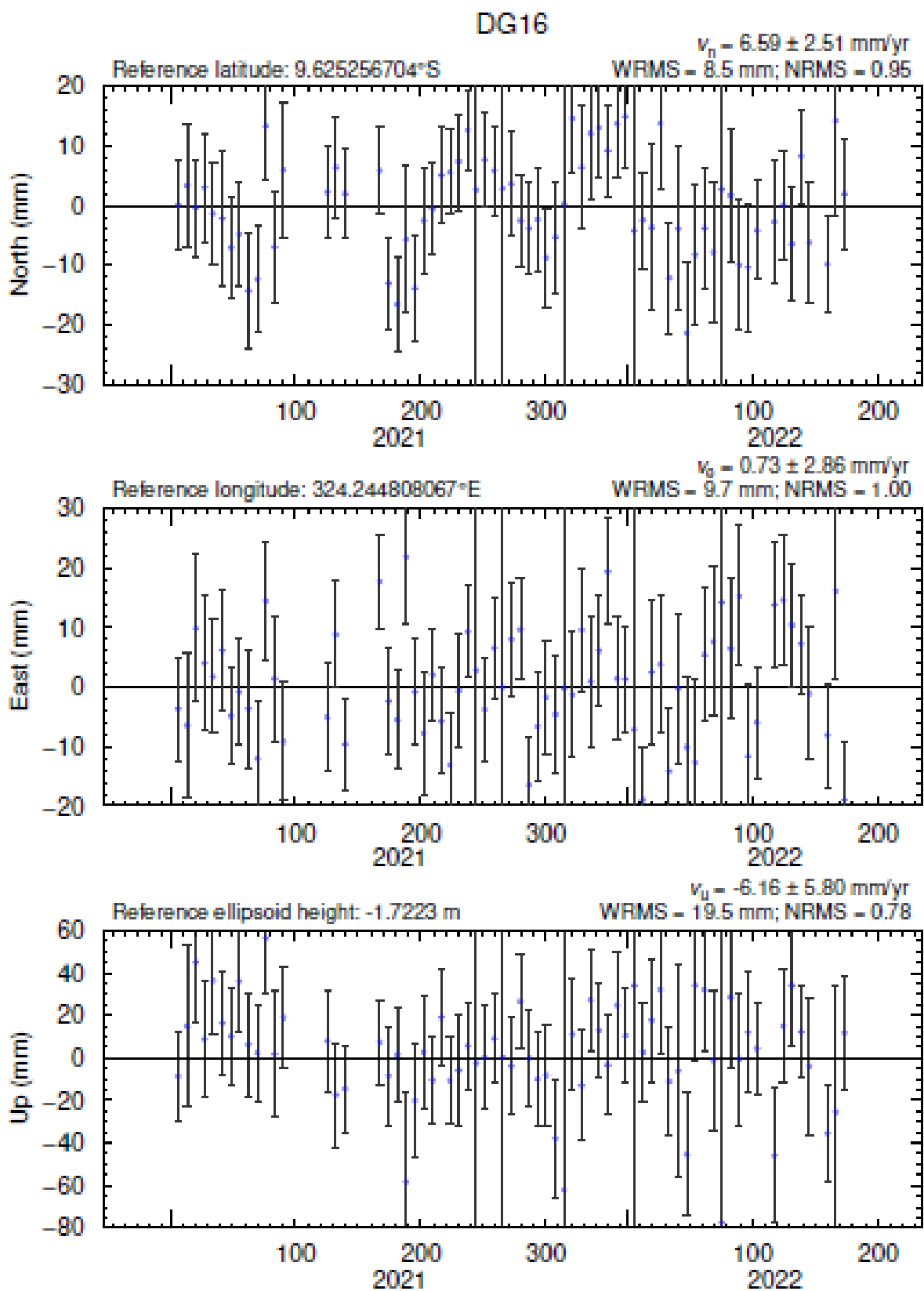
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação CHPI.



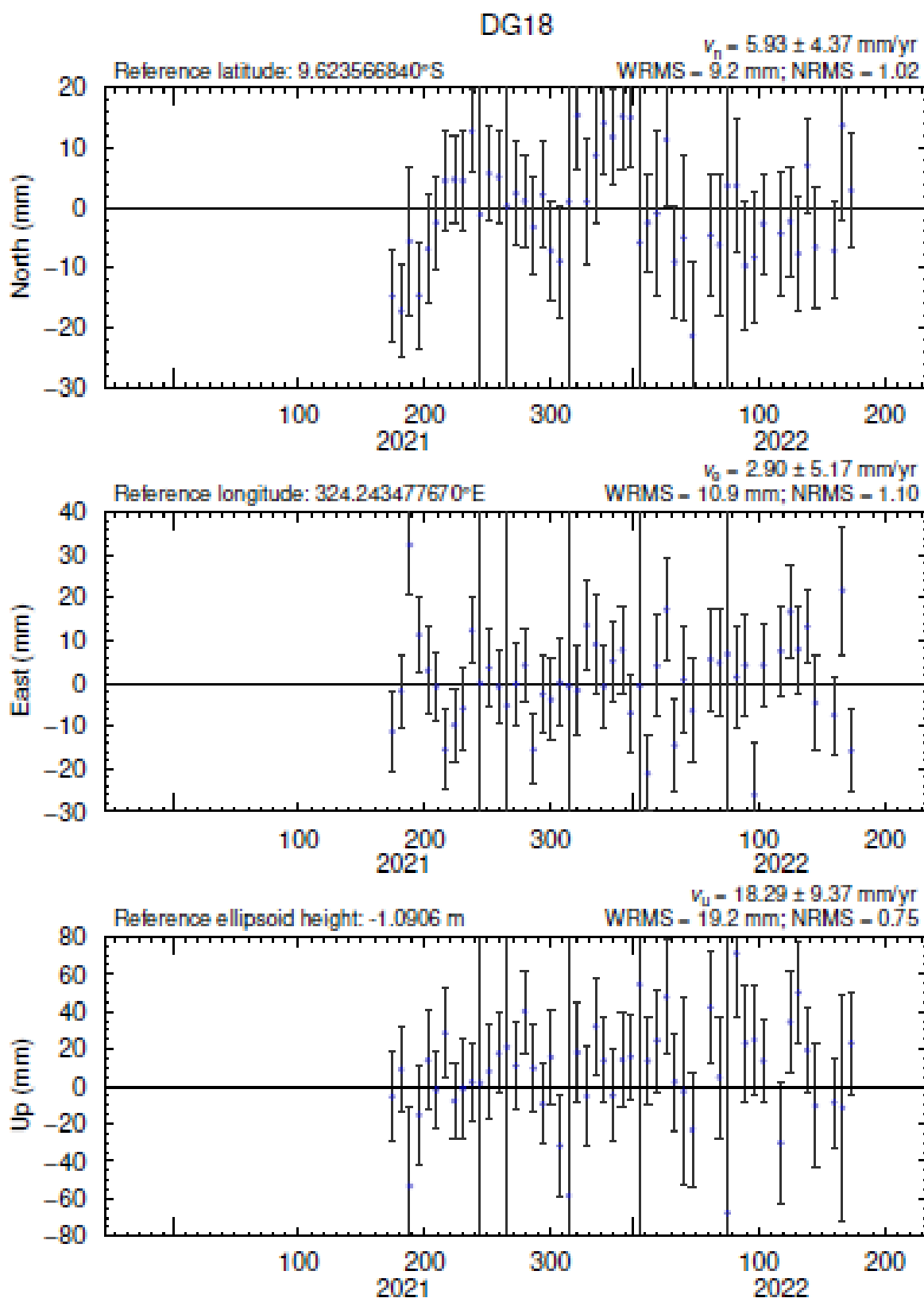
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação DG15.



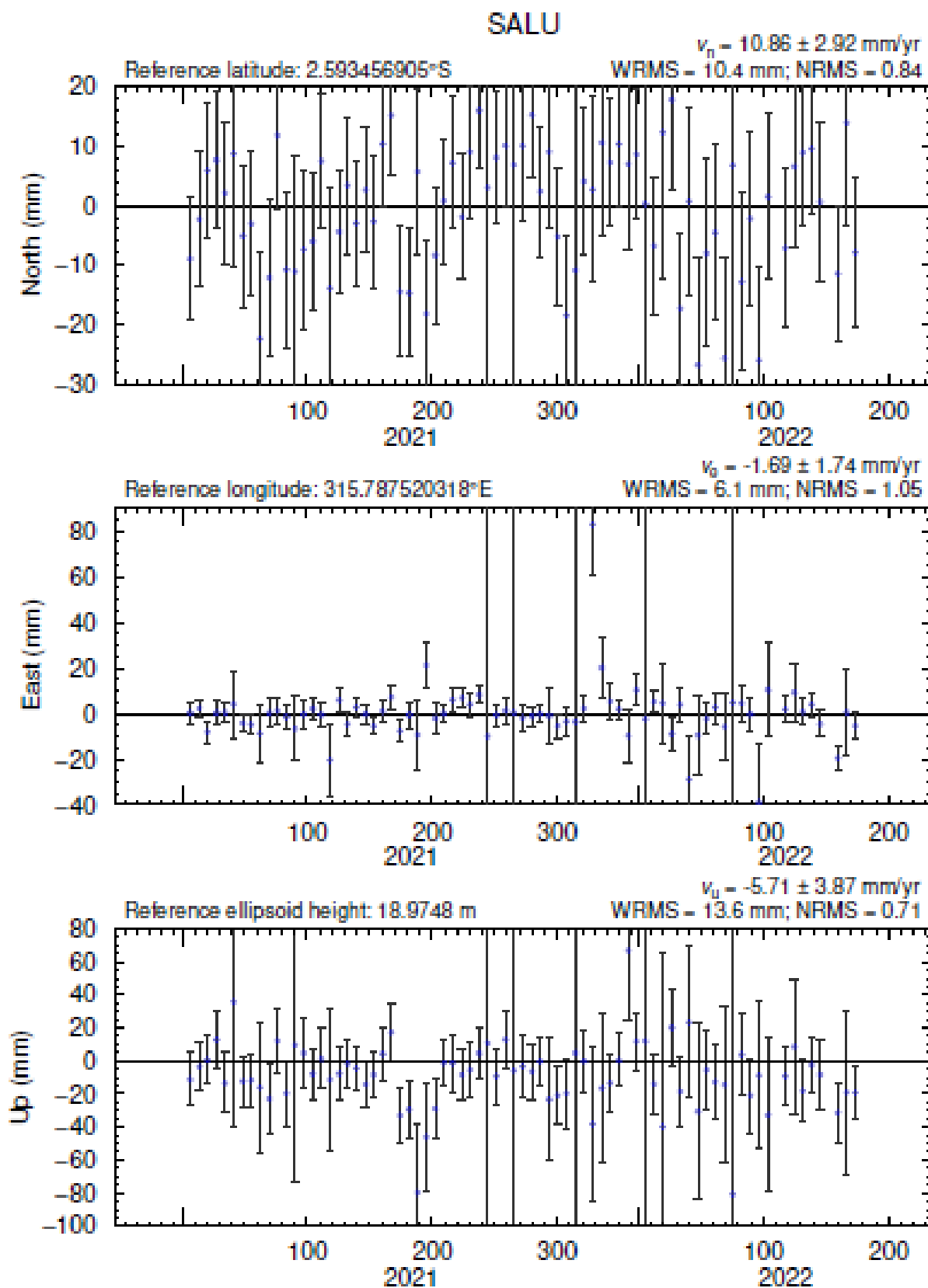
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação DG16.



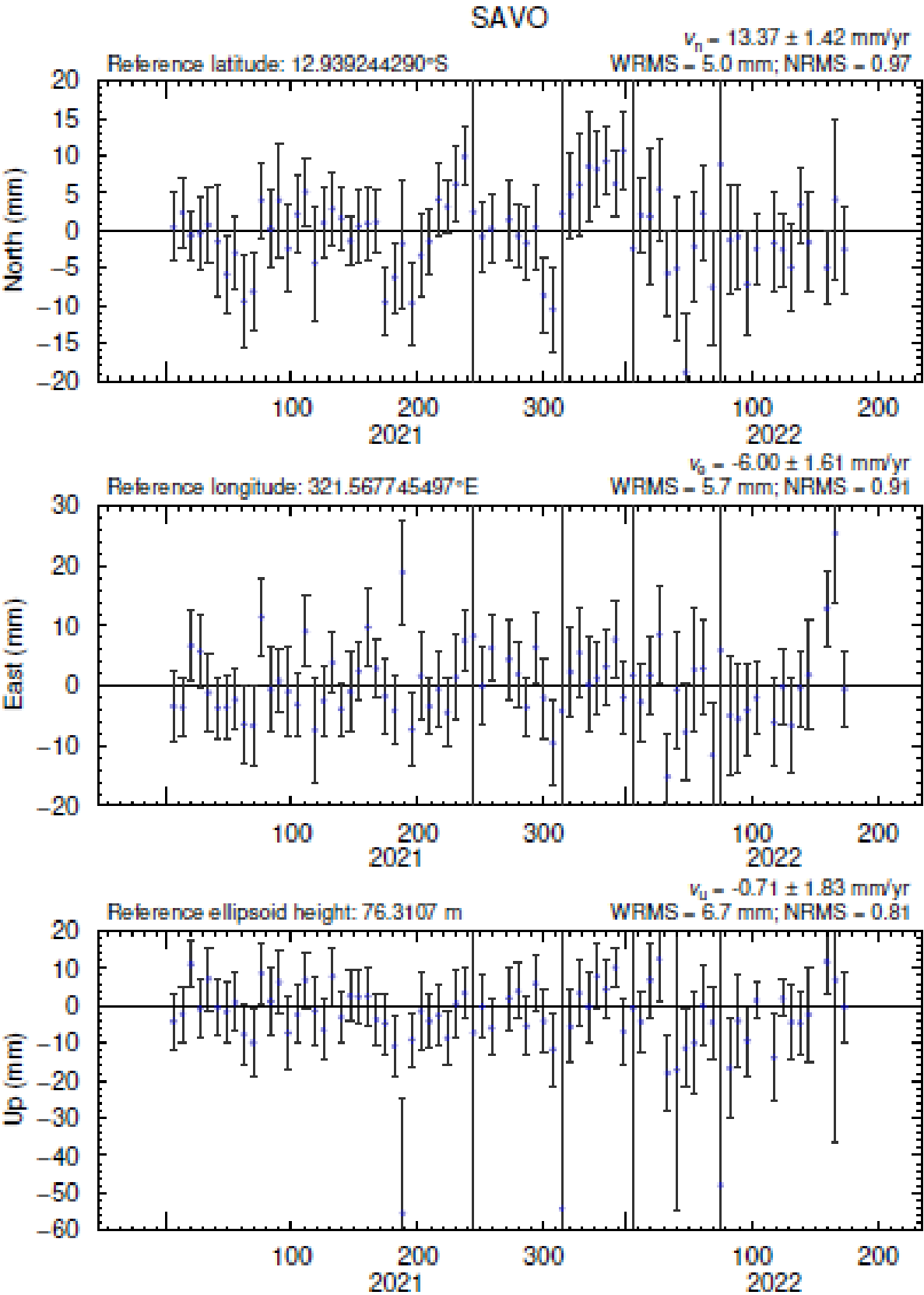
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação DG18.



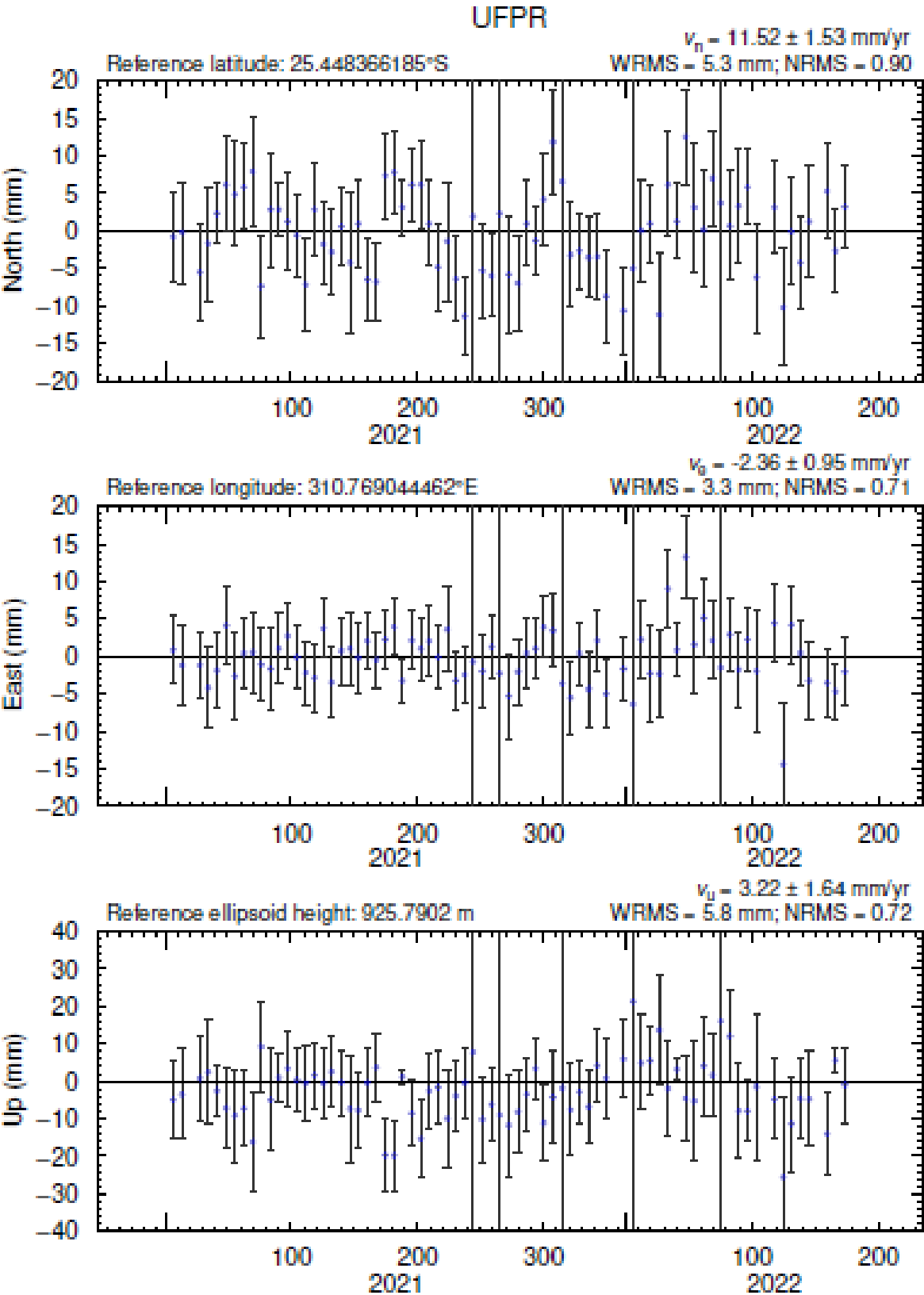
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação SALU.



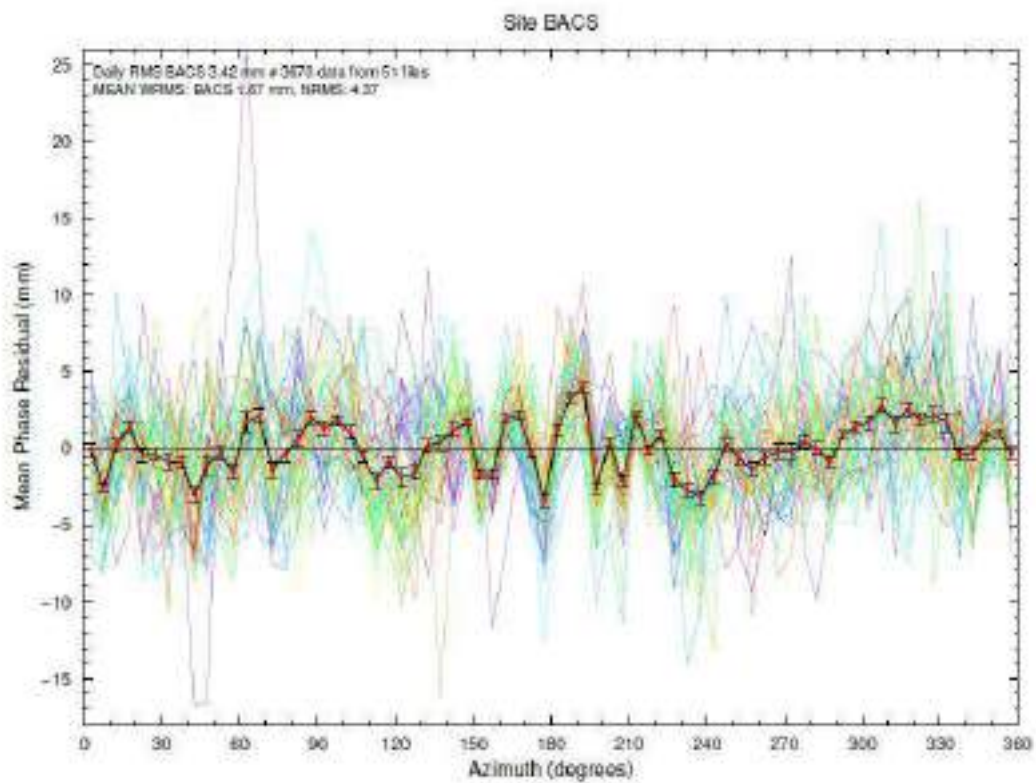
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação SAVO.



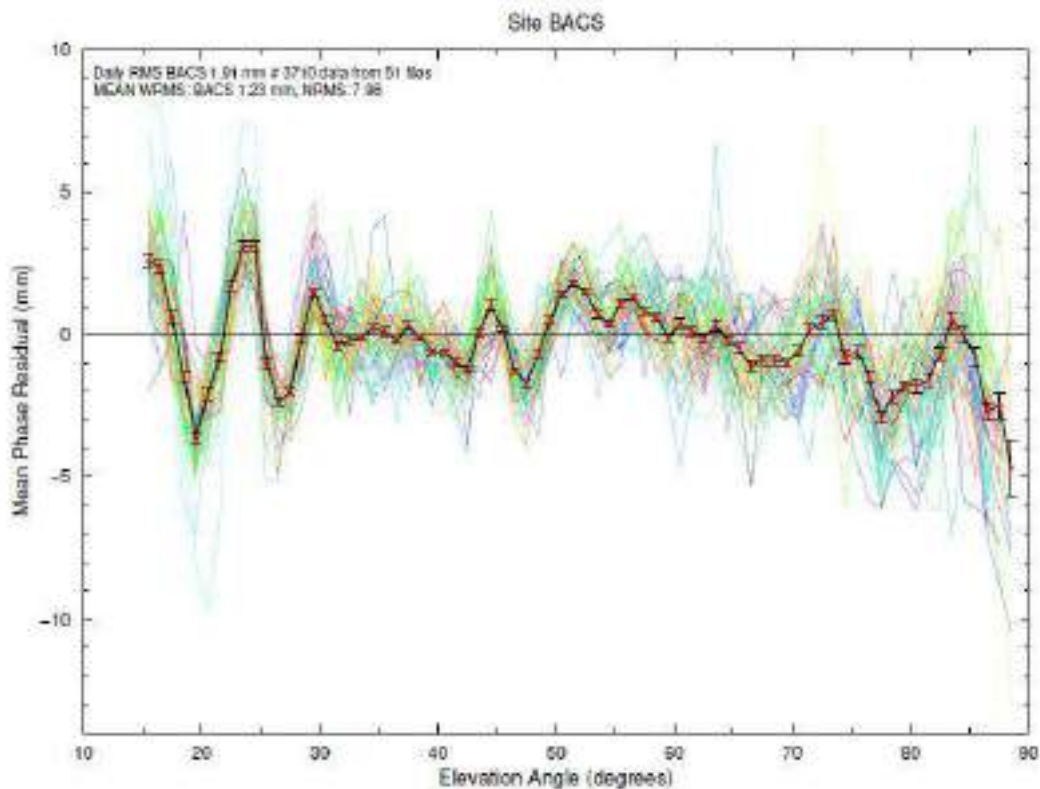
Variações das coordenadas locais topocêntricas N, E e U entre janeiro de 2021 e junho de 2022 para a estação UFPR.



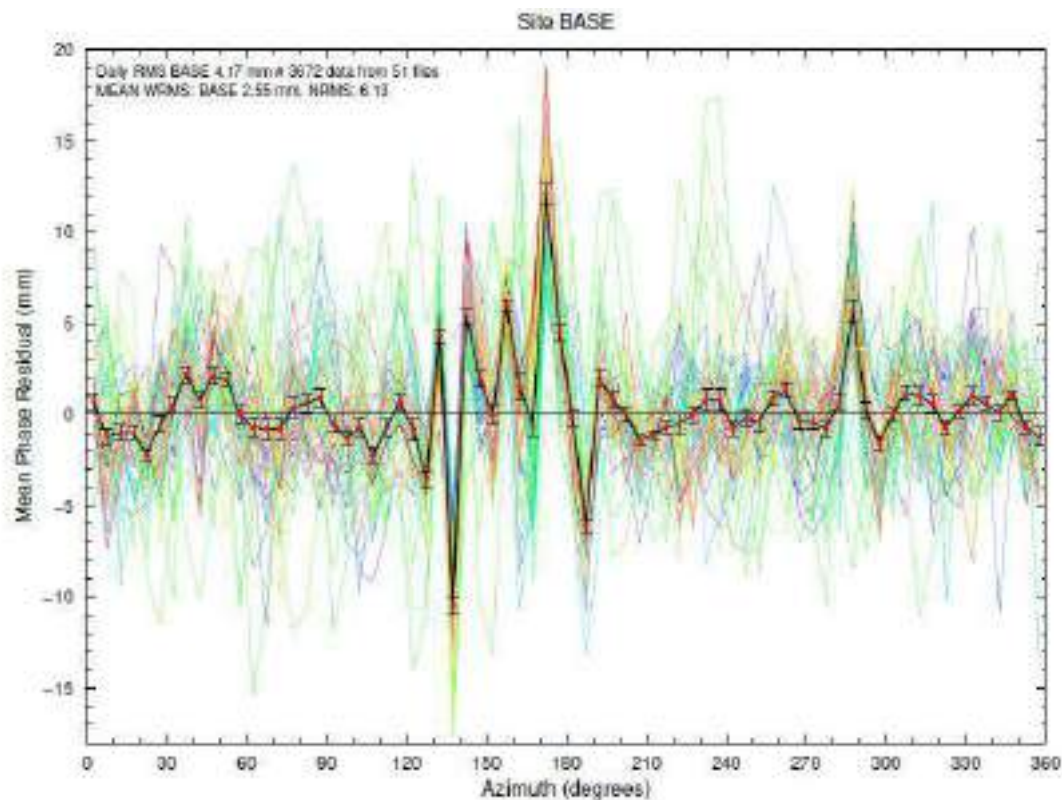
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação Base UCS em relação ao Azimute



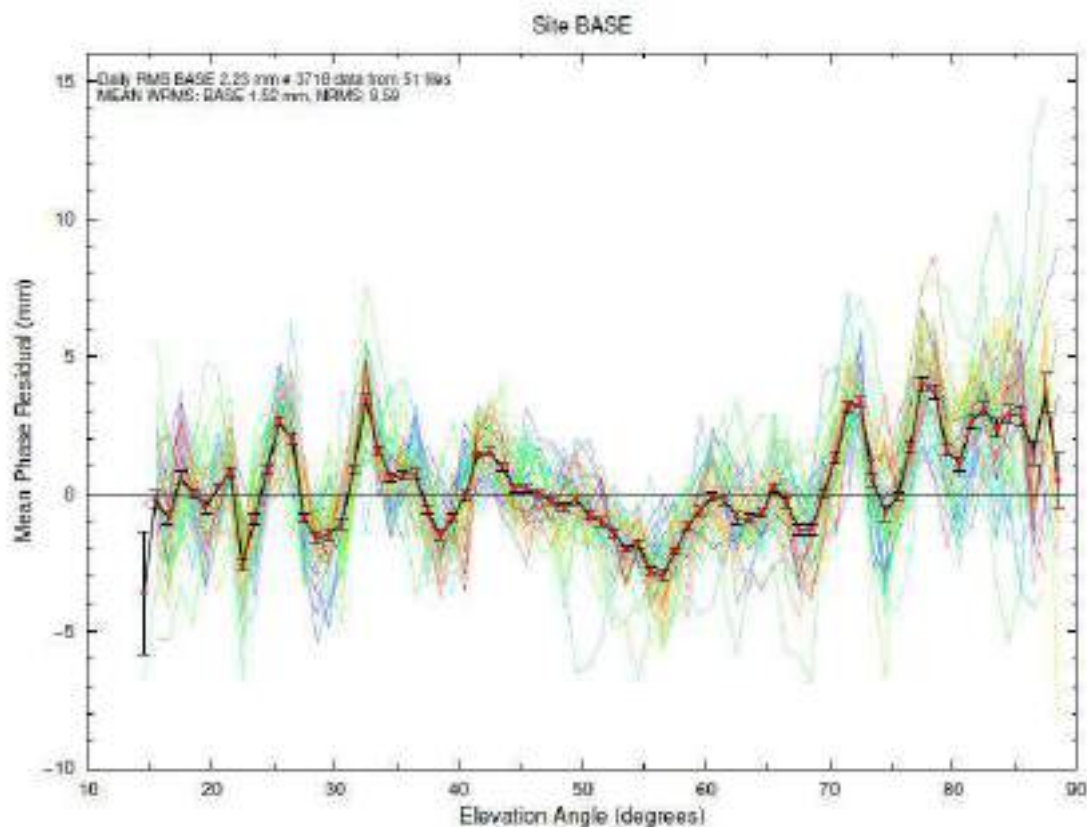
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação Base UCS em relação a Elevação.



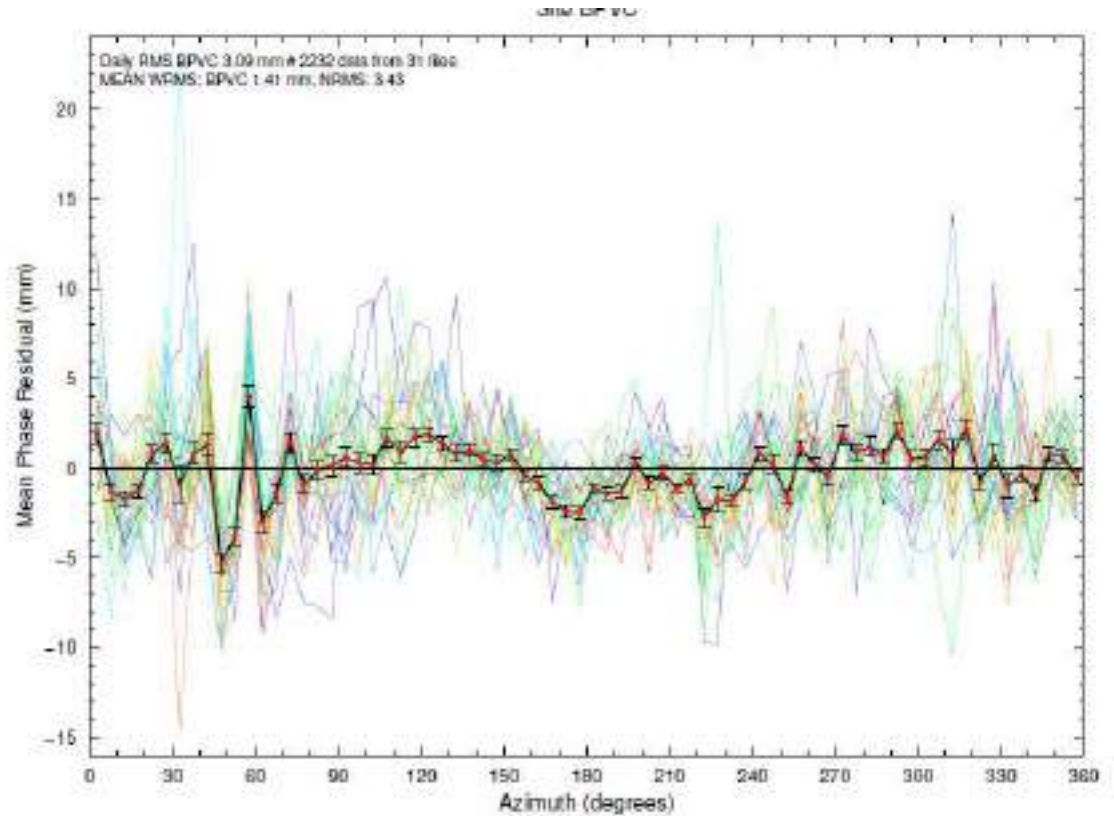
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação Base Exército em relação ao Azimute



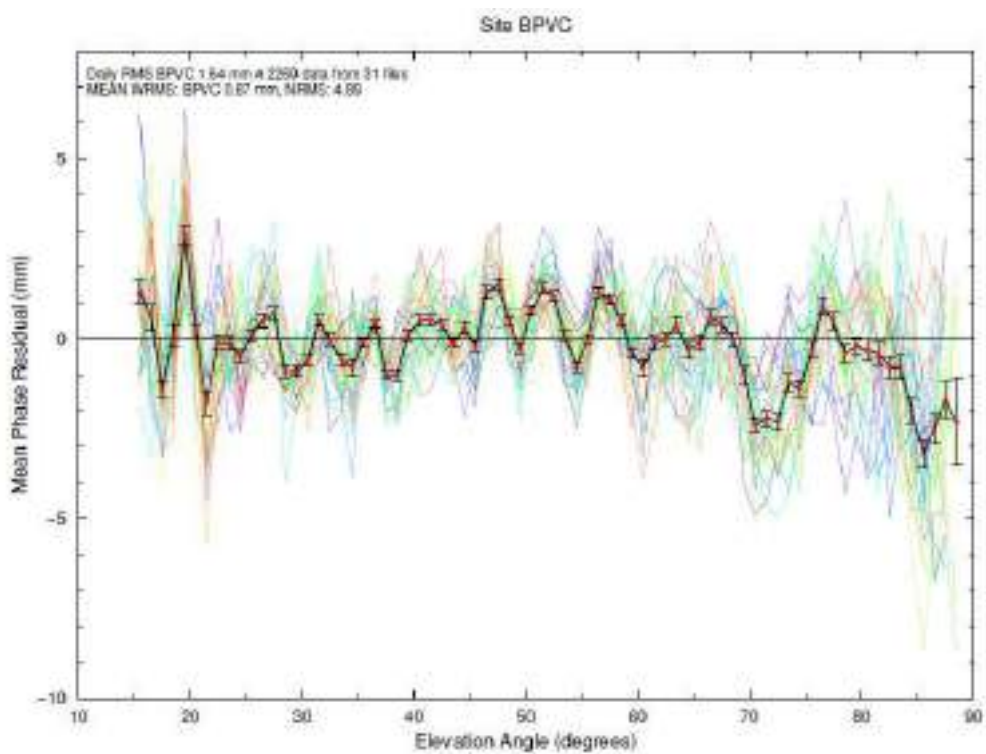
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação Base Exército em relação a Elevação.



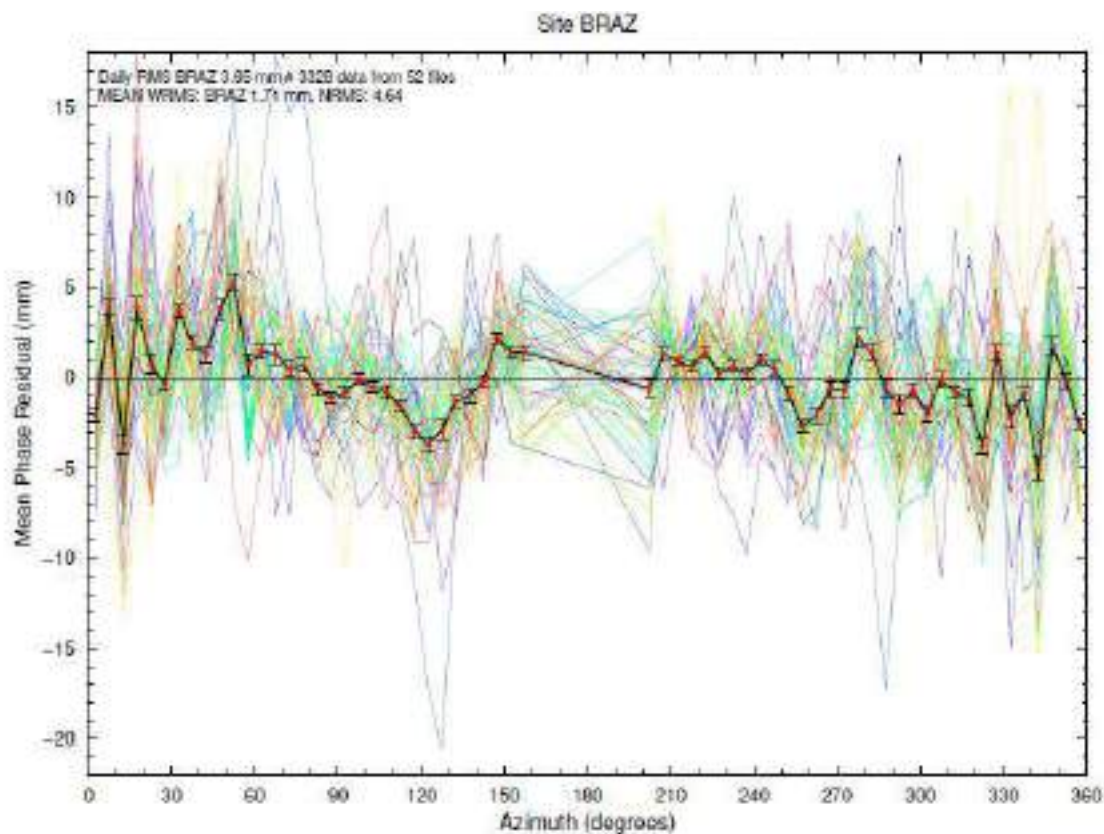
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação Base PVC em relação ao Azimute.



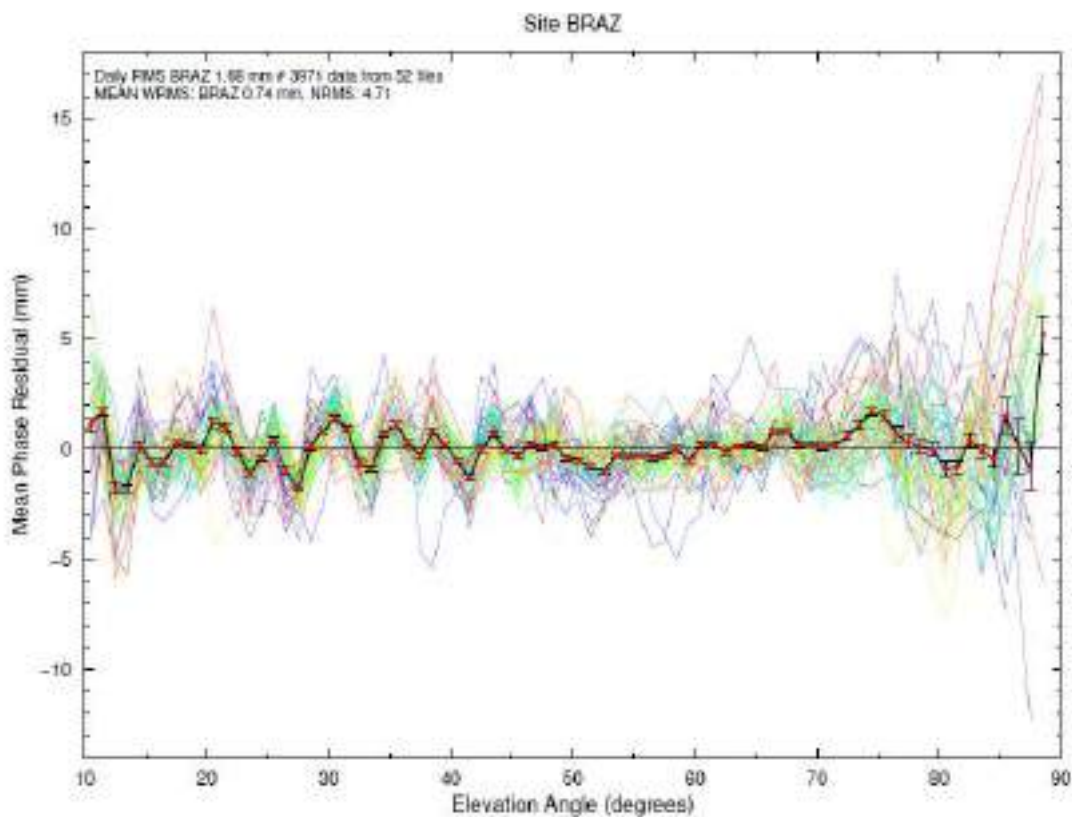
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação Base PVC em relação a Elevação.



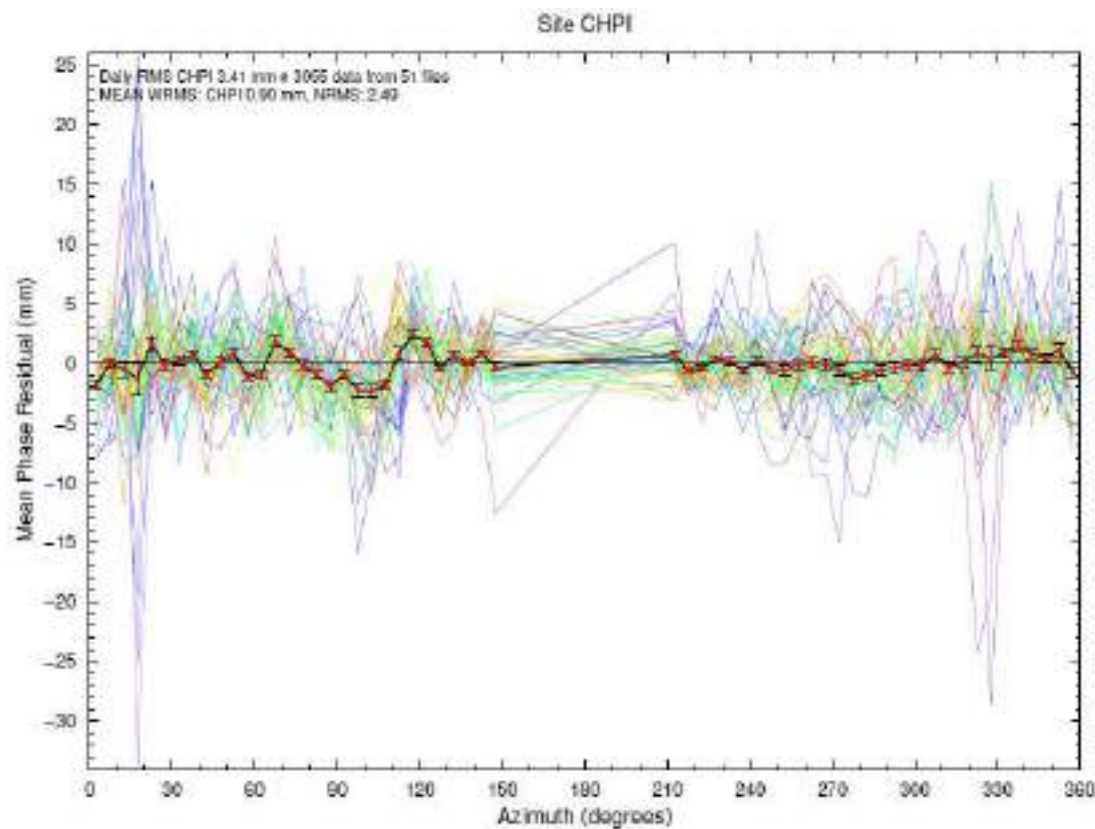
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação BRAZ em relação ao Azimute.



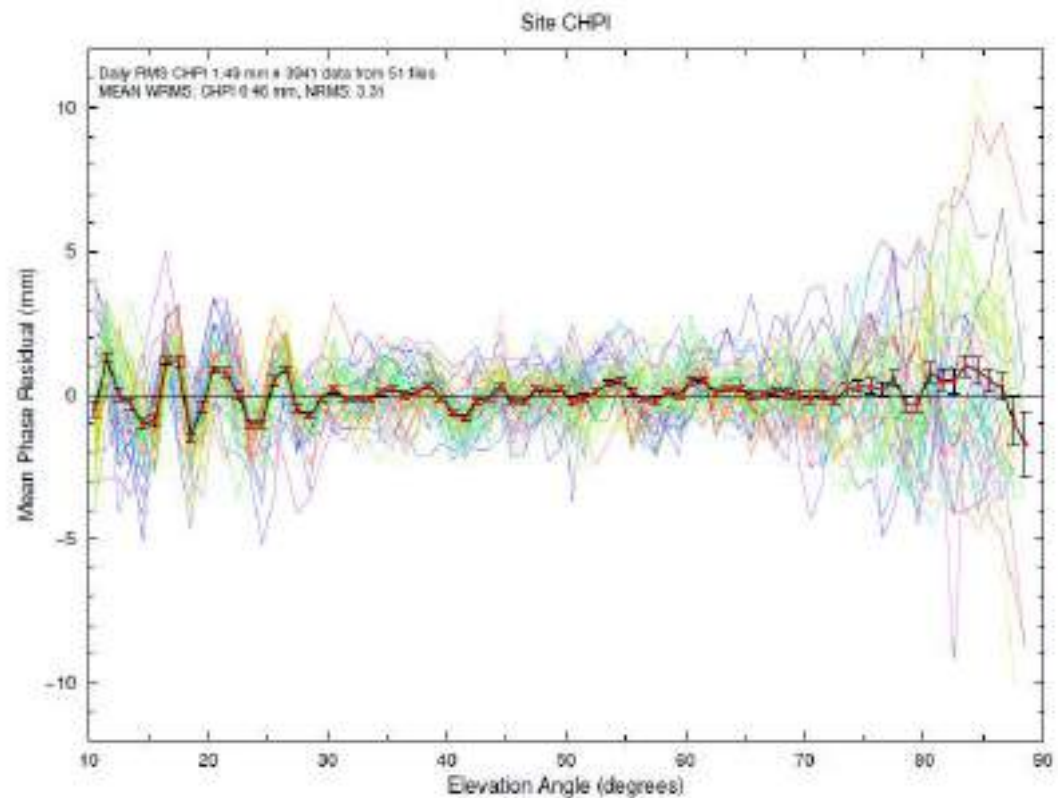
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação BRAZ em relação a Elevação.



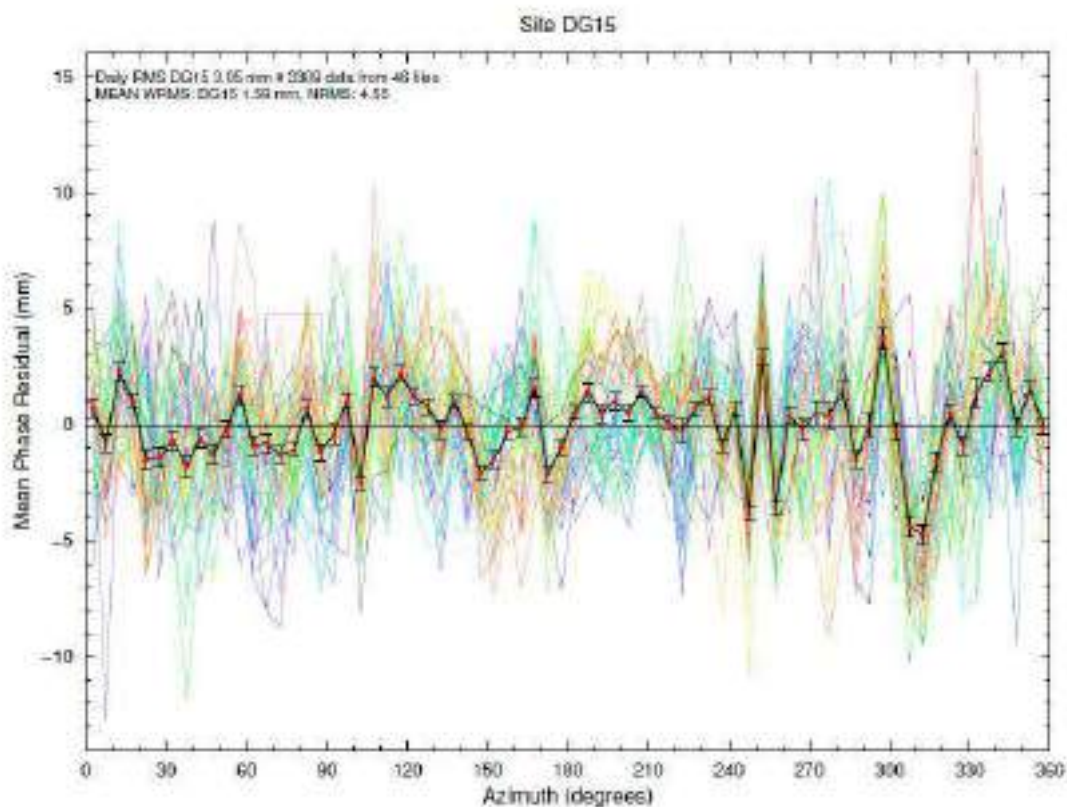
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação CHPI em relação ao Azimute.



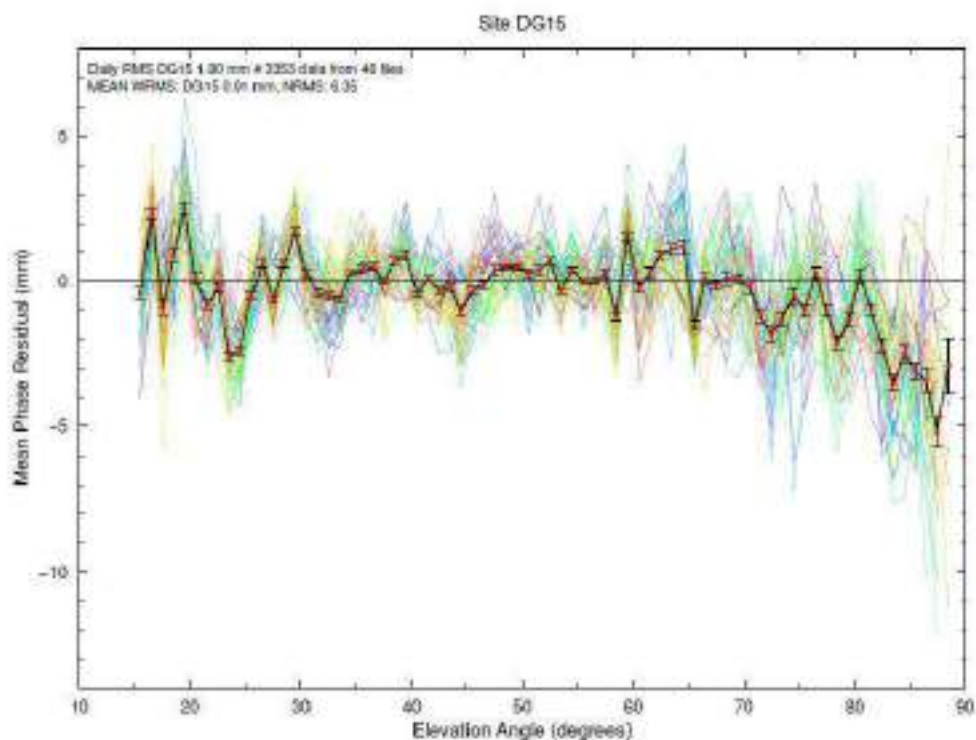
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação CHPI em relação a Elevação.



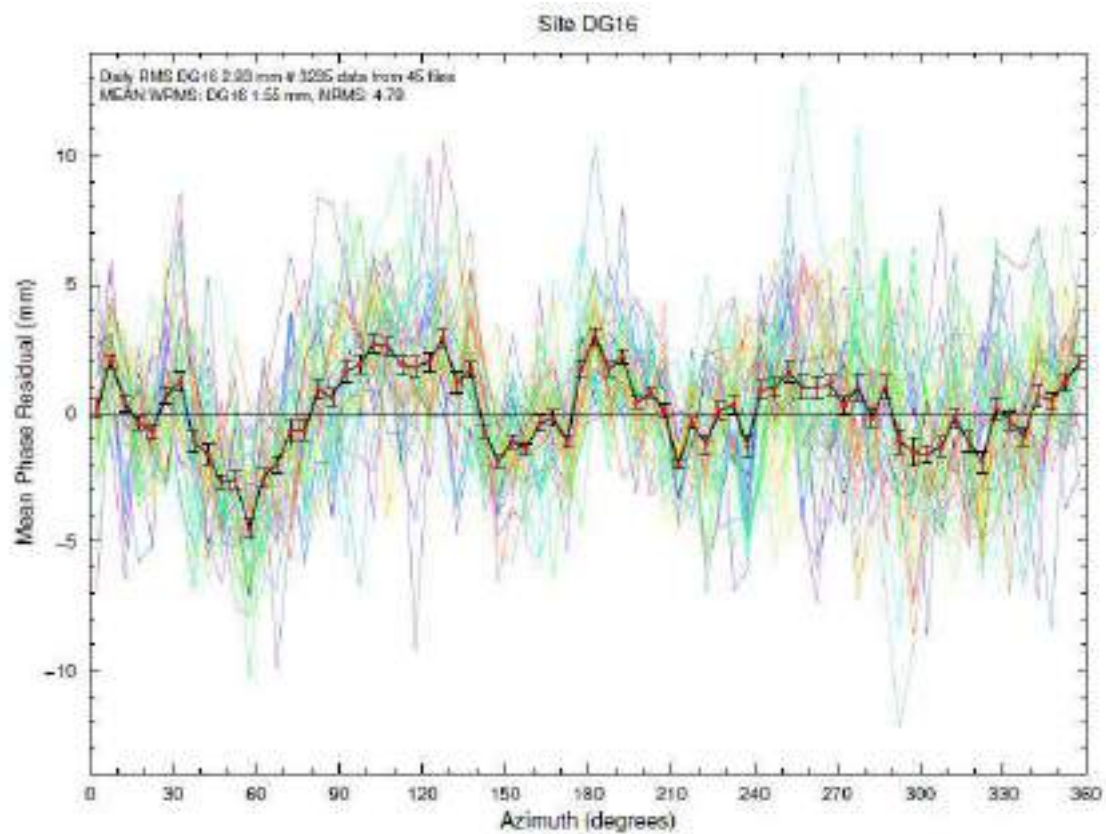
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG15 em relação ao Azimute.



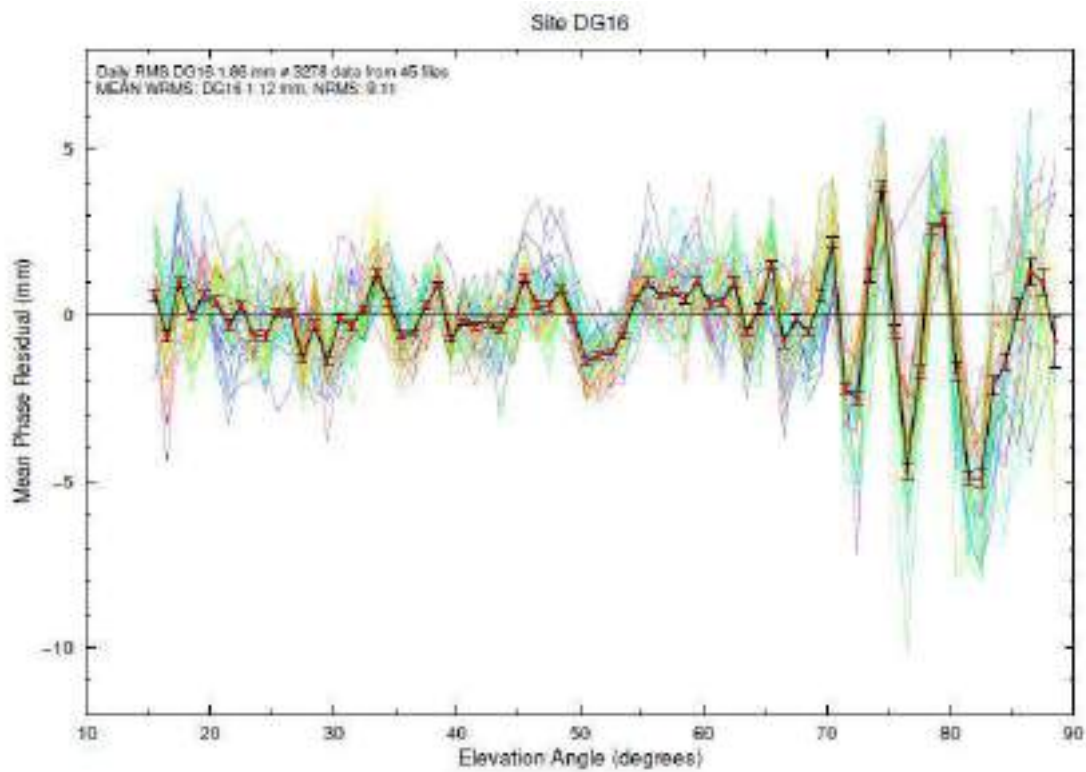
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG15 em relação a Elevação.



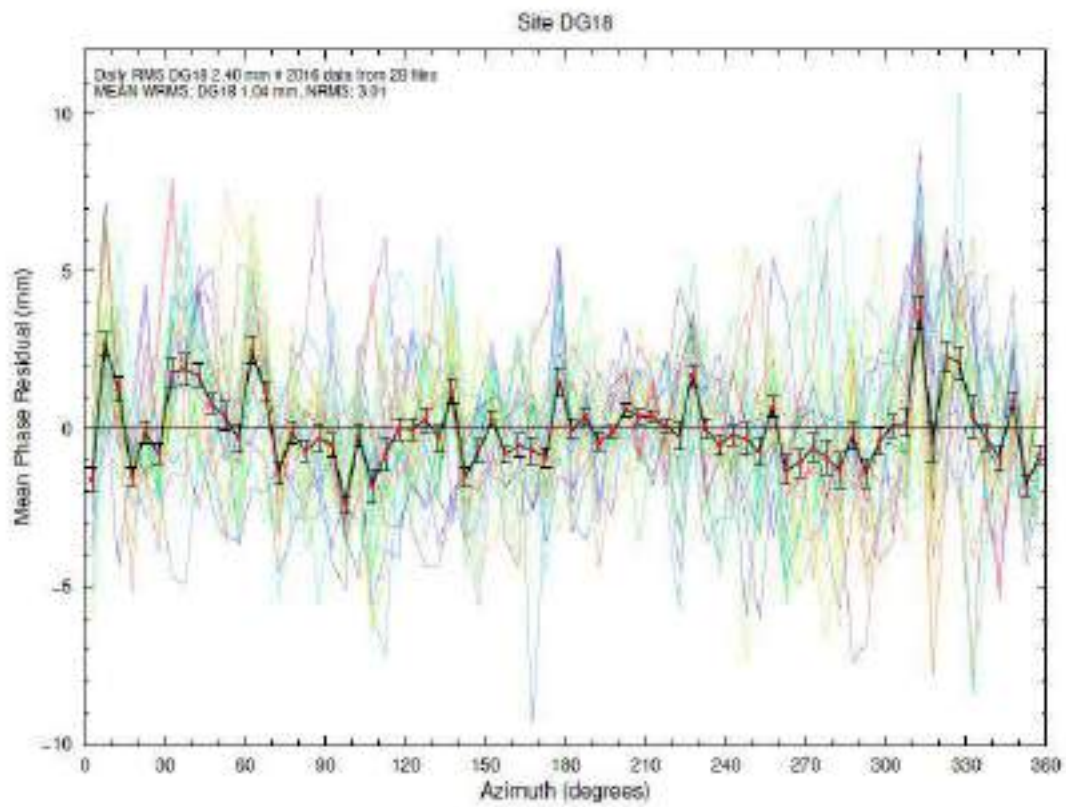
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG16 em relação ao Azimute.



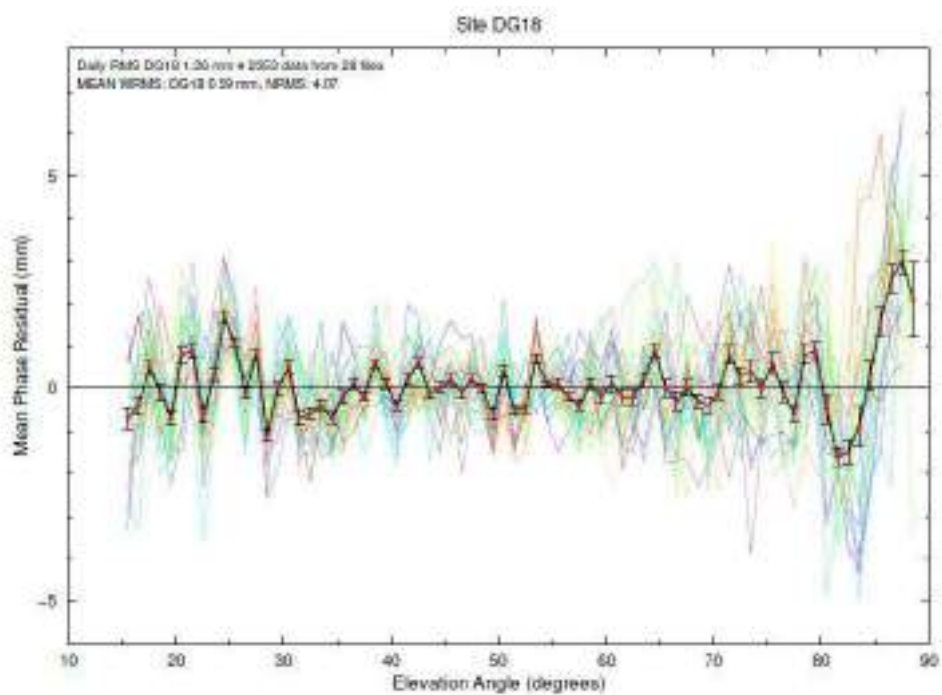
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG16 em relação a Elevação.



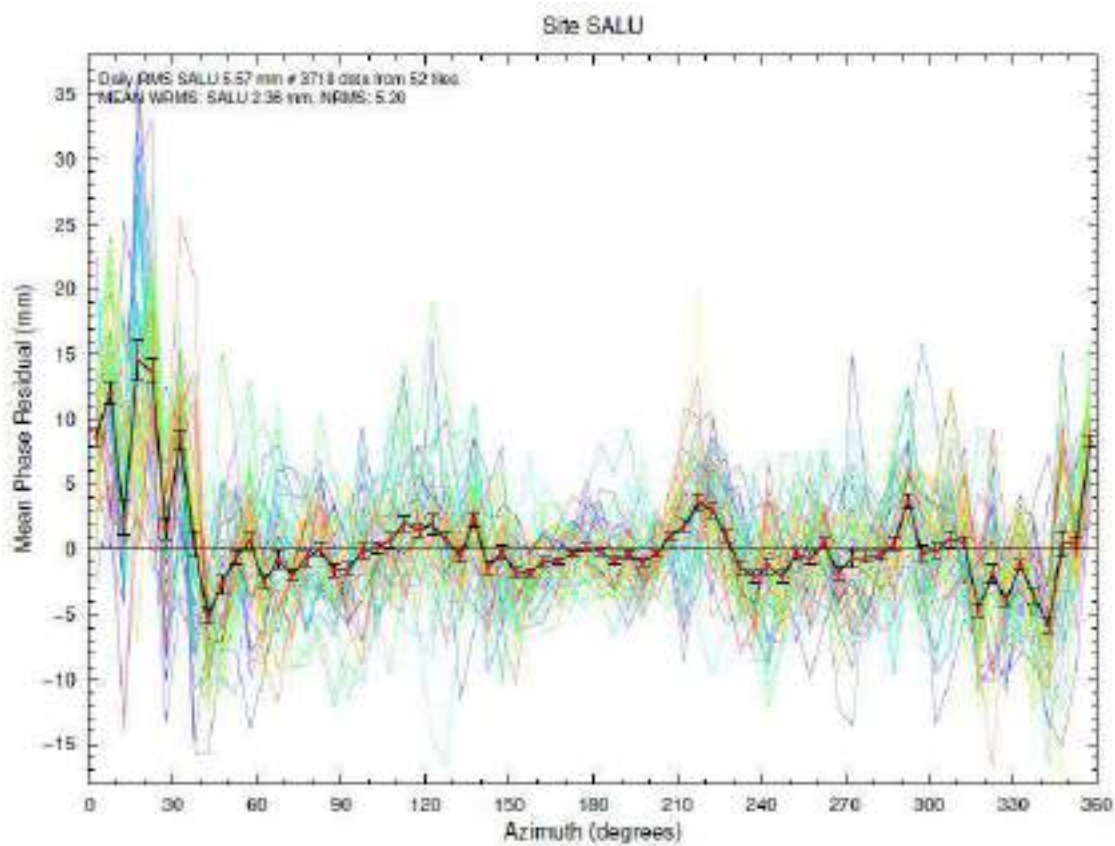
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG18 em relação ao Azimute.



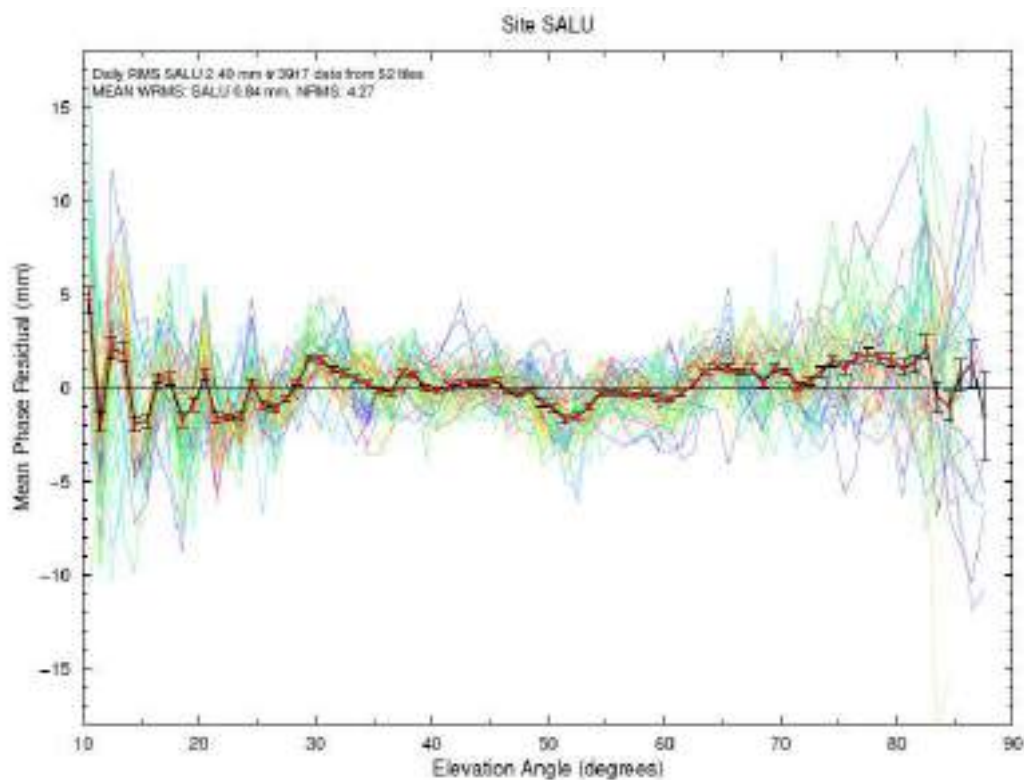
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação DG18 em relação a Elevação.



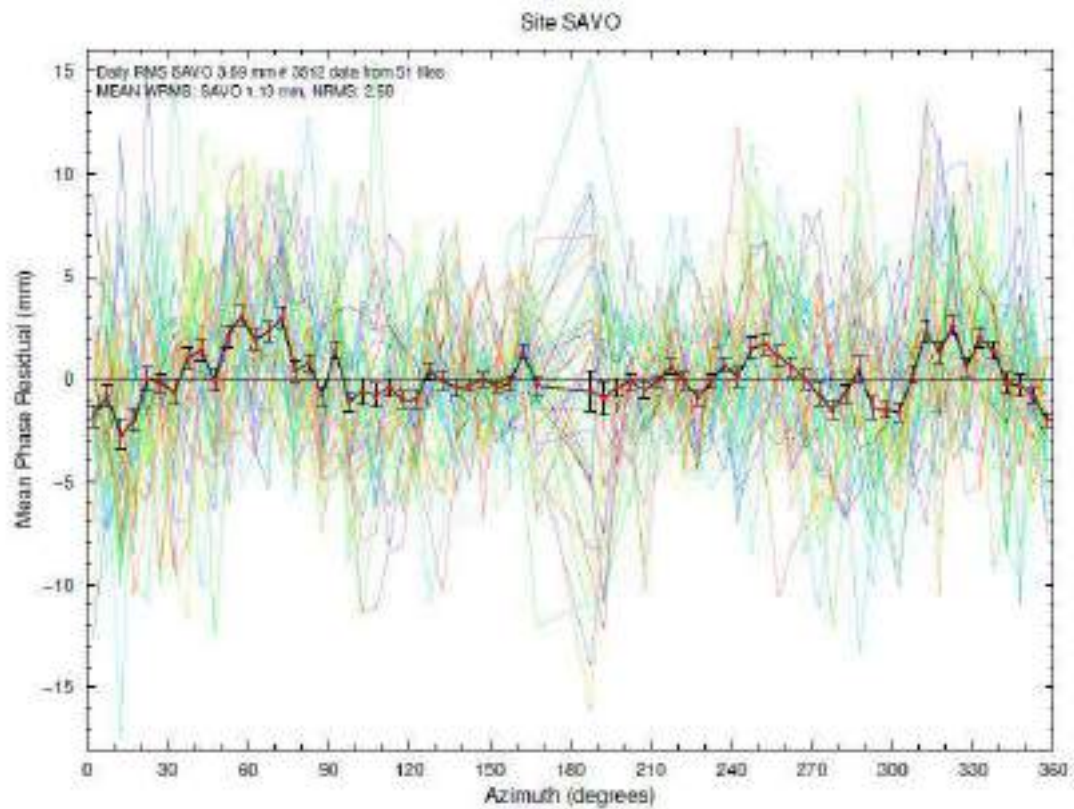
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação SALU em relação ao Azimute.



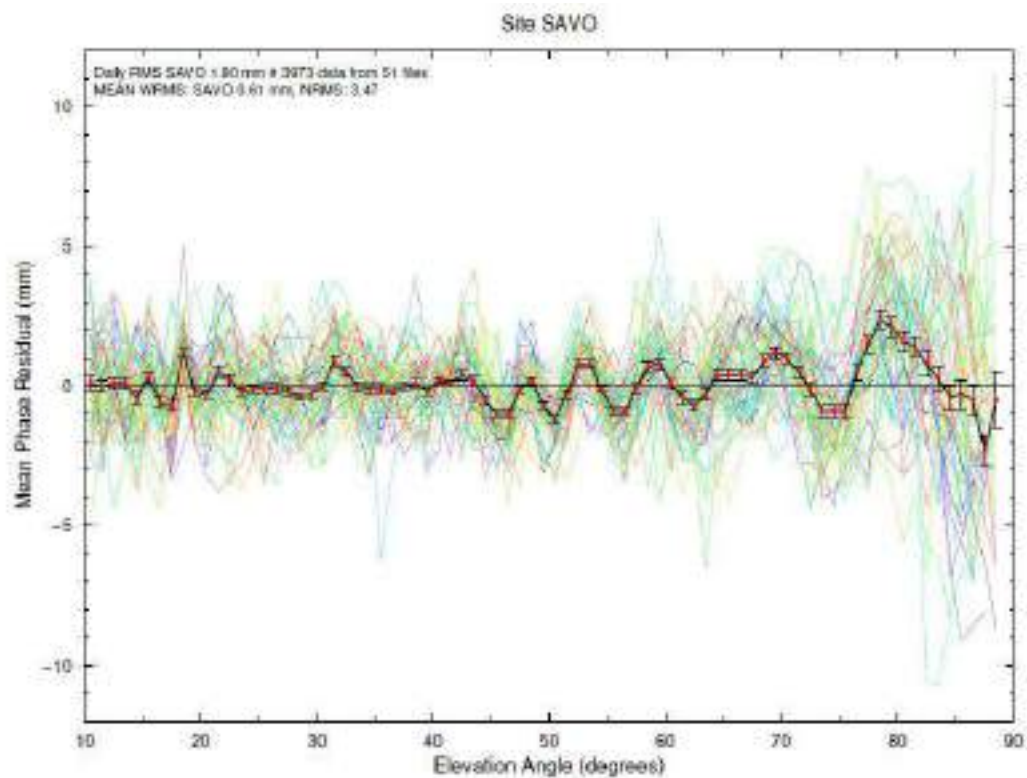
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação SALU em relação a Elevação.



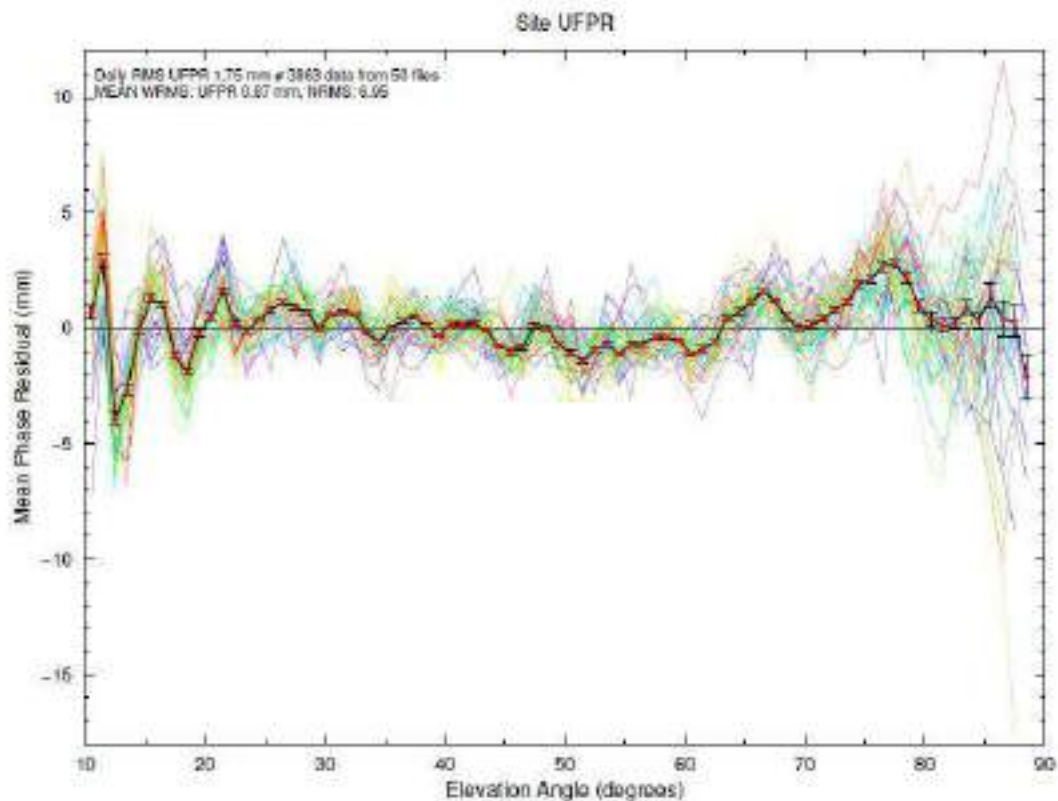
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação SAVO em relação ao Azimute.



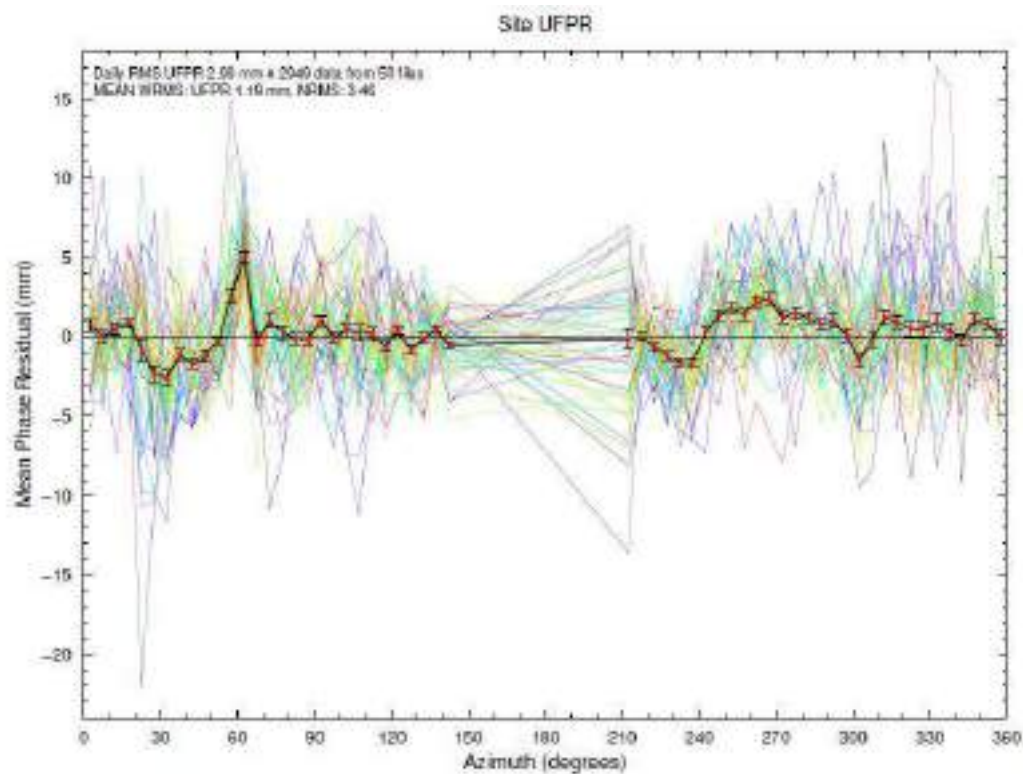
Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação SAVO em relação a Elevação.



Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação UFPR em relação ao Azimute.



Resíduos da combinação linear livre da ionosfera para todas as soluções calculadas na estação UFPR em relação a Elevação.





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 001

CERTIFICO e dou fé, para os fins de direito, que o texto abaixo é tradução fiel de um documento em língua inglesa, que me foi apresentado por parte interessada, como segue:

[**Nota do tradutor:** o documento a mim apresentado foi redigido em inglês e em idioma estrangeiro, do qual passo a traduzir somente o teor em inglês conforme segue:]



Geoapp s.r.l.

Via F. Veracini 30/G - 50144 Florença (Itália)

Tel. +39 055 3985470 – Fax +39 055 2757788

E-mail: info@geoapp.it PEC: info@pec.geoapp.it

Site: www.geoapp.it - C.F. e P.IVA 06563960480

RELATÓRIO MENSAL SOBRE DADOS DE MONITORAMENTO NA REGIÃO DE MACEIÓ

Período analisado: Atualização de março de 2024

Versão 1.0

Em atenção de:

BRASKEM S.A.

Investigador principal: Dr. Paolo Farina

Com a colaboração de

Dr. Andrea Ciampalini

Geoapp® s.r.l.

Florença, 11 de abril de 2024

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
2	DADOS DO InSAR	4
2.1	Análise do buffer	7
3	D-GPS	13
3.1	Análise da velocidade média anual	15
3.2	Alertas do D-GPS	19
4	COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DO InSAR E DO D-GPS	20
5	INCLINÔMETROS	24
6	TILTÍMETROS	30
7	REDE MICROSSÍSMICA	46
7.1	Alertas	53
8	CONSOLIDAÇÃO DE DADOS	56
8.1	Rede Microssísmica	56
9	CONCLUSÕES	59
ANEXOS		61
A.	Gráficos dos Inclínômetros	61
B.	Dados de Eventos Classe A	110

1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo abordar o monitoramento dos instrumentos instalados pela Braskem na cidade de Maceió, Estado de Alagoas, durante o mês de março de 2024.

O sistema de monitoramento é composto por 4 inclinômetros, 13 tiltímetros, 77 estações D-GPS, medição de nivelamento (trimestral), dados do InSAR e uma rede microssísmica com 26 estações. Todos os instrumentos foram instalados.

Neste relatório, foram analisados dados de inclinômetros, tiltímetros, D-GPS e microssísmicos obtidos em março de 2024. Os dados do InSAR apresentam um atraso de um mês em relação aos demais instrumentos, pelo tempo necessário para processamento pela TRE-Altamira. Ao final de cada mês, a TRE-Altamira entrega os dados obtidos no mês anterior. Assim, este relatório contempla a análise dos dados obtidos entre junho de 2019 e fevereiro de 2024.

2 DADOS DO InSAR

Este relatório descreve os resultados da análise dos dados do satélite InSAR obtidos a partir de imagens do TerraSAR-X ao longo de órbitas ascendentes e descendentes e sua decomposição ao longo das direções Leste-Oeste e vertical atualizadas até fevereiro de 2024. Os dados do InSAR coletados ao longo das órbitas ascendentes e descendentes apresentam a componente do vetor de deslocamento ao longo da linha de visão (*line of sight*) do satélite, que não é vertical, mas sim oblíqua. Os conjuntos de dados mais recentes abrangem os seguintes períodos: 21/06/2019-20/02/2024 para o conjunto de dados ascendente e 18/06/2019-28/02/2024 para o descendente.

Distribuição espacial de deformações: Os dados do InSAR mostram, de forma similar à atualização anterior, um campo de deformação extenso de formato semi-elíptico alongado na direção paralela à costa da lagoa, com valores máximos centralizados na área entre os poços M12 ao Norte e M20 ao Sul. Para o conjunto de dados descendentes mais recente, o deslocamento máximo acumulado de junho de 2019 a fevereiro de 2024 é de 968,4 mm ao longo da linha de visão, e a velocidade máxima é de 189,4 mm/ano ao longo da linha de visão, 80 m a Sudeste do poço M10, similar à medida em janeiro de 2024 (188,7 mm/ano). Para o conjunto de dados ascendente mais recente, o deslocamento máximo acumulado, de junho de 2019 a fevereiro de 2024 é de 887,8 mm ao longo da linha de visão (Figura 1) e a velocidade máxima é de 180,1 mm/ano ao longo da linha de visão, 25 m a Leste do poço M27D (Figura 2), similar às medições de janeiro de 2024 (180,3 mm/ano).

Geometria das deformações detectadas: Os dados decompostos do InSAR mostram que os movimentos verticais (Figura 3) seguem uma distribuição espacial similar àquela identificada nos dados ascendentes do InSAR, com as maiores deformações localizadas na área delimitada ao Norte pelo poço M12, ao Leste pelo poço M17 e ao Sul pelo poço M20, onde as velocidades alcançam valores de até 195,6 mm/ano no período analisado pela atualização de fevereiro de 2024, 100 m a Sudeste do poço M12, ligeiramente abaixo do valor máximo medido em janeiro (196,5 mm/ano). As deformações diminuem de forma gradual, movimentando-se radialmente a partir desta área em direção ao Norte, ao Sul e ao Leste, seguindo o mesmo padrão semi-elíptico detectado pelo conjunto de dados ascendentes do InSAR. Com relação às atualizações anteriores, no conjunto de dados de fevereiro de 2024, a diminuição gradual das velocidades observadas na parte externa da semi-elipse não está presente (Figura 3).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 002

De maneira similar ao conjunto de dados anterior, a componente Leste-Oeste dos dados do InSAR coletados em fevereiro apresenta uma área alongada na direção Norte-Sul, centralizada no bairro Pinheiro, com cerca de 800 m de largura (na direção Leste-Oeste) e 1.500 m de comprimento (na direção Norte-Sul), com fortes movimentos horizontais na direção Oeste (Figura 4) e com valores máximos de cerca de 86,4 mm/ano na direção Oeste, 200 m a Leste do M01 (valor máximo de 85,4 mm/ano em janeiro). Os movimentos Leste-Oeste estão ausentes a Leste do bairro Pinheiro e na área orientada na direção Norte-Sul limitada pelo M03 ao Norte e pelo M05 ao Sul. No setor Norte da área dos poços, os movimentos na direção Leste foram medidos entre o poço M12 ao Sul e M32 ao Norte, com velocidade máxima de 26,9 mm/ano no período abrangido pela atualização de fevereiro de 2024 (27 mm/ano em janeiro) localizado a 430 m ao Nordeste do M32-33D. As deformações na direção Leste foram detectadas na área próxima aos poços M09, M12, M32 e M33D (Figura 4).

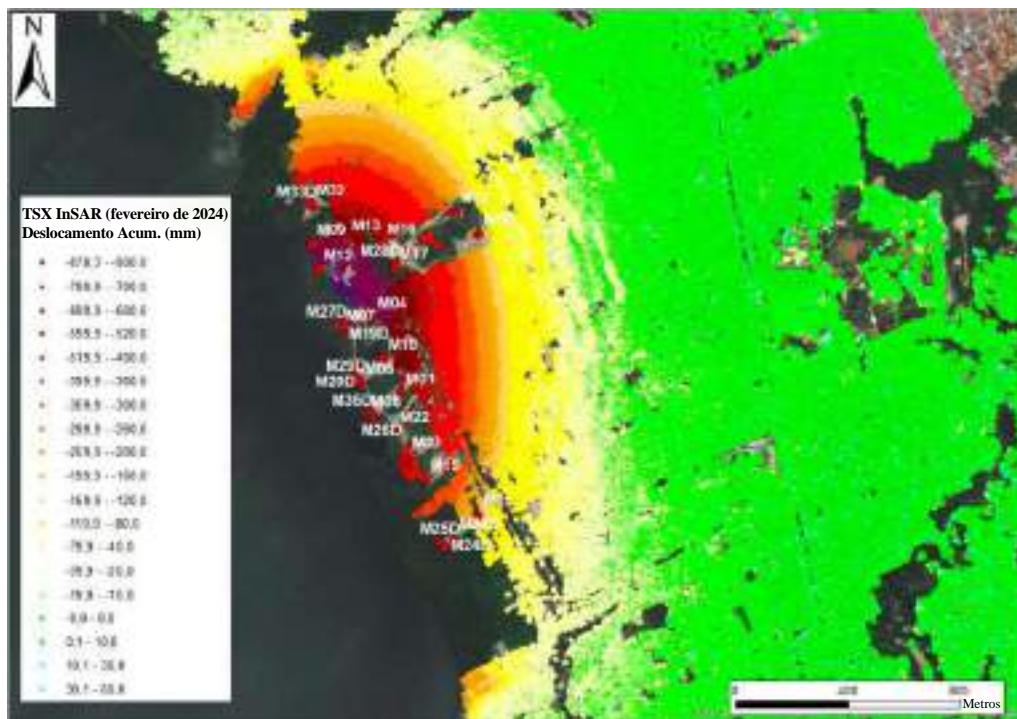


Figura 1: Mapa de deslocamento acumulado com base nos dados ascendentes do InSAR sobre a área de interesse no período de junho de 2019 – fevereiro de 2024.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 003

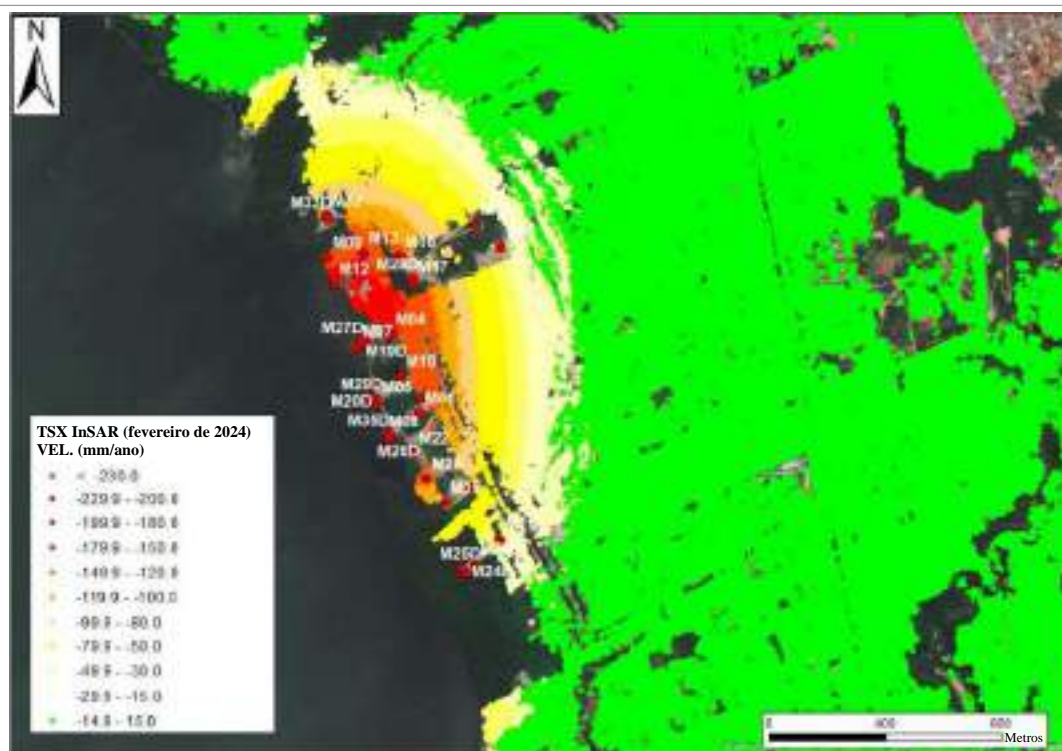


Figura 2: Mapa de velocidade com base nos dados ascendentes do InSAR sobre a área de interesse no período de junho de 2019 - fevereiro de 2024.

Em comparação com as atualizações mais recentes (até abril de 2022), no conjunto de dados Leste-Oeste começando em maio de 2022, a redução das velocidades na parte central da área com deformação máxima (pixels em vermelho na Figura 4) é menos evidente.

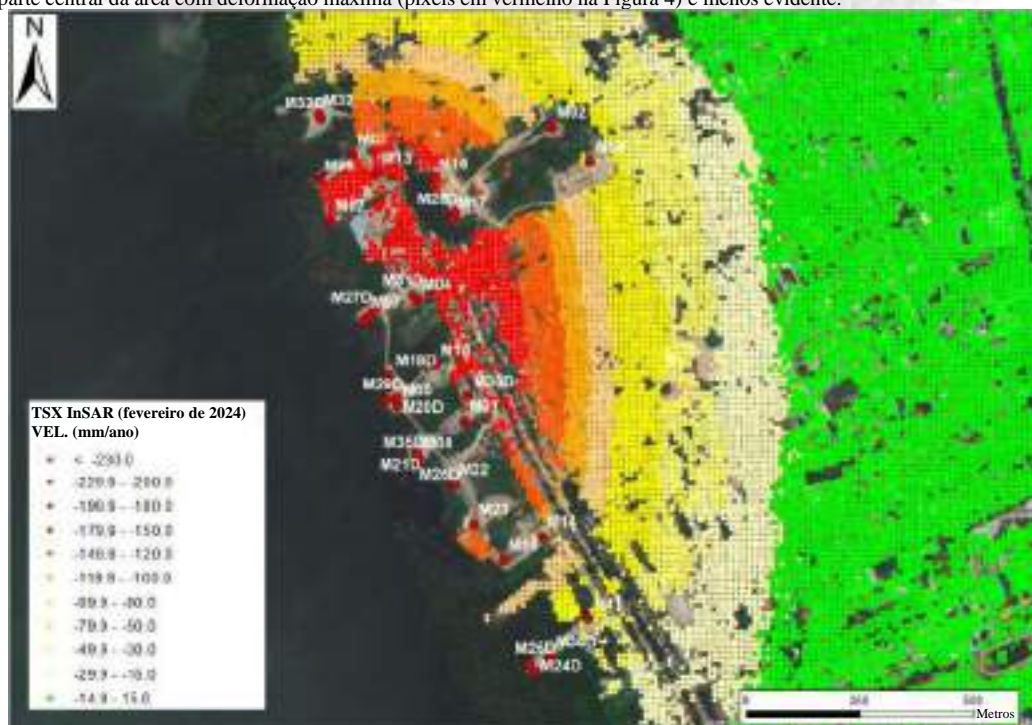


Figura 3: Mapa de velocidade vertical com base nos dados do InSAR sobre a área de interesse no período de junho de 2019 - fevereiro de 2024.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 004

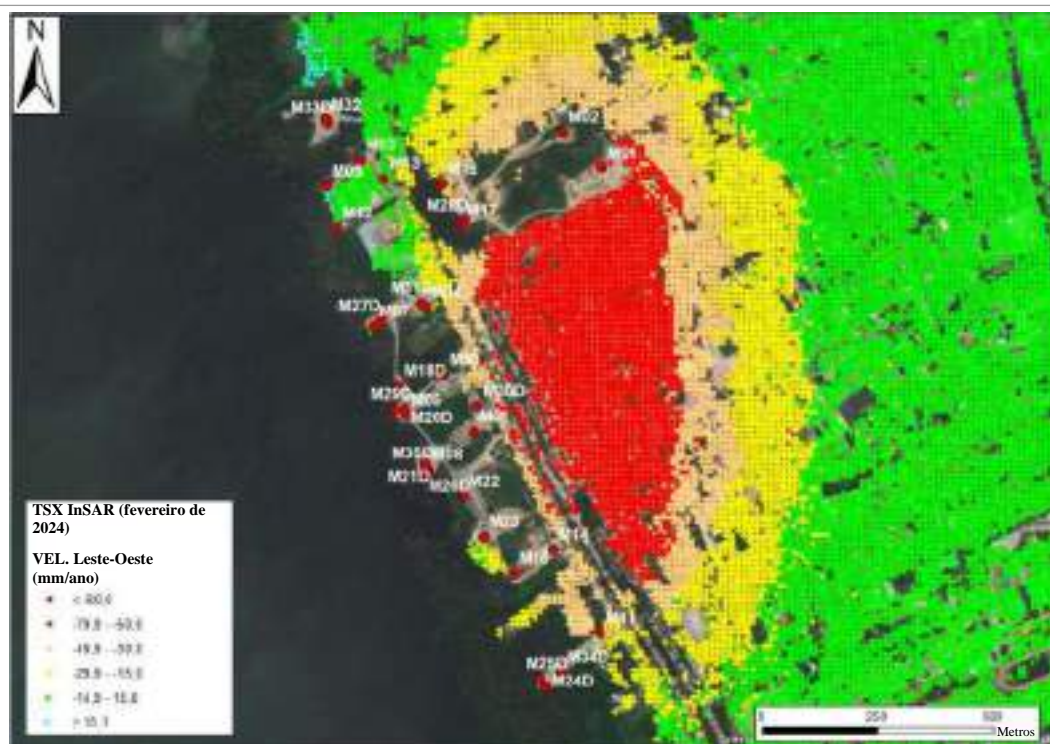


Figura 4: Mapa de velocidade Leste-Oeste com base nos dados do InSAR sobre a área de interesse no período de junho de 2019 – fevereiro de 2024.

2.1 Análises do Buffer

Evolução temporal das deformações: para identificar alterações nas taxas de deformação medidas na área de interesse, foi analisada a velocidade anual, calculada para as componentes Leste-Oeste e vertical no período entre fevereiro de 2023 e fevereiro de 2024. Além do mapa com a velocidade média anual no período analisado, é descrita a velocidade média medida em N. 27 áreas localizadas em diferentes setores da área de interesse, incluindo a área de poços e os bairros residenciais (Figura 5). Um buffer com 50 m de raio foi criado e foi tirada a média dos pontos do InSAR localizados dentro do buffer, para fornecer dados de velocidade representativos de cada área. A partir do relatório de junho de 2023, a avaliação da velocidade média anual é calculada por meio de uma abordagem diferente (regressão linear de todas as medições do último ano). Essa alteração é necessária para reduzir os efeitos induzidos pela presença de possíveis distorções atmosféricas durante o processamento das imagens de radar ou pela ausência de imagem. Ambos os fatos podem produzir ruídos que afetam o cálculo da velocidade média anual usando a simples diferença entre o deslocamento medido no início e no final de um ano.

Os valores de dezembro de 2023 foram recalculados usando os dados de janeiro de 2024, pois os dados da atualização anterior incluíam apenas os primeiros 13 dias de dezembro de 2023. A falta de dados para a segunda metade de dezembro ocorreu devido à entrega antecipada dos dados de dezembro após o evento que ocorreu entre novembro e dezembro de 2023.

Nas Figuras 6 e 7, a localização dos buffers está sobreposta no mapa da velocidade média medida ao longo das componentes vertical e Leste-Oeste anuais, respectivamente.

Os dados verticais decompostos do InSAR mostram que as maiores velocidades anuais estão localizadas na área delimitada ao Norte pelo poço M32, ao Leste pelo poço M17 e ao Sul pelo M25, onde as velocidades alcançaram valores de até 236,7 mm/ano no período entre fevereiro de 2023 e fevereiro de 2024 (218,8 mm/ano no período entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024), dentro do buffer n.º 4. As velocidades diminuem de forma gradual, movendo-se radialmente dessa área em direção ao Norte, ao Sul e ao Leste, seguindo um padrão semielíptico.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 005



Figura 5: Localização dos buffers do InSAR no mapa de Proteção Civil.

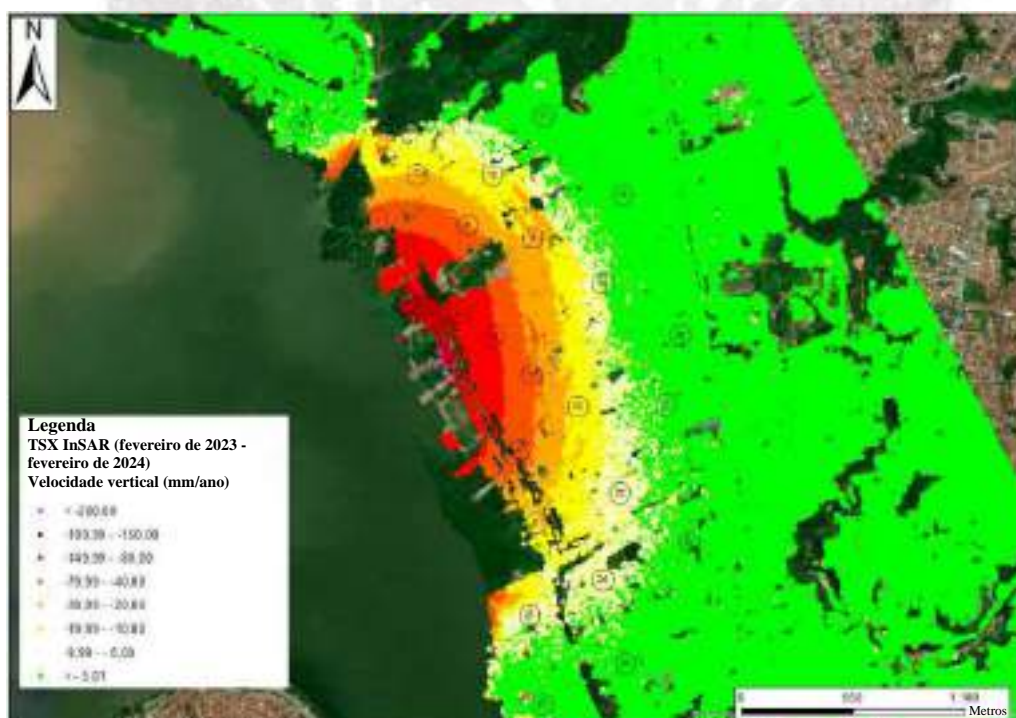


Figura 6: Mapa de velocidade vertical anual com base nos dados do InSAR no período de fevereiro de 2023 - fevereiro de 2024, e localização dos buffers.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 006

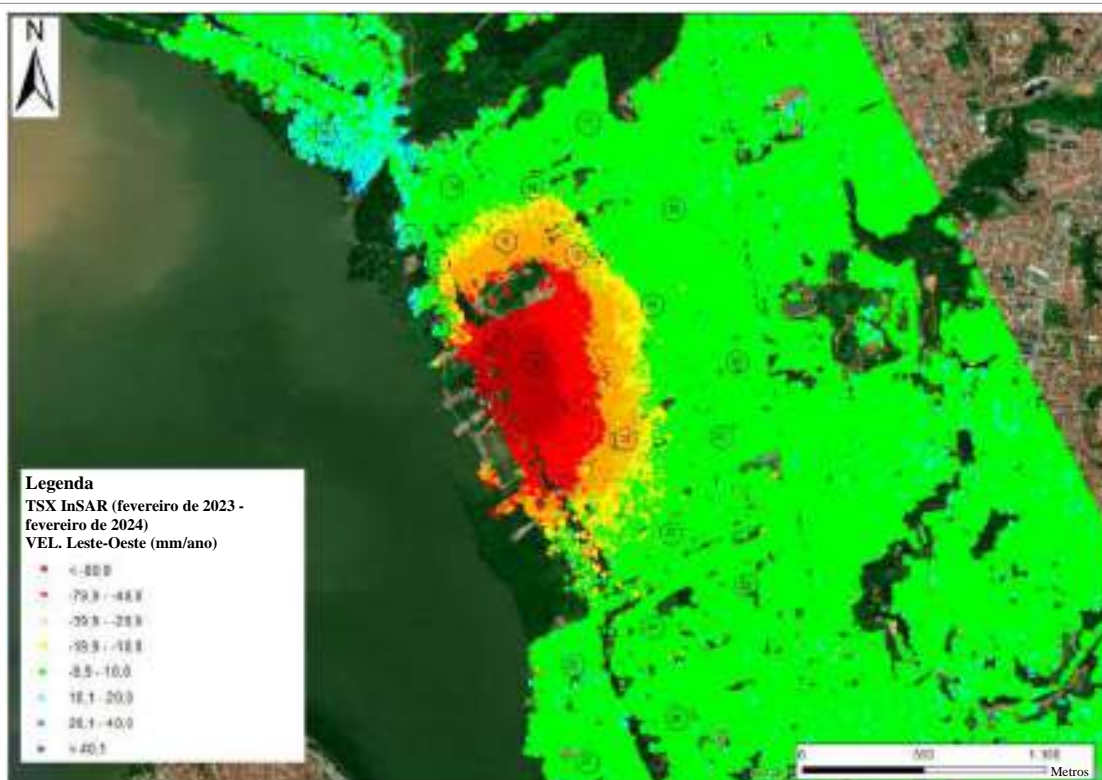


Figura 7: Mapa de velocidade Leste-Oeste anual com base nos dados do InSAR no período de fevereiro de 2023 - fevereiro de 2024, e localização dos buffers.

A componente Leste-Oeste do conjunto de dados do InSAR, coletados até fevereiro de 2024, mostra uma área alongada na direção Norte-Sul, centralizada no bairro Pinheiro, com cerca de 800 m de largura (na direção Leste-Oeste) e 1.500 m de comprimento (na direção Norte-Sul), com movimentos horizontais intensos em direção ao Oeste, e com valores máximos de cerca de 197,3 mm/ano em direção ao Oeste (175,4 mm/ano entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024), 20 m a Leste do buffer n.º 4. No setor Norte da área dos poços, os movimentos em direção ao Leste foram medidos da costa da lagoa em direção ao bairro, com valor máximo de 47 mm/ano, 150 m a Nordeste do buffer n.º 3 (39,1 mm/ano entre janeiro de 2023 e janeiro de 2024).

As Tabelas 1 e 2 apresentam a velocidade anual dentro dos buffers, calculada mensalmente, usando a abordagem de regressão linear, com início em fevereiro de 2023 até fevereiro de 2024 para as componentes vertical e Leste-Oeste dos dados do InSAR, respectivamente. A partir do relatório de julho de 2022, os valores da velocidade dos buffers foram revisados nos últimos meses com base nos dados da nova linha de base do InSAR.

Os valores de velocidade média anual relativos ao período de maio a setembro de 2023 sofreram recalibração devido a um pequeno desalinhamento no georreferenciamento dos pontos de medição do InSAR entre abril de 2023 e as entregas subsequentes. Os dados recalibrados foram usados para recalcular as velocidades médias de maio a setembro de 2023, resultando em um impacto mínimo sobre a análise do buffer.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBAHOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 007

ID do Buffer	Velocidade vertical (mm/ano)												
	Fev-23	Mar-23	Abr-23	Mai-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Set-23	Out-23	Nov-23	Dez-23	Jan-24	Fev-24
1	-65	-62	-62	-62	-63	-62	-60	-60	-59	-56	-56	-55	-56
2	-107	-104	-103	-102	-104	-102	-99	-98	-97	-94	-96	-97	-97
3	-164	-161	-160	-160	-163	-159	-157	-156	-153	-149	-161	-166	-170
4	-164	-162	-161	-160	-161	-154	-153	-150	-148	-137	-179	-199	-212
5	-53	-51	-51	-50	-52	-49	-48	-47	-48	-45	-48	-49	-51
6	-20	-18	-20	-20	-21	-20	-20	-20	-19	-16	-16	-17	-18
7	-32	-29	-30	-30	-32	-30	-30	-28	-27	-24	-23	-22	-22
8	-58	-55	-55	-54	-56	-54	-53	-51	-49	-46	-45	-44	-43
9	-147	-144	-143	-143	-145	-141	-139	-136	-134	-129	-138	-141	-143
10	-88	-94	-92	-92	-93	-90	-88	-85	-84	-80	-85	-87	-88
11	-52	-51	-50	-50	-52	-50	-48	-46	-44	-40	-43	-44	-47
12	-20	-19	-18	-18	-19	-18	-19	-18	-17	-16	-15	-16	-17
13	-31	-29	-29	-29	-30	-29	-29	-28	-26	-24	-24	-25	-25
14	-30	-8	-8	-9	-10	-10	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-6
15	-5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	-1
16	-7	-6	-6	-7	-7	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-1	-2
17	-4	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-5	-3	-2	-1	-1
18	-20	-18	-19	-19	-20	-19	-18	-17	-16	-13	-11	-11	-11
19	-5	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-4	-4	-2	-1	-1	-1
20	-5	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-3	-1	-1	-1
21	-7	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-6	-5	-4	-3	-3	-4
22	-11	-9	-9	-10	-10	-10	-10	-11	-10	-9	-9	-8	-8
23	-6	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-3	-3
24	-30	-8	-9	-9	-9	-9	-10	-10	-10	-9	-8	-8	-8
25	-12	-10	-11	-11	-12	-12	-12	-11	-10	-8	-6	-6	-7
26	-6	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-4	-2	-1	-2
27	-5	-3	-3	-3	-5	-5	-6	-6	-6	-4	-3	-3	-3

Tabela 1: Resumo das velocidades verticais médias anuais para cada buffer, calculadas de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024.
Valores negativos: movimento descendente, valores positivos: movimento ascendente.

ID do Buffer	Velocidade Leste-Oeste (mm/ano)												
	Fev-23	Mar-23	Abr-23	Mai-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Set-23	Out-23	Nov-23	Dez-23	Jan-24	Fev-24
1	10	5	5	6	5	7	9	9	8	10	10	10	10
2	-7	-11	-12	-10	-13	-9	-7	-6	-7	-3	-5	-6	-7
3	-4	-5	-6	-3	-8	-4	-7	-8	-8	-3	-4	-3	0
4	-28	-31	-30	-26	-27	-18	-24	-22	-23	-5	-102	-141	-160
5	-48	-49	-48	-46	-47	-43	-40	-40	-36	-32	-42	-47	-46
6	-13	-16	-16	-15	-15	-13	-12	-12	-10	-8	-9	-10	-9
7	0	-3	-4	-3	-5	-1	-1	-1	0	4	4	4	4
8	-28	-30	-30	-29	-31	-27	-26	-25	-24	-20	-23	-25	-27
9	-54	-56	-57	-55	-57	-52	-50	-49	-47	-41	-72	-84	-80
10	-62	-64	-63	-61	-64	-60	-58	-56	-55	-50	-81	-93	-99
11	-50	-52	-51	-51	-53	-49	-46	-44	-43	-38	-56	-65	-68
12	-20	-22	-23	-21	-21	-19	-18	-17	-17	-14	-20	-23	-24
13	-28	-31	-31	-30	-32	-28	-26	-25	-23	-19	-22	-24	-25
14	8	-11	-10	-9	-10	-9	-8	-7	-7	-5	-7	-8	-9
15	4	2	3	3	2	3	2	2	3	5	5	5	6
16	6	3	4	3	2	2	3	4	5	8	8	8	9
17	-1	-5	-5	-5	-6	-5	-4	-2	-2	1	1	1	2
18	-13	-17	-16	-15	-16	-13	-12	-11	-10	-6	-6	-3	-6
19	0	-4	-5	-6	-6	-5	-4	-3	-1	1	3	3	4
20	-3	-6	-5	-4	-5	-5	-4	-3	-2	0	2	0	0
21	-5	-8	-7	-8	-8	-8	-6	-5	-4	-1	-3	-5	-4
22	-10	-13	-13	-13	-13	-12	-11	-11	-9	-6	-7	-7	-7
23	-5	-8	-7	-8	-7	-7	-6	-5	-4	-3	1	1	1
24	-6	-8	-8	-9	-10	-11	-10	-8	-7	-4	-2	-2	-2
25	5	7	7	6	7	7	6	5	4	0	3	2	3
26	-3	-5	-4	-5	-6	-6	-5	-3	-3	-2	0	0	1
27	-2	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-1	2	2	3

Tabela 2: Resumo das velocidades Leste-Oeste médias anuais para cada buffer, calculadas de fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024.
Valores negativos: movimento em direção a Oeste, valores positivos: movimento em direção ao Leste.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 008

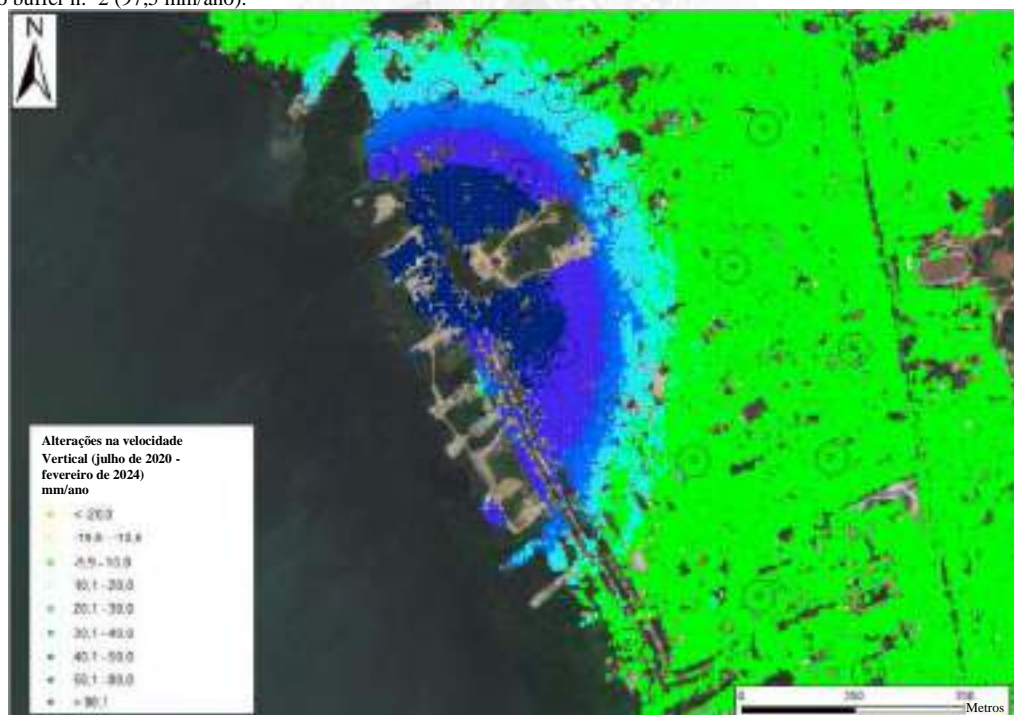
A partir das tabelas, é possível monitorar a evolução temporal das velocidades nos últimos 12 meses.

Utilizando a regressão linear para calcular a velocidade média, tanto para a componente vertical quanto para a Leste-Oeste, é possível observar uma ausência de desaceleração geral nos dados de março de 2023 e de aceleração geral medida por meio dos dados de abril de 2023. Conforme sugerido nos relatórios de março e abril, essas alterações nas tendências de movimento estavam provavelmente relacionadas a um aumento do ruído, o qual foi reduzido usando o método de interpolação linear.

Ao compararmos as duas últimas atualizações na direção vertical, a maioria dos buffers apresentam velocidades similares em relação às medidas na atualização anterior. Nenhuma aceleração ou desaceleração superior a 5 mm/ano foi medida, exceto pelo buffer n.º 4, que apresenta aumento de 13 mm/ano. Ao longo da componente Leste-Oeste, e comparando as duas últimas atualizações, todos os buffers apresentam velocidades semelhantes em relação àquelas medidas na atualização anterior. Nenhuma aceleração ou desaceleração superior a 5 mm/ano foi medida, exceto pelos buffers n.º 4 (+19 mm/ano), n.º 9 e 10 (+6 mm/ano).

Nas Figuras 8 e 9, são apresentadas as alterações das velocidades obtidas como a diferença da velocidade anual calculada em julho de 2019-2020 e em fevereiro de 2023-2024 para as componentes vertical e Leste-Oeste.

Vale destacar que, ao longo da componente vertical, a desaceleração mais significativa pode ser observada entre o buffer n.º 2 e buffer n.º 3. O centro das elipses é caracterizado por uma diminuição da desaceleração. O valor máximo de desaceleração no período de julho de 2020 - fevereiro de 2024 é de 119 mm/ano, 150 metros ao Sudeste do buffer n.º 2 (em comparação com 121,4 mm/ano na atualização anterior). A maior desaceleração na direção vertical foi medida dentro do buffer n.º 2 (97,5 mm/ano).





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

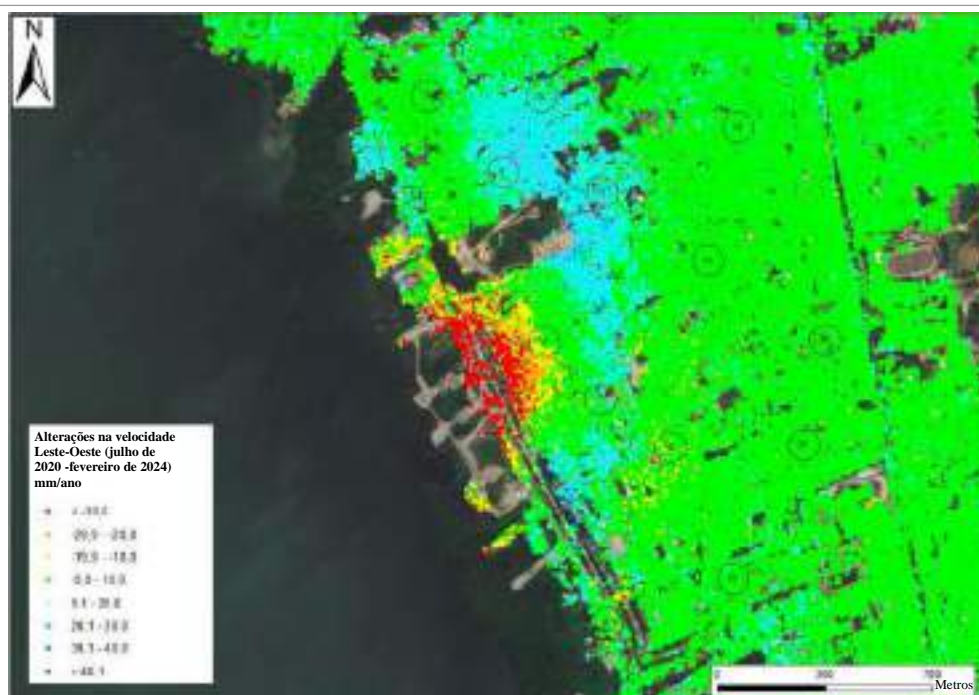
Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 009





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0010



Figura 10 - Localização das estações de monitoramento do D-GPS.

Referente às componentes verticais do vetor de deslocamento, é visível um padrão espacial de deformações do solo similar ao medido pelo InSAR (Figura 11) com valores máximos de deformação localizados ao longo da parte central da costa da lagoa. A análise das componentes horizontais combinadas confirma a presença de um ponto focal localizado entre os poços (M09, M16, M17, M04 e M07), conforme observado na Figura 11.

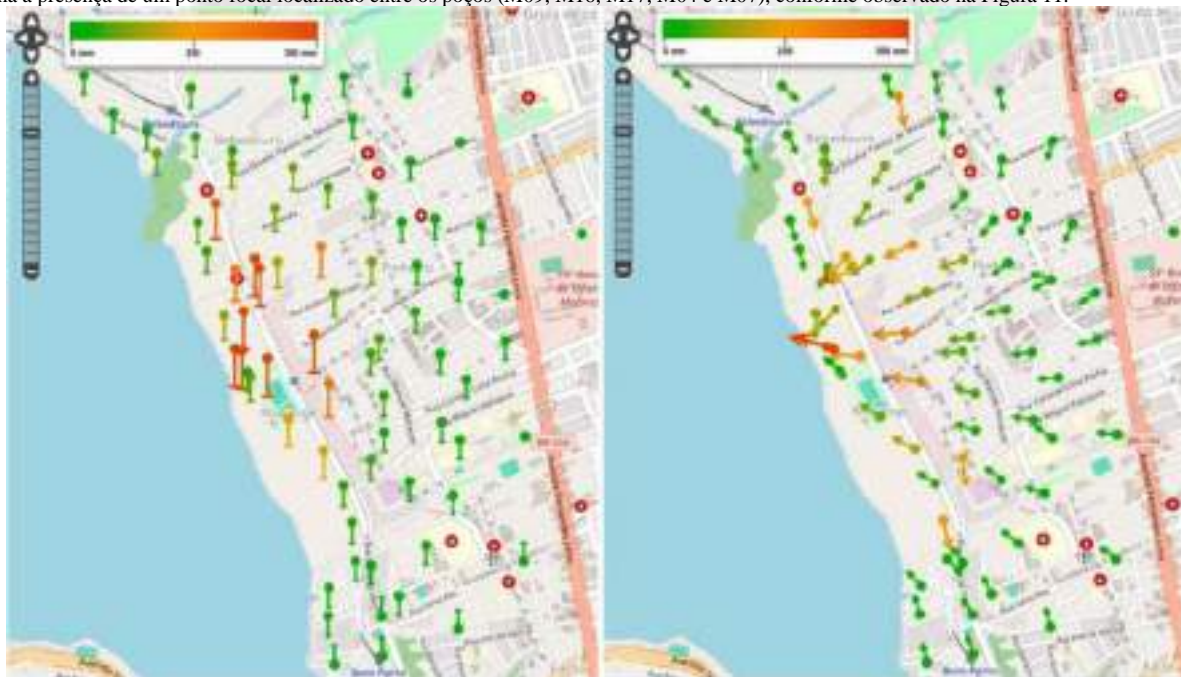


Figura 11 - Mapa mostrando as componentes vertical (à esquerda) e horizontal (Norte e Leste) das estações D-GPS medidas a partir do projeto de 12 horas.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0011

Data de instalação	Estações D-GPS
05/07/2019	M06, M07, M08, M16, M19, M22, M25, DG-01, DG-05
06/07/2019	M04, M11
03/10/2019	M17
29/07/2019	DG-03, DG-04, DG-08
28/09/2019	DG-02
03/10/2019	DG-07
05/11/2020	DG-09, DG-10, DG-11, DG-12, DG-13, DG-14, DG-15, DG-16
09/03/2021	DG-17
17/06/2021	DG-21, DG-22
17/06/2021	DG-18
19/11/2021	DG-19, DG-20, DG-23, DG-28
30/11/2021	DG-25, DG-26
02/12/2021	DG-27, DG-29, DG-32, DG-34, DG-35, DG-38
06/12/2021	DG-36
28/03/2022	DG-06
21/05/2022	DG-24, DG-30, DG-31, DG-33, DG-37, DG-39, DG-40, DG-41, DG-42, DG-43
31/05/2022	DG-44, DG-45, DG-46, DG-48
08/06/2022	DG-47, DG-49
02/07/2022	DG-51, DG-52, DG-53, DG-54
11/07/2022	DG-50
09/08/2022	DG-55, DG-56, DG-57
13/03/2023	DG-58, DG-59, DG-60, DG-61, DG-62
19/12/2023	RB01
22/12/2023	RB02

Tabela 3 - Lista das estações D-GPS instaladas em Maceió e respectivas datas de instalação.

No dia 10 de dezembro, a estação Mina 20 submergiu na lagoa, cessando a aquisição de dados. Posteriormente, em 12 de dezembro, a estação foi substituída por uma nova denominada RB01 e uma segunda estação (RB02) foi instalada em 22 de dezembro.

As séries temporais do D-GPS ao longo das três componentes foram analisadas e então comparadas com aquelas dos dados do InSAR para o mês de fevereiro de 2024 (vide Seção 4). Nesta seção, a análise de tendências do D-GPS foi realizada também incluindo dados até o final de março de 2024.

De modo geral, todas as estações do D-GPS apresentam comportamento plano, regressivo ou linear ao longo da componente vertical. Mais detalhadamente, as estações DG-09, DG-26 e DG-33 passaram de lineares para regressivas, indicando uma desaceleração. A estação DG-25 passou de plana para linear após uma ligeira aceleração.

Ao longo da componente Leste-Oeste, as estações DG-01, DG-35, DG-36 e DG-44 mudaram seu status de regressivas para planas ou lineares, destacando uma ligeira aceleração após uma curta fase regressiva. Uma desaceleração foi observada para as estações DG-05, DG-11, DG-26, DG-29 e DG-40, M01, M04, M17 e M35, que passaram de lineares para regressivas.

3.1 Análise da velocidade média anual

A análise da velocidade média anual medida ao longo das três componentes foi realizada até março de 2024.

Nas Tabelas 4, 5 e 6, são apresentadas as velocidades anuais do D-GPS, calculadas mensalmente no último ano para as componentes vertical, Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente.

Da Tabela 4, é possível notar como as velocidades ao longo da componente vertical em março de 2024, para todas as estações D-GPS, mostram valores semelhantes aos do mês anterior, exceto para a estação M32, que mostrou uma diminuição de 7 mm/ano.

Considerando a componente Leste-Oeste (Tabela 5), ao comparar as duas últimas atualizações, todas as estações D-GPS mostram valores em acordo com os do mês anterior.

No que diz respeito à direção Norte-Sul (Tabela 6), a comparação da velocidade medida em março de 2024 não mostra mudanças evidentes em relação à atualização anterior, exceto para a estação DG-55 que passou de 1 mm/ano na direção Norte para 5 mm/ano na direção Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0012

	Velocidade vertical (mm/ano)												
D-GPS	Mar-23	Abr-23	Mai-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Sep-23	Out-23	Nov-23	Dez-23	Jan-24	Feb-24	Mar-24
DG01	-18	-12	-28	-28	-22	-20	-28	-22	-28	-18	-8	-8	-12
DG02	-105	-102	-106	-108	-97	-90	-88	-88	-85	-85	-97	-95	-84
DG03	-20	-25	-20	-22	-19	-17	-17	-20	-14	-17	-18	-19	-19
DG04	-73	-69	-71	-76	-71	-68	-68	-64	-61	-69	-70	-70	-69
DG05	-5	-7	-9	-12	-10	-10	-11	-11	-8	-11	-12	-13	-12
DG06	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-6
DG07	-94	-80	-80	-81	-89	-70	-77	-75	-76	-77	-75	-75	-73
DG08	-7	-4	-7	-11	-8	-8	-7	-6	-6	-7	-7	-8	-7
DG09	-19	-19	-22	-26	-21	-21	-21	-14	-19	-22	-21	-20	-22
DG10	-14	-12	-16	-21	-16	-15	-10	-11	-15	-16	-15	-17	-14
DG11	-7	-2	-7	-10	-8	-11	-8	-5	-6	-7	-8	-4	-8
DG12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DG13	-22	-19	-16	-15	-17	-16	-12	-12	-11	-11	-10	-10	-10
DG14	-32	-31	-20	-32	-32	-28	-31	-32	-30	-31	-30	-30	-31
DG15	-10	-9	-5	-4	-5	-3	-4	-5	-5	-5	-4	-4	-5
DG16	-5	-5	-2	-1	-1	-1	-2	-4	-3	-3	-1	-1	-2
DG17	-3	-2	-8	-9	-3	-1	-3	-4	-4	-6	-1	-1	-3
DG18	-3	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-2
DG19	-117	-114	-117	-118	-112	-108	-107	-104	-104	-108	-109	-105	-101
DG20	-20	-19	-22	-27	-24	-22	-22	-21	-22	-22	-22	-25	-22
DG21	-3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DG22	-4	-1	-4	-10	-7	-10	-8	-6	-6	-6	-6	-5	-2
DG23	-151	-148	-148	-149	-146	-145	-144	-145	-147	-154	-154	-154	-153
DG24	-	-	-	-14	-24	-11	-11	-23	-23	-22	-21	-22	-23
DG25	-4	-3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DG26	-10	-9	-10	-12	-10	-9	-6	-7	-7	-9	-10	-10	-10
DG27	-25	-25	-28	-32	-29	-27	-26	-24	-22	-28	-30	-31	-29
DG28	-8	-3	-3	-9	-7	-7	-6	-4	-4	-8	-6	-8	-6
DG29	-20	-15	-16	-22	-20	-20	-19	-17	-16	-19	-20	-20	-20
DG30	-	-	-	-58	-54	-52	-50	-50	-48	-51	-53	-52	-51
DG31	-	-	-	-21	-19	-19	-18	-16	-16	-19	-18	-21	-18
DG32	-8	-6	-10	-15	-12	-15	-12	-8	-12	-12	-11	-12	-10
DG33	-	-	-	-18	-28	-26	-25	-23	-24	-26	-27	-25	-28
DG34	-6	-7	-7	-6	-7	-7	-6	-6	-5	-5	-5	-6	-6
DG35	-5	-4	-8	-10	-7	-7	-5	-4	-5	-6	-5	-7	-6
DG36	-6	-6	-7	-11	-6	-11	-6	-6	-7	-6	-6	-4	-6
DG37	-	-	-	-9	-7	-10	-7	-4	-5	-8	-4	-7	-8
DG38	-18	-17	-16	-16	-15	-13	-13	-10	-15	-15	-13	-12	-15
DG39	-	-	-	-6	-6	-4	-6	-6	-6	-7	-5	-6	-7
DG40	-	-	-	-18	-15	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-10	-11
DG41	-	-	-	-13	-9	-11	-8	-6	-6	-10	-10	-12	-9
DG42	-	-	-	-14	-11	-13	-10	-8	-10	-10	-9	-11	-8
DG43	-	-	-	-15	-12	-13	-11	-9	-9	-11	-11	-12	-11
DG44	-	-	-	-8	-7	-8	-8	-8	-4	-8	-8	-7	-8
DG45	-	-	-	-10	-7	-9	-7	-5	-6	-7	-7	-4	-7
DG46	-	-	-	-22	-23	-20	-20	-20	-20	-20	-28	-22	-23
DG47	-	-	-	-	-113	-111	-110	-109	-109	-114	-114	-116	-115
DG48	-	-	-	-36	-34	-32	-31	-30	-29	-25	-30	-27	-27
DG49	-	-	-	-	-12	-14	-13	-11	-13	-12	-12	-12	-11
DG50	-	-	-	-	-	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DG51	-	-	-	-	-	-4	-2	-1	-2	-2	-1	-4	-2
DG52	-	-	-	-	-	-4	-2	-2	-2	-4	-1	-2	-2
DG53	-	-	-	-	-	-4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DG54	-	-	-	-	-	-3	-4	-1	-3	-2	-1	-1	-1
DG55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DG62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M01	-155	-151	-156	-155	-146	-142	-144	-141	-151	-204	-206	-204	-203
M04	-163	-157	-161	-161	-155	-151	-151	-150	-155	-191	-193	-194	-196
M06	-47	-47	-47	-51	-45	-44	-46	-47	-44	-49	-48	-45	-45
M07	-170	-167	-169	-171	-161	-161	-164	-164	-164	-242	-248	-250	-268
M09	-133	-130	-131	-133	-131	-131	-132	-134	-135	-139	-140	-135	-130
M11	-48	-45	-50	-53	-47	-46	-46	-45	-45	-47	-47	-40	-44
M18	-138	-132	-134	-133	-132	-129	-130	-130	-130	-138	-136	-137	-137
M17	-142	-139	-136	-138	-138	-136	-135	-132	-136	-144	-145	-147	-144
M29	-175	-172	-177	-179	-175	-181	-185	-185	-180	-	-	-	-
M32	-80	-80	-81	-86	-81	-105	-106	-105	-106	-108	-112	-115	-108
M35	-170	-163	-167	-179	-197	-206	-208	-208	-217	-250	-264	-264	-254

Tabela 4: Resumo das velocidades verticais médias anuais para cada D-GPS, calculadas de março de 2023 a março de 2024.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0013

	Velocidade Leste-Oeste (mm/ano)													
D-GPS	Mar-23	Abr-23	Mai-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Sep-23	Out-23	Nov-23	Dez-23	Jan-24	Feb-24	Mar-24	
D001	1	2	-8	-6	-7	-7	-5	-6	-7	3	3	-5	-4	
D002	-61	-60	-60	-58	-58	-58	-58	-58	-64	-109	-106	-109	-109	
D003	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-27	-25	-29	-29	
D004	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	
D005	-10	-8	-10	-11	-10	-8	-8	-8	-8	-15	-16	-16	-16	
D006	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
D007	24	23	23	23	23	23	23	23	9	28	22	21	23	
D008	-6	-6	-7	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-21	-13	-13	-18	
D009	-19	-20	-21	-21	-20	-18	-18	-18	-18	-21	-22	-21	-22	
D010	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	
D011	-4	-6	-6	-7	-7	-8	-7	-7	-7	-7	-6	-8	-8	
D012	-9	-8	-8	-7	-7	-7	-6	-6	-7	-6	-6	-6	-5	
D013	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	
D014	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
D015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D016	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
D017	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
D018	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
D019	-15	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	
D020	-13	-16	-16	-17	-15	-15	-15	-14	-14	-18	-18	-20	-20	
D021	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
D022	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
D023	-13	-14	-12	-12	-13	-15	-15	-15	-17	-23	-22	-25	-25	
D024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D025	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-1	0	-3	-3	
D026	-10	-10	-10	-10	-9	-10	-9	-8	-10	-13	-12	-13	-14	
D027	-26	-27	-26	-26	-22	-23	-23	-28	-28	-32	-32	-32	-32	
D028	-7	-8	-8	-9	-8	-7	-7	-6	-7	-12	-15	-13	-14	
D029	-21	-22	-23	-24	-23	-22	-22	-23	-27	-27	-29	-30	-30	
D030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D032	-1	-4	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-2	-4	-3	
D033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D034	-6	-7	-7	-7	-6	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-7	-7	
D035	-4	-4	-4	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-7	-6	-6	
D036	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-3	-6	-3	-3	-4	-3	
D037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D038	7	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	
D039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D056	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M01	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-44	-127	-148	-153	-154	
M04	-10	-11	-11	-11	-11	-14	-14	-15	-19	-57	-65	-69	-69	
M06	-48	-49	-49	-47	-46	-46	-45	-45	-47	-57	-59	-61	-60	
M07	2	2	3	2	-1	-3	-3	-6	-6	-6	-6	-7	-8	
M09	13	9	8	8	8	2	1	0	1	2	1	1	1	
M11	-31	-31	-30	-30	-29	-28	-28	-28	-29	-35	-37	-38	-38	
M16	-37	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-48	-46	-46	-46	
M17	-34	-32	-32	-32	-32	-35	-35	-35	-41	-52	-53	-56	-54	
M20	1	0	2	3	6	15	15	15	-18	-	-	-	-	
M32	14	13	15	3	3	3	3	0	3	3	3	1	2	
M35	6	-1	-2	22	19	17	14	13	8	-18	-25	-28	-29	

Tabela 5: Resumo das velocidades Leste-Oeste médias anuais para cada D-GPS, calculadas de março de 2023 a março de 2024. Valores negativos: movimento em direção a Oeste; Valores positivos: movimento em direção ao Leste.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0014

Velocidade Norte-Sul (mm/ano)														
D-GPS	Mar-23	Abr-23	Mai-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Sep-23	Out-23	Nov-23	Dez-23	Jan-24	Fev-24	Mar-24	
D001	8	-10	-17	-18	-20	-13	-17	-18	-13	4	-3	0	-8	
D002	31	-11	22	-14	24	-12	-11	10	-10	-15	30	-15	-16	
D003	-8	-8	-20	-12	-30	-9	-5	-8	-8	-11	33	-11	-19	
D004	3	2	3	2	1	1	0	8	1	8	9	10	10	
D005	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-4	-4	-5	-5	-7	
D006	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	
D007	57	55	55	55	49	40	47	45	44	47	50	48	51	
D008	0	0	1	1	0	0	0	-1	-1	2	2	2	1	
D009	17	16	19	19	19	17	15	15	12	15	14	13	13	
D010	18	10	20	21	19	19	17	15	13	16	16	14	14	
D011	7	7	8	8	5	5	5	3	3	8	6	8	7	
D012	4	6	5	2	5	4	4	5	5	4	1	2	-2	
D013	-27	-15	-28	-30	-28	-26	-23	-21	-20	-21	-21	-21	-24	
D014	-31	-30	-32	-34	-32	-31	-30	-28	-28	-28	-30	-28	-31	
D015	-6	-4	-8	-10	-9	-10	-9	-7	-6	-4	-6	-4	-5	
D016	-7	-5	-7	-9	-8	-8	-8	-6	-5	-4	-5	-3	-6	
D017	-6	-3	-5	-8	-6	-6	-6	-4	-4	-4	-5	-2	-5	
D018	-8	-3	-5	-8	-6	-7	-6	-4	-4	-3	-4	-2	-6	
D019	28	17	18	17	14	15	15	10	18	11	29	19	27	
D020	7	6	8	8	7	7	7	6	7	11	11	12	12	
D021	-5	-2	-4	-4	-5	-5	-4	-3	-2	-2	-4	-2	-6	
D022	5	4	6	6	5	5	6	4	3	5	6	4	8	
D023	-30	-18	-31	-31	-29	-26	-25	-23	-23	-18	-40	-18	-40	
D024	-	-	-	-29	-26	-26	-24	-21	-20	-19	-23	-22	-25	
D025	-4	-2	-5	-7	-6	-5	-6	-6	-2	-2	-2	0	-3	
D026	-3	-4	-8	-7	-7	-5	-6	-4	-4	-5	-7	-6	-8	
D027	-4	-5	-6	-4	-7	-6	-6	-4	-4	-4	-5	-4	-6	
D028	1	0	-1	0	-1	0	-1	-3	-4	-3	-3	-2	-2	
D029	3	3	2	2	1	3	3	4	7	12	13	13	13	
D030	-	-	-	-10	-10	-10	-10	-16	-17	-24	-20	-26	-27	
D031	-	-	-	5	2	3	3	1	3	7	6	7	6	
D032	6	7	7	8	5	7	5	5	6	10	10	9	8	
D033	-	-	-	-23	-23	-20	-22	-20	-18	-20	-23	-21	-23	
D034	-3	-3	-6	-7	-6	-5	-7	-8	-5	-6	-8	-7	-8	
D035	-1	-2	-1	0	-1	-1	-1	-1	-3	0	0	1	1	
D036	6	6	7	8	5	5	4	3	1	5	5	8	1	
D037	-	-	-	5	4	5	5	4	6	5	6	5	8	
D038	35	-14	-27	-19	-27	-17	-15	-14	-13	-13	-14	-11	-15	
D039	-	-	-	-17	-14	-14	-13	-10	-10	-9	-10	-8	-11	
D040	-	-	-	-20	-27	-27	-25	-24	-23	-23	-23	-21	-24	
D041	-	-	-	-7	-12	-9	-9	-8	-8	-3	-3	-3	-3	
D042	-	-	-	8	7	8	7	8	5	9	8	2	-3	
D043	-	-	-	6	4	4	2	3	3	0	7	6	-6	
D044	-	-	-	8	4	7	5	4	3	5	3	5	8	
D045	-	-	-	0	-2	-3	-4	-6	-6	-2	1	0	1	
D046	-	-	-	-40	-38	-36	-38	-35	-35	-18	-30	-30	-48	
D047	-	-	-	-	-31	-39	-41	-27	-28	-19	-42	-19	-43	
D048	-	-	-	3	-4	-2	-2	-3	-2	-2	-3	0	-1	
D049	-	-	-	-	7	9	9	8	7	13	13	10	9	
D050	-	-	-	-	-	0	0	1	2	0	-1	-2	-8	
D051	-	-	-	-	-	3	2	1	1	1	0	1	0	
D052	-	-	-	-	-	-3	-3	-4	0	0	-1	-1	-6	
D053	-	-	-	-	-	-5	-5	-2	-2	-2	-3	-2	-2	
D054	-	-	-	-	-	-2	-2	-4	-1	-2	-1	-3	-6	
D055	-	-	-	-	-	-	-4	-1	-1	1	-1	1	-5	
D056	-	-	-	-	-	-	0	5	5	4	4	8	5	
D057	-	-	-	-	-	-	1	1	0	1	-1	0	-2	
D058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4	-8	
D059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	
D060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4	-6	
D061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	8	
D062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-8	
M01	12	-10	-9	-11	-20	-8	-9	-8	-4	12	24	16	25	
M04	-17	-15	-27	-17	-18	-13	-10	-9	-16	-74	-62	-81	-88	
M06	-39	-18	-30	-30	-29	-23	-27	-25	-25	-31	-35	-33	-35	
M07	13	-13	-24	-14	-18	-6	-6	-5	-17	-300	-127	-127	-129	
M08	38	-27	-26	-40	-18	-40	-41	-36	-39	-45	-47	-45	-46	
M11	13	11	11	10	9	9	9	8	10	-17	17	17	16	
M16	38	-27	-40	-40	-39	-36	-33	-26	-30	-48	-61	-49	-58	
M17	-18	-13	-26	-26	-25	-25	-13	-11	-13	-46	-64	-47	-48	
M23	-6	-5	-5	-6	-3	-4	-7	12	23	-	-	-	-	
M25	-43	-43	-41	-38	-36	-34	-38	-26	-30	-35	-39	-37	-38	
M35	-11	-5	-1	-15	-12	-8	-7	-7	0	60	66	68	68	

Tabela 6: Resumo das velocidades Norte-Sul médias anuais para cada D-GPS, calculadas de março de 2023 a março de 2024. Valores negativos: movimento em direção ao Sul; valores positivos: movimento em direção ao Norte.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0015

3.2 Alertas do D-GPS

A partir de abril de 2023, quando os limiares foram alterados, foi registrada uma redução significativa tanto de avisos quanto de alertas (Figura 12). Em junho de 2023 foram emitidos apenas 2 avisos ao longo da componente dN LT. Em julho de 2023, observou-se um ligeiro aumento no número de avisos e alertas. Este aumento provavelmente estava relacionado às estações interessadas pelas operações de aterro ou pela inclusão da informação da placa tectônica Sul-americana ou a uma correção da coordenada de longitude. Foi detectado apenas 1 aviso e nenhum alerta em agosto de 2023 ao longo das três componentes. Em setembro de 2023, foram detectados 16 avisos, principalmente na componente dE LT. Em outubro de 2023, 17 avisos e 4 alarmes foram detectados na dE e dN LT. O mês de novembro de 2023 registrou um aumento tanto nos avisos (39) quanto nos alarmes (19), fato relacionado à aceleração registrada na zona central no final do mês. Em dezembro de 2023, foi observada uma nova diminuição tanto nos alertas (5) quanto nos avisos (16). O número de alertas é semelhante ao de janeiro de 2024 (6), enquanto o número de avisos diminuiu (5). Em fevereiro de 2024, foram emitidos 5 avisos e 5 alertas.

Em março de 2024, nenhum aviso ou alerta foi detectado.

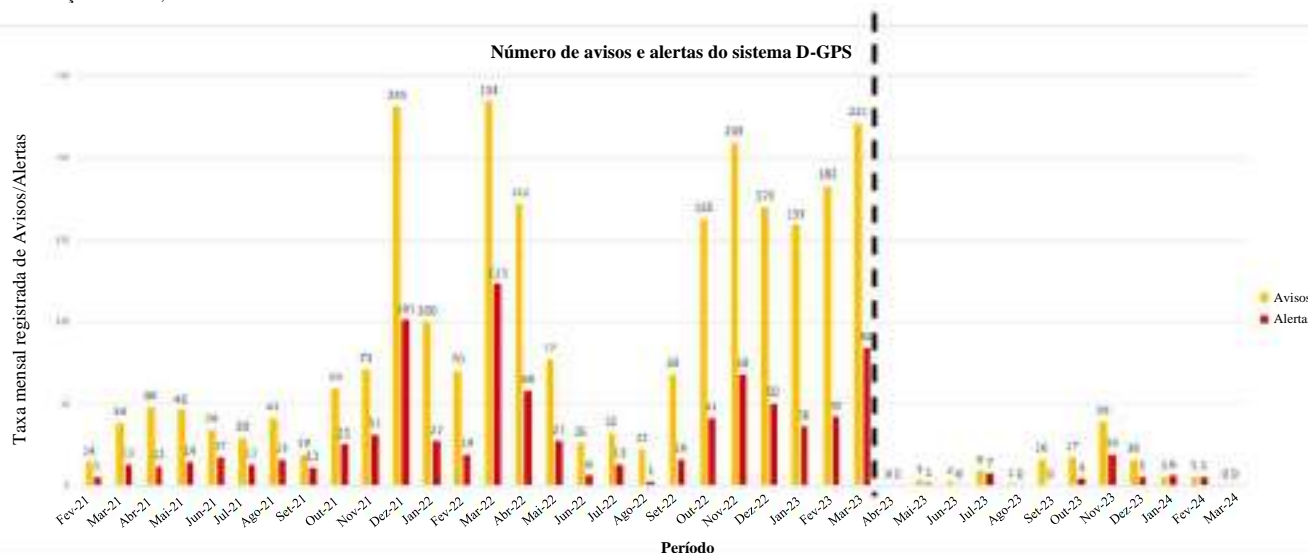


Figura 12 - Número de avisos e alertas gerados pelo sistema D-GPS. A linha tracejada preta indica quando os limites foram revisados.

De fevereiro de 2021 a março de 2023, as acelerações que dispararam um alerta foram seguidas por um movimento na direção oposta nos dados de 1h e RTK D-GPS, e retornando aos valores de deslocamento anteriores. Essas acelerações acionaram um Alerta no projeto de 1 hora e RTK. O deslocamento, seguido de movimentos na direção oposta (que implicam em uma deformação elástica e totalmente recuperável) são provavelmente o efeito de alguns artefatos (por exemplo, resíduos atmosféricos não compensados devidamente ou problemas nas estações de referência) e, portanto, não são considerados confiáveis. Investigações vêm sendo realizadas pela Braskem e suas consultorias para entender a instabilidade dos dados medidos pelas estações D-GPS nos últimos meses. Para evitar esse alto número de avisos e alertas falsos, a partir de abril de 2023, os limiares foram revisados.

Este aumento do número de alertas de outubro de 2021 a maio de 2022 esteve relacionado com um aumento geral do ruído nos dados D-GPS ao longo dos três componentes e em correspondência com todas as estações D-GPS. A partir de junho de 2022, a diminuição do ruído nas medições D-GPS resultou em uma evidente redução no número de alertas, que é semelhante ao detectado antes do aumento do ruído. Considerando a série temporal D-GPS o aumento dos alarmes desde setembro de 2022 parece estar relacionado com um novo aumento do ruído.

4 COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DO InSAR E DO D-GPS

É importante notar que a comparação entre dados do InSAR e do D-GPS neste relatório baseia-se nos dados adquiridos até fevereiro de 2024, já que o processamento dos dados do InSAR é atrasado em um mês em relação aos dados do D-GPS, que estão disponíveis até o final de março de 2024.

A comparação envolve avaliar o deslocamento ao longo do último mês, comparando dados do D-GPS de 12 horas com o deslocamento médio de todos os pontos InSAR dentro de um buffer de 50 metros de raio ao redor de cada estação do D-GPS.

Na Tabela 7, mostra-se a comparação entre dados do InSAR e do D-GPS na área dos poços, enquanto, na Tabela 8, mostra-se a comparação entre dados do InSAR e D-GPS nos bairros residenciais. Campos da tabela coloridos em verde representam concordância entre as diferentes tecnologias de monitoramento, enquanto campos coloridos em vermelho indicam falta de concordância (uma diferença de mais de 5 mm).

Ao comparar os dados do D-GPS com os dados do InSAR, onde estão disponíveis, é possível notar que a concordância entre os dois conjuntos de dados é boa. De fato, há concordância em 6 de 10 casos na componente vertical. Na componente Leste-Oeste, a concordância é melhor, ocorrendo 8 vezes em 10. Na área urbana, os pontos do D-GPS mostram uma boa concordância com os dados do InSAR na direção vertical (Tabela 8). De fato, a concordância ocorre 31 vezes em 59 casos. Em caso de discrepância, as medidas do D-GPS apresentam valores mais altos em relação ao InSAR. A concordância é perfeita na componente Leste-Oeste (58 vezes em 59).



ID: 5891497

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0016

26/01/2024 - 20/02/2024	InSAR (mm)		D-GPS (mm)	
	Vert	LO	Δ DE	Δ DH
Mina01	7	40	30	8
Mina02	8	0	-	-
Mina03	14	2L	-	-
Mina04	7	2L	100	7
Mina05	5	40	10	1
Mina07	10	2L	20	8
Mina09	13	2L	1L	8
Mina10	3	9L	-	-
Mina11	8	20	10	8
Mina12	14	6L	-	-
Mina13	5	20	-	-
Mina14	8	80	-	-
Mina15	8	140	-	-
Mina16	11	10	10	7
Mina17-28	10	0	20	8
Mina30	3	30	-	-
Mina310	7	2L	-	-
Mina32-33	-	-	1L	7
Mina38-39	-	-	1L	4
DG-19	-	-	10	2
DG-23	14	40	10	8
DG-47	12	70	20	7

Tabela 7: tabela mostrando dados do InSAR e D-GPS acima dos poços de mina na área dos poços.

A comparação na direção N não é possível, pois os dados do InSAR não conseguem detectar deformação nesta direção (porque a linha de visão do satélite é quase paralela à direção Norte-Sul).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0017

26/01/2024 - 20/02/2024	InSAR (mm)		D-GPS (mm)	
	Vert	LO	Δ dE	Δ dH
DG-01	3	30	30	9
DG-02	6	50	40	2
DG-03	4	30	10	1
DG-04	8	30	20	8
DG-05	4	10	0	-1
DG-06	3	20	11	0
DG-07	8	10	21	4
DG-08	4	20	10	-3
DG-09	6	40	10	-2
DG-10	6	30	0	-16
DG-11	3	20	11	-30
DG-12	3	11	10	4
DG-13	3	10	11	1
DG-14	5	0	21	4
DG-15	3	20	11	8
DG-16	3	11	21	7
DG-17	3	11	21	6
DG-18	3	0	41	8
DG-20	6	30	20	-3
DG-21	3	0	31	0
DG-22	3	10	0	-17
DG-24	5	11	0	5
DG-25	3	11	21	3
DG-26	3	10	0	1
DG-27	4	30	10	0
DG-28	6	0	0	-2
DG-29	6	20	10	-4
DG-30	5	50	40	2
DG-31	6	10	30	-1
DG-32	4	0	20	-5
DG-33	3	10	10	2
DG-34	4	20	10	1
DG-35	8	11	20	-3
DG-36	6	10	20	-5
DG-37	3	0	20	-10
DG-38	8	0	11	5
DG-39	4	0	21	7
DG-40	7	0	11	7
DG-41	8	10	10	-9
DG-42	4	10	10	-5
DG-43	3	10	10	8
DG-44	3	10	40	-4
DG-45	3	20	10	-8
DG-46	8	30	0	3
DG-48	6	10	20	-1
DG-49	3	10	30	-10
DG-50	3	20	11	3
DG-51	3	20	20	-9
DG-52	3	11	21	2
DG-54	3	0	20	-1
DG-55	3	10	31	-8
DG-56	3	0	30	-3
DG-57	3	10	20	1
DG-58	4	10	10	-2
DG-59	3	10	50	-8
DG-60	3	10	10	8
DG-61	4	10	11	-11
DG-62	3	0	0	0

Tabela 8: tabela mostrando os dados do InSAR e D-GPS acima do ponto de medição na área vizinha. O sinal de menos nas colunas Vert, para InSAR, e dH, para D-GPS, indica movimentos ascendentes.

Os pontos do D-GPS e InSAR localizados próximos à posição do D-GPS também foram analisados classificando o comportamento temporal de suas séries temporais. Os pontos de medição foram classificados como (i) Plano, quando a série temporal de deslocamento é estável por todo o período, (ii) Regressivo, quando a série temporal tende à estabilidade após um período inicial de movimento, (iii) Linear, quando a velocidade mostra uma tendência linear por todo o período e (iv) Progressivo, quando a série temporal mostra uma aceleração após um período de estabilidade ou um aumento significativo da velocidade no período mais recente. Tal classificação foi realizada tanto para a componente vertical (Figura 13) quanto para a componente Leste-Oeste (Figura 14) das estações do D-GPS e pontos do InSAR próximos às estações.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0018

A comparação entre as tendências das séries temporais do InSAR e D-GPS, classificadas como explicado anteriormente, mostra boa concordância entre os dois conjuntos de dados, tanto para a área dos poços quanto para as áreas urbanas. Os dados verticais do InSAR e D-GPS sugerem que as estações localizadas ao longo da costa são caracterizadas por um comportamento linear com velocidades constantes. Os dados verticais do D-GPS destacam uma estabilidade substancial de Bebedouro, Bom Parto e o setor Leste do bairro Mutange. Os dados do D-GPS sugerem que a área externa exibe comportamento plano. Não foi detectado comportamento progressivo ao longo da componente vertical tanto com dados do InSAR quanto do D-GPS. A concordância entre as tendências do InSAR e D-GPS é muito boa este mês, confirmando uma tendência geral linear na correspondência da área central, onde o InSAR mediu o deslocamento máximo.



Figura 13: Classificação do comportamento das séries temporais ao longo da componente vertical. À esquerda, dados do InSAR; à direita, dados do D-GPS.

A concordância entre InSAR e D-GPS também é boa considerando a componente Leste-Oeste. Não foi detectado comportamento progressivo em março de 2024 com ambos os dados do InSAR e D-GPS.

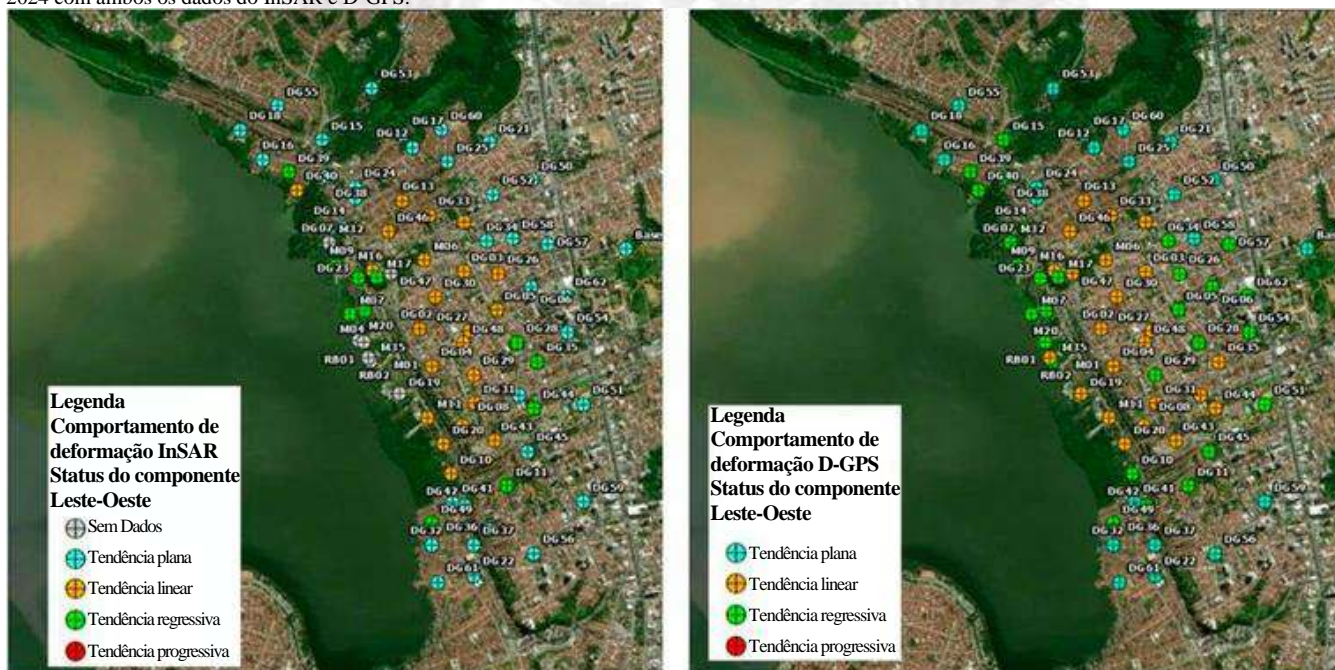


Figura 14: Classificação do comportamento das séries temporais ao longo da componente Leste-Oeste. À esquerda, dados do InSAR; à direita, dados do D-GPS.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0019

5 INCLINÔMETROS

Para monitorar os deslocamentos horizontais em profundidade, estão sendo utilizados inclinômetros *in-place*, ou seja, instrumentos permanentemente instalados em um tubo no solo, permitindo leituras automáticas. Ao todo, foram instalados quatro inclinômetros com 250 m de profundidade cada (Tabela 9, Figura 15).

O modelo utilizado (DMS 2D Rock, acoplado ao DMS 3D Plus, ambos fabricados pela CSG Geotechnical Monitoring) é provido de sensores biaxiais, que permitem medir o desvio angular em relação à vertical em duas direções, com faixa de leitura de $\pm 30^\circ$ e resolução de $0,001^\circ$, acelerômetro com faixa de leitura de ± 2 g, sensor de temperatura com faixa de leitura de $-50^\circ\text{C}/+130^\circ\text{C}$ e resolução de $0,1^\circ\text{C}$, transdutor de deslocamento linear com faixa de leitura de 100 mm e resolução de 0,01 mm e bússola digital.

Código	Coordenada SIRGAS 2000 (25S)		Data de instalação
	N	L	
IN-01	8934146,8	198659,7	27/04/2021
IN-02	8934120,3	198299,8	28/04/2021
IN-03	8933841,4	198233,4	29/04/2021
IN-04	893385,7	198387,6	08/05/2021

Tabela 9: Coordenadas de instalação dos inclinômetros.



Figura 15: Localização dos quatro inclinômetros.

Os dados medidos pelos inclinômetros são enviados automaticamente para o servidor da CSG por meio do software DMS® Ew e podem ser acessados via internet, com dados registrados e monitoramento transmitido a cada seis horas. Com base na estabilização das leituras no início de julho, a leitura zero dos quatro instrumentos foi definida em 5 de julho de 2021, para IN-02, IN-03 e IN-04, e em 7 de julho de 2021, para IN-01. Ao longo dos últimos meses, os dados obtidos por estes sensores têm sido verificados diariamente e não foram identificadas anomalias no sistema de monitoramento e transmissão de dados. O Anexo A inclui alguns gráficos com as leituras e análises realizadas até o momento, com os dados apresentados em um intervalo de sete dias.

A interpretação dos dados dos quatro inclinômetros é realizada de acordo com uma linha de base, ou seja, os valores medidos são relativos a um deslocamento definido como inicial nulo (05 de julho de 2021, para IN-02, IN-03 e IN-04, e 7 de julho de 2021, para IN-01), bem como assume que a base do instrumento é fixa.

Observa-se que o IN-001 apresentou um deslocamento superficial total acumulado (desde o início do monitoramento) de 162,5 mm, sendo 141,3 mm na direção Norte e 80,4 mm na direção Oeste, o que corresponde a um azimute de 340° , e um incremento de 12,1 mm na direção Norte e 0,8 mm na direção Oeste nos últimos 30 dias (a partir de 01/03/2024). Vale ressaltar também a presença de água no interior do tubo, que se manteve estável entre 8,40 e 8,89 m de profundidade durante todo o período de avaliação (Figura 16). Entre 175 e 247 m bgl (próximo ao contato entre as formações Marituba e Mosqueiro), podem ser observados efeitos locais de desvio em lados opostos, no último período ainda mais ativo em 208-212 m bgl e 242-247 m bgl (dentro da formação Mosqueiro); isso pode ser devido ao assentamento tardio do tubo de plástico ou ao recalque da coluna.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0020

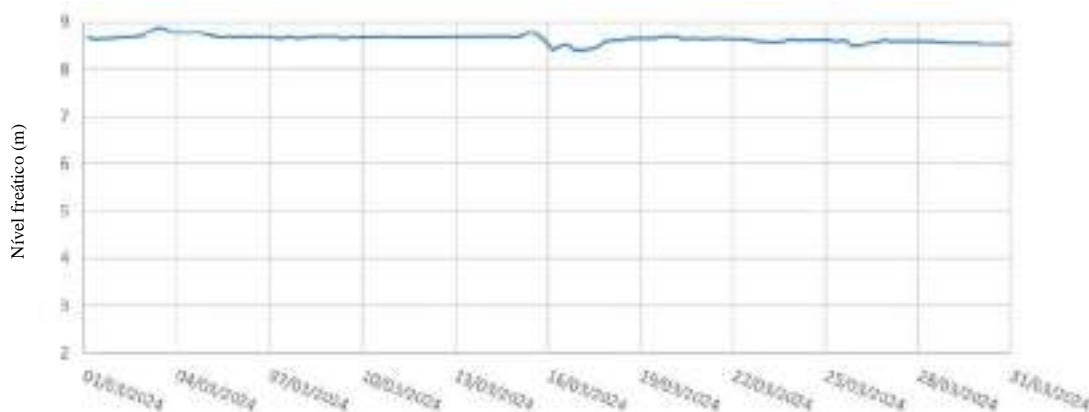


Figura 16 - Nível freático do IN-001 em março de 2024.

Os acelerômetros, no período considerado, registraram detecções locais de acelerações, envolvendo mais módulos, na primeira década, sendo a maior parte delas da superfície até 17 m de profundidade. Detecções mais profundas de acelerações foram registradas nos setores de 29-37 m bgl e 22-28 m bgl, respectivamente, nas datas 02/03 às 7h45 e 03/03 às 8h42, com valor máximo de 43 mg alcançado a 27 m bgl (data 03/03) (Figura 17).

De 01/03/2024 a 01/04/2024

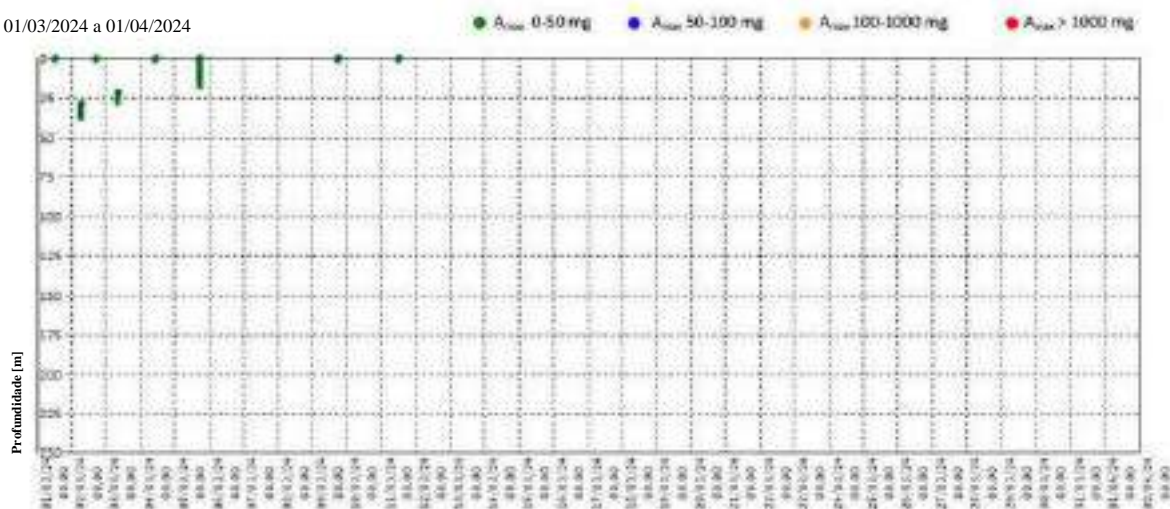


Figura 17 - Histórico de eventos acelerométricos (IN-001). Período: 01/03/2024 - 01/04/2024.

Em relação ao IN-002, foi observado um deslocamento superficial acumulado total (desde o início do monitoramento) de 196,7 mm, sendo 192,4 mm na direção Sul e 41 mm na direção Oeste, o que corresponde a um azimute de 192° e um incremento de 1,15 mm na direção Sul, e 3,3 mm na direção Oeste no último mês. Os diagramas cumulativos mostram, em particular, um desvio originado a 153 m bgl abaixo do nível do solo na direção média Sul, dentro da formação Marituba. Entre 153-246 m bgl podem ser observados efeitos locais de desvio em lados opostos; no último período mais ativo nos setores de 153-156 m (próximo à fronteira entre as formações Marituba e Mosqueiro) e 220-224 m, 241-245 m (dentro da formação Mosqueiro). Isso pode ser devido ao assentamento tardio do tubo de plástico ou ao recalque da coluna. Também vale destacar a presença de água dentro do tubo, que permaneceu estável entre 8,33 e 8,39 m de profundidade durante todo o período de avaliação (Figura 18).

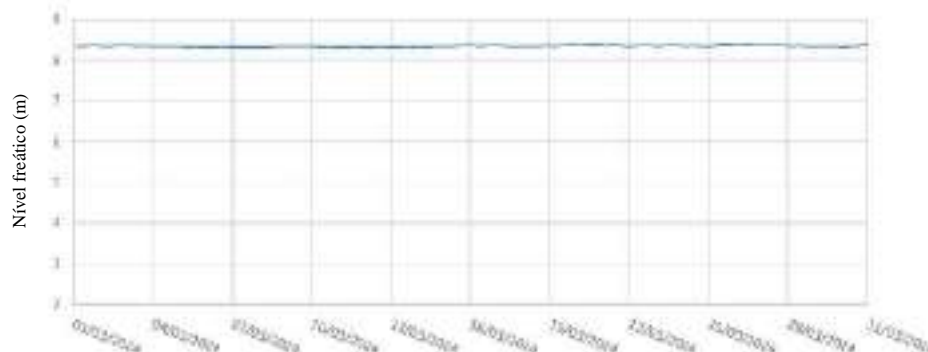


Figura 18 - Nível freático do IN-002 em março de 2024.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0021

No período de referência deste relatório, os acelerômetros registraram 11 detecções de acelerações, sendo a principal delas na data 21/03 às 20h58, envolvendo mais módulos no intervalo de profundidade de 9-20 m bgl, e tendo possível origem a 17 m bgl, com valor máximo de 129 mg. As detecções mais profundas de acelerações foram observadas nas datas 19-20-21/03 da superfície até 35 m bgl, com valores na faixa de 20-40 mg (Figura 19).

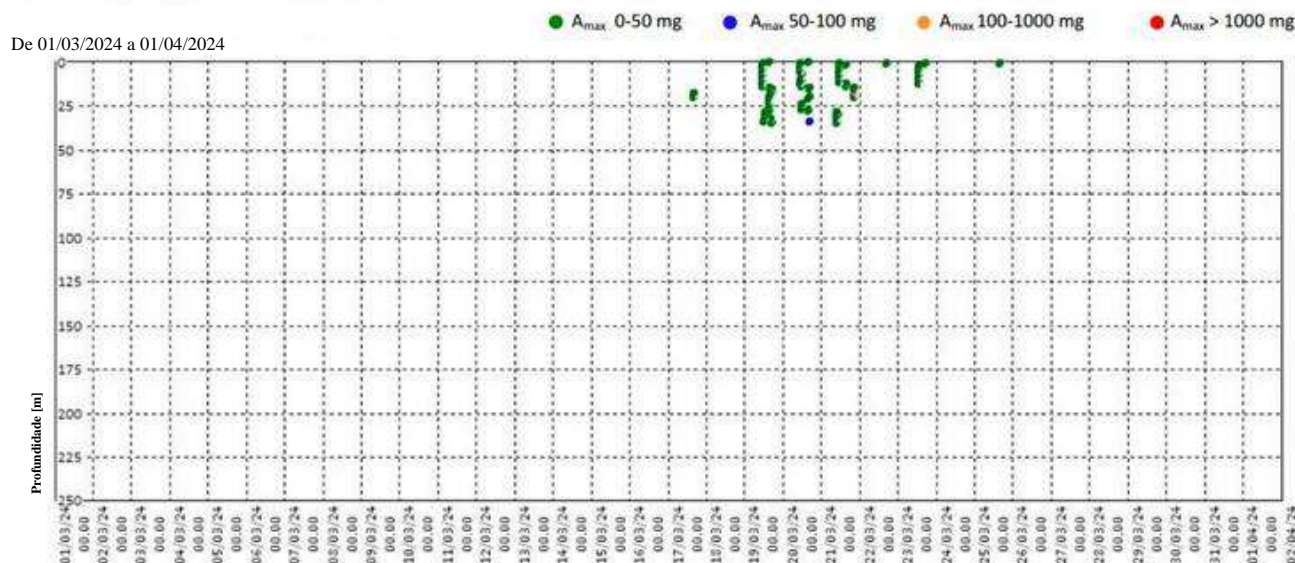


Figura 19 - Histórico de eventos acelerométricos (IN-002). Período: 01/03/2024 - 01/04/2024.

Para o IN-003, foi observado um deslocamento superficial acumulado total (desde o início do monitoramento) de 66,5 mm, 62,2 mm na direção Norte e 23,5 mm na direção Leste, o que corresponde a um azimute de 20°, e um aumento de 2,5 mm na direção Norte e nulo na direção Leste-Oeste no último mês. Os diagramas cumulativos mostram, em particular, um desvio com origem a 177 m bgl para cima, dentro da Formação Mosqueiro. Efeitos locais de desvio podem ser observados em lados opostos nos seguintes intervalos de profundidade na Formação Mosqueiro: 178-205 m bgl, e 231-248 m bgl; no período recente mais ativo nos setores de 177-187 m bgl e 211-214 bgl; isso pode ser devido ao assentamento tardio do tubo de plástico ou ao recalque da coluna. O nível de água dentro do poço mostra, no período observado (01/03/24 - 01/04/24), valores no intervalo de -4,48 / -3,55 m bgl; o máximo de -3,55 m bgl foi alcançado na data 19/03 às 00h00 e um máximo relativo na data 29/03 com -3,59 m bgl, valor aproximado.

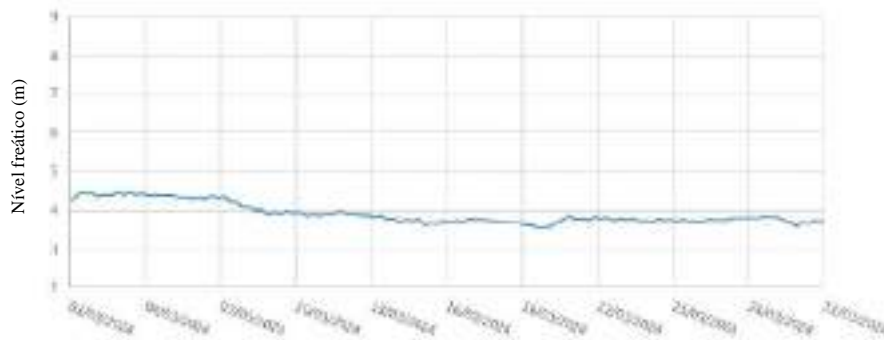


Figura 20 - Nível freático do IN-003 em março de 2024.

Os acelerômetros, no período avaliado, registraram várias detecções de acelerações em continuidade com os últimos relatórios; grande parte delas está originando da superfície ou no setor superior; neste caso, a principal detecção do conjunto de acelerações foi registrada na data 25/03 às 01h08, tendo valor máximo de 43 mg a 88 m bgl; a aceleração foi registrada no intervalo de profundidade de 82-92 m bgl. Durante este período, foram observadas acelerações mais profundas no intervalo de profundidade de 190-203 m bgl, nas seguintes datas: 01-10/03, 21-22/03, com valores próximos ao limiar de ajuste; as acelerações mais profundas no intervalo de 199-222 m anteriormente observadas não estão evidentes neste relatório (Figura 21).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0022

De 01/03/2024 a 01/04/2024

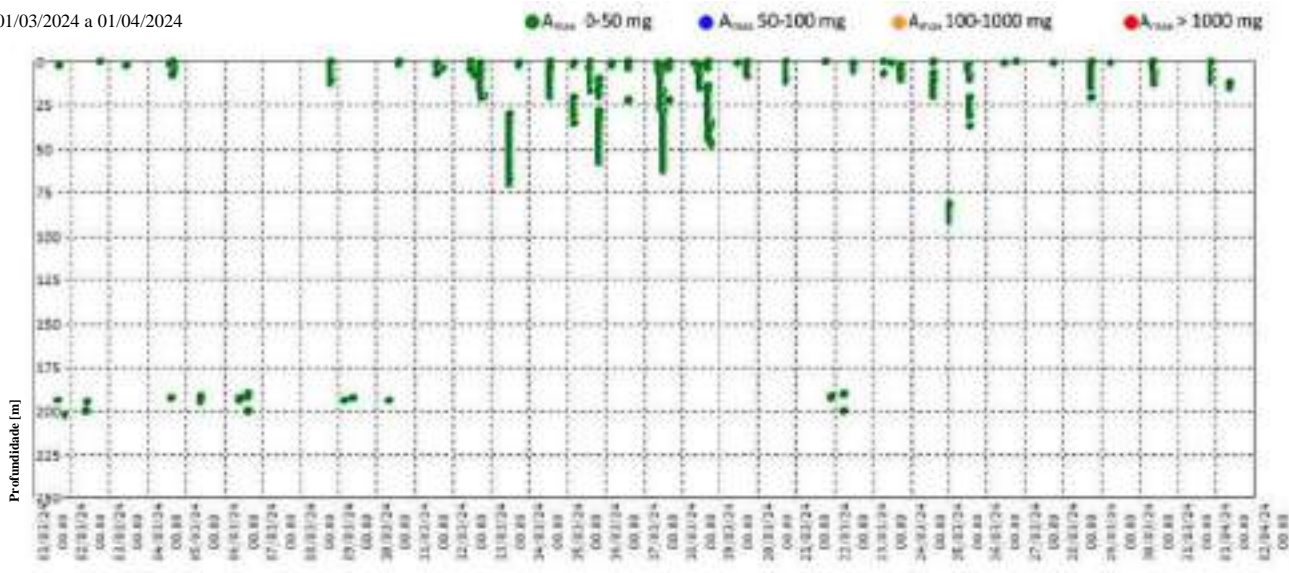


Figura 21 - Histórico de eventos acelerométricos (IN-003). Período: 01/03/2024 - 01/04/2024.

Por fim, foi observado para o IN-004 (desde o início do monitoramento) um deslocamento de 105,4 mm, 104,8 mm na direção Norte e 11 mm na direção Oeste, o que corresponde a um azimute de 354°, e um aumento de 19,7 mm na direção Sul e 33,3 mm na direção Leste (Parte da diferença pode ser atribuída à saída de dados mais recente dos módulos id 4, 6) durante o último mês. Os diagramas cumulativos mostram, em particular, um desvio originado a 183 m bgl (dentro da Formação Mosqueiro) para cima, na direção média Noroeste; após o evento de aumento significativo registrado na data 11/04/22, o desvio no período específico mostra novamente uma tendência mais orientada na componente direcional Norte. Entre 183-248 m bgl, após a leitura zero, foram observados efeitos locais de desvio em lados opostos; isso pode ser devido à instalação tardia do tubo de plástico ou ao assentamento da coluna. No período específico deste resumo, é observado um desvio local em particular no intervalo de profundidade de 187-190 (dentro da Formação Mosqueiro) na direção média Noroeste-Sudeste. Também vale destacar a presença de água dentro do tubo, variando entre 2,17 e 2,64 m de profundidade (Figura 22).

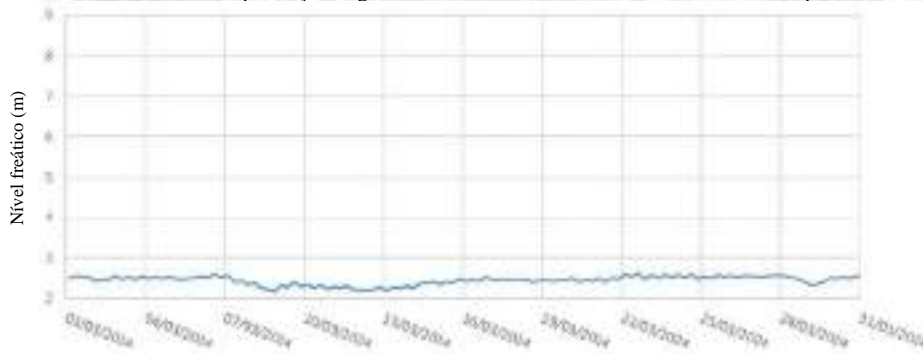


Figura 22 - Nível freático do IN-004 em março de 2024.

Os acelerômetros nos últimos 30 dias registraram 4 detecções de acelerações. A principal foi registrada na data 01/03 às 13h52, da superfície a 94 m bgl, com amplitude máxima de 87 mg atingida a 15 m bgl. A segunda em ordem foi registrada na data 14/03 às 12h21, no intervalo de profundidade de 0-76 m bgl, com amplitude máxima de 48 mg a 2 m bgl (Figura 23).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0023

De 01/03/2024 a 01/04/2024

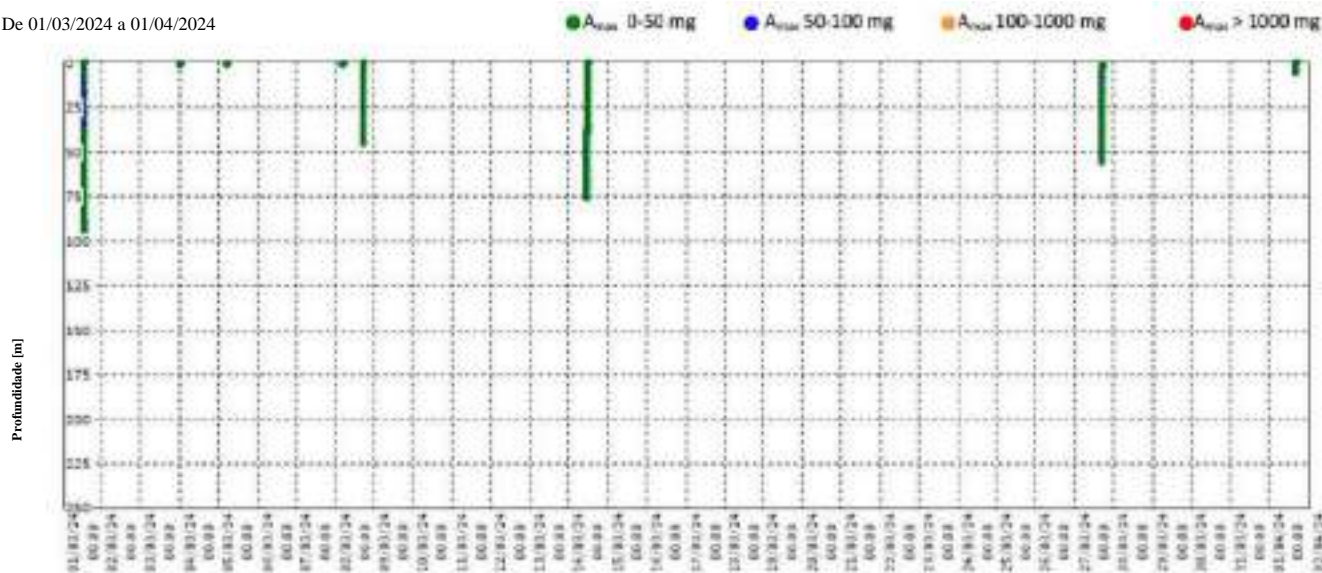


Figura 23 - Histórico de eventos acelerométricos (IN-004). Período: 01/03/2024 - 01/04/2024.

A Tabela 10 e a Figura 24 permitem visualizar, comparativamente, os deslocamentos horizontais incrementais no topo ao longo dos meses de monitoramento nos quatro inclinômetros. Observa-se que os deslocamentos medidos ao longo do período abordado neste relatório compreendem valores inferiores aos registrados na média histórica disponível, que indicava um valor de 5,44 mm (de julho de 2021 a março de 2024), exceto para o IN04.

	Jul-21	Ago-21	Sep-21	Out-21	Nov-21	Dez-21	Jan-22	Fev-22	Mar-22	Abr-22	Mai-22	Jun-22	Jul-22	Ago-22	Sep-22	Out-22	Nov-22
IN01	2,00	5,00	1,90	4,30	6,20	2,88	10,30	6,00	5,10	6,24	6,20	5,30	5,30	5,55	5,65	5,00	0,00
IN02	4,10	4,90	6,70	7,80	7,60	6,38	7,90	6,90	6,30	6,20	7,00	6,30	24,60	0,80	24,50	7,70	1,30
IN03	4,40	4,80	5,70	2,90	2,00	3,99	2,90	2,80	3,00	2,40	3,90	3,10	0,60	2,10	0,20	1,60	2,50
IN04	8,50	9,90	8,60	6,00	6,20	6,18	6,90	6,20	4,80	29,80	5,90	6,50	4,80	3,90	1,90	1,20	0,70
Média	4,75	5,15	5,73	5,05	5,50	4,73	6,55	5,20	4,69	5,91	6,25	5,90	6,30	2,89	5,54	4,38	1,70
	Dez-22	Jan-23	Fev-23	Mar-23	Abr-23	Mai-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23	Sep-23	Out-23	Nov-23	Dez-23	Jan-24	Fev-24	Mar-24	
IN01	4,75	3,95	5,70	0,11	0,16	3,49	3,20	4,40	5,20	6,70	6,40	8,20	1,00	38,80	0,17	6,54	
IN02	6,00	14,40	5,40	0,84	0,01	12,60	2,50	3,20	4,80	5,00	4,90	13,13	6,58	4,40	4,17	6,98	
IN03	2,60	3,70	1,30	0,28	0,11	2,88	1,80	1,90	4,00	3,35	1,36	34,45	2,88	1,92	0,05	6,23	
IN04	3,00	0,00	1,00	1,19	0,42	18,20	8,10	3,20	6,10	3,40	1,39	9,60	16,24	21,50	22,66	37,24	
Média	4,31	5,01	3,55	0,51	0,18	7,53	3,90	3,28	4,93	3,61	4,59	11,15	6,38	16,68	6,99	6,74	

Tabela 10: Deslocamento mensal medido pelos quatro inclinômetros a partir de julho de 2021.

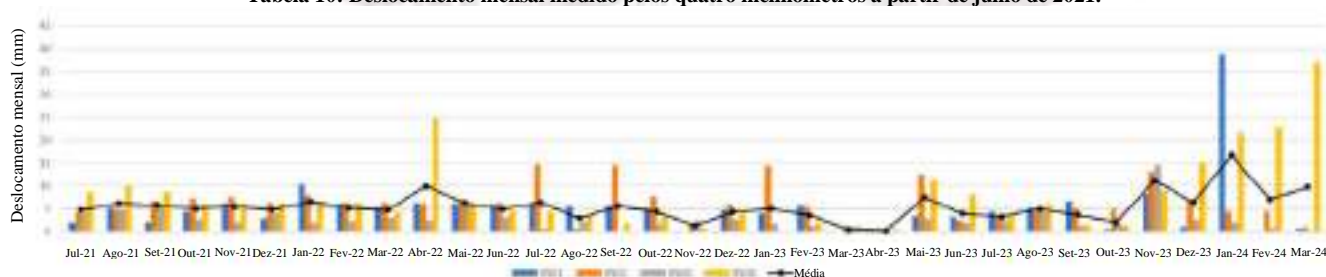


Figura 24: Gráfico do deslocamento mensal medido pelos quatro inclinômetros a partir de julho de 2021.

6 TILTÍMETROS

Tiltímetros são instrumentos que medem a rotação em dois eixos. São fixados em postes de concreto com comprimento total de cerca de 5 m, com 2 m de enterramento firme no solo. Foram usados tiltímetros LS-G6-INC-15, fabricados pela Loadsensing, com faixa de leitura de $\pm 15^\circ$ e precisão de $0,025^\circ$.

Os instrumentos são conectados a um sistema de transmissão de dados sem fio, de forma a permitir o acesso remoto às leituras de cada instrumento, conforme especificação do fabricante. As leituras do tiltímetro são realizadas a cada 60 minutos.

Os tiltímetros foram instalados em julho de 2020 e comissionados ao longo do mesmo ano. A tabela 11 e a figura 25 mostram a localização dos tiltímetros. Em 14 de janeiro de 2023, houve uma falha no TIL-500-12, que foi substituído pelo modelo LS-G6-TIL90-X, também fabricado pela Loadsensing. Este modelo cumpre as mesmas funcionalidades do anterior, além de ser um modelo de última geração, estando em comissionamento até 1 de fevereiro de 2023. Sua nomenclatura e posição permanecem inalteradas.

Código	Coordenada SIRGAS 2000 (25S)		Data de instalação
	N	L	
TIL-500-01	8934156,51	198677,31	09/07/2020
TIL-500-02	8934071,46	198560,9	22/07/2020



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0024

TIL-500-03	8934088,09	198303,18	13/07/2020
TIL-500-04	8933080,17	198269,92	31/07/2020
TIL-500-05	8933849,71	198212,28	16/07/2020
TIL-500-06	8933825,09	198151,51	16/07/2020
TIL-500-07	8933332,80	198516,08	21/07/2020
TIL-500-08	8933310,51	198483,86	22/07/2020
TIL-500-09	8933287,02	198452,63	21/07/2020
TIL-500-10	8934279,22	198050,76	16/07/2020
TIL-500-11	8934239,81	198078,21	14/07/2020
TIL-500-12	8934149,21	198139,46	15/07/2020
TIL-500-13	8934205,82	198021,58	19/07/2020

Tabela 11: Coordenadas de instalação dos tiltímetros.



Figura 25: Localização dos tiltímetros.

Os dados medidos pelos tiltímetros são enviados automaticamente para o servidor da Loadensing e podem ser acessados via internet. Além da temperatura, os deslocamentos nos eixos A e B são medidos. O eixo B de cada tiltímetro está alinhado na direção Norte-Sul (geográfica), com valores positivos indicando rotação na direção Sul enquanto o eixo A está alinhado na direção Leste-Oeste (geográfica), com valores positivos indicando rotação na direção Leste, conforme indicado na Figura 26. Segundo informações da Braskem, a exceção seria o dispositivo TIL-500-12 após sua substituição e comissionamento em janeiro de 2023. Ou seja, a partir de 1º de fevereiro de 2023, a polaridade do eixo B (Y) é invertida em relação aos outros tiltímetros (valores positivos no eixo B indicam rotação na direção Norte). Esta declaração é válida para os dados brutos coletados do Gateway deste dispositivo. Este relatório, assim como relatórios futuros, traz os dados processados para que a convenção da Figura 26 permaneça válida para todos os tiltímetros.

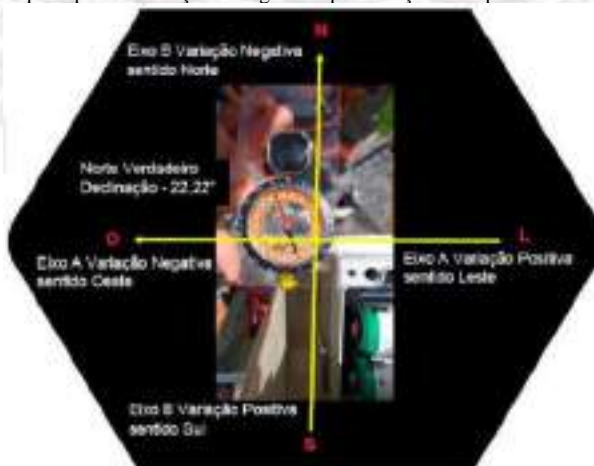


Figura 26: Orientação dos tiltímetros

A seguir estão as variações observadas em cada instrumento durante o período de monitoramento.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0025

Um aspecto que chamou bastante atenção durante o monitoramento foi a influência da temperatura sobre as leituras. Em todos os instrumentos, observou-se que as leituras variaram nos mesmos horários quando havia variação de temperatura ao longo do dia. Para analisar os dados com menor influência das variações de temperatura, também foram avaliadas as leituras feitas às 6h de cada dia. Este cronograma foi seguido porque se refere a temperaturas estabilizadas por um período mais longo, desde o início da noite. As figuras a seguir mostram os resultados obtidos.

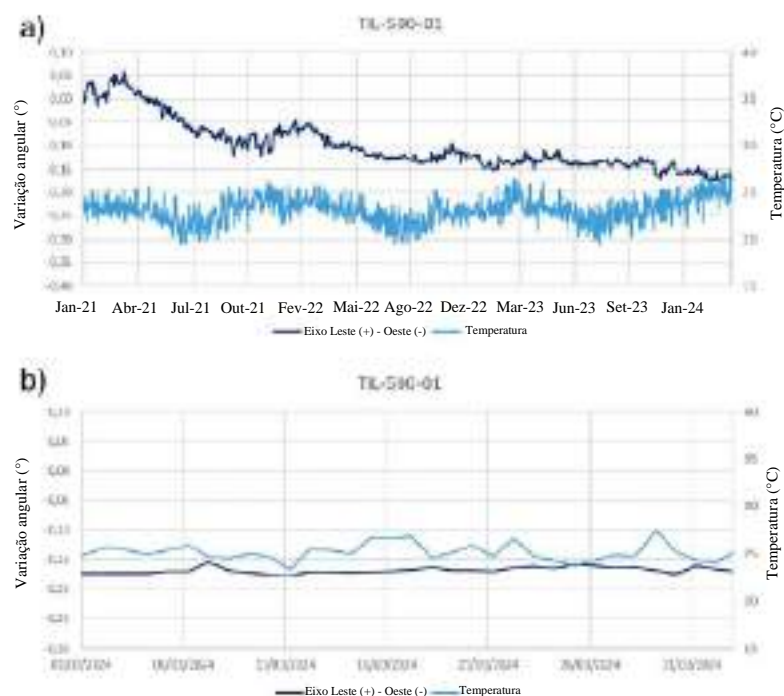


Figura 27: Variação Angular no Eixo A do Tiltômetro TIL-01 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

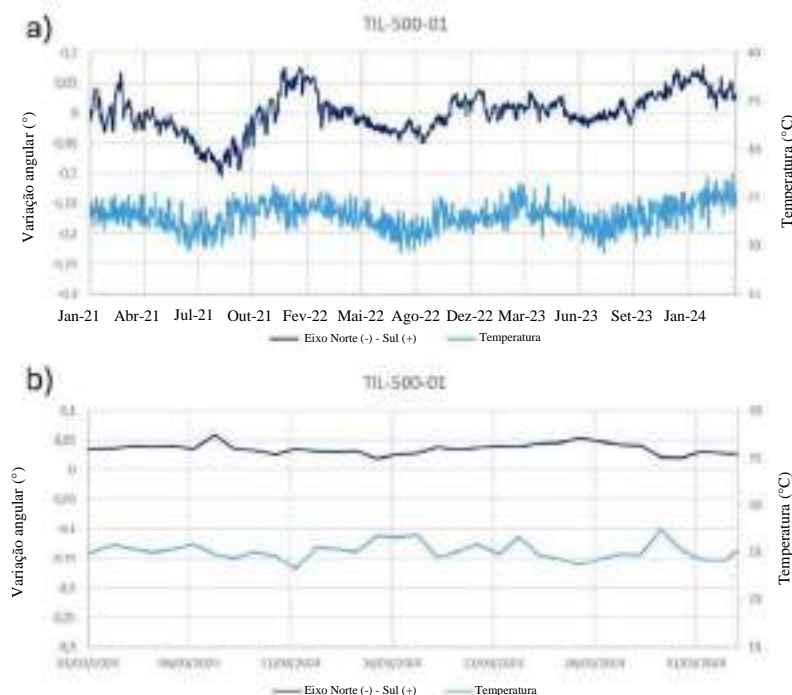


Figura 28: Variação Angular no Eixo B do Tiltômetro TIL-01 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0026

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa para o eixo A e uma variação ligeiramente positiva para o eixo B do TIL-01, representando uma possível tendência de rotação na direção Sudoeste. Em março de 2024, a rotação média é de $0,01^\circ$ ao longo da direção Leste-Oeste e $-0,0005^\circ$ ao longo da direção Norte-Sul.

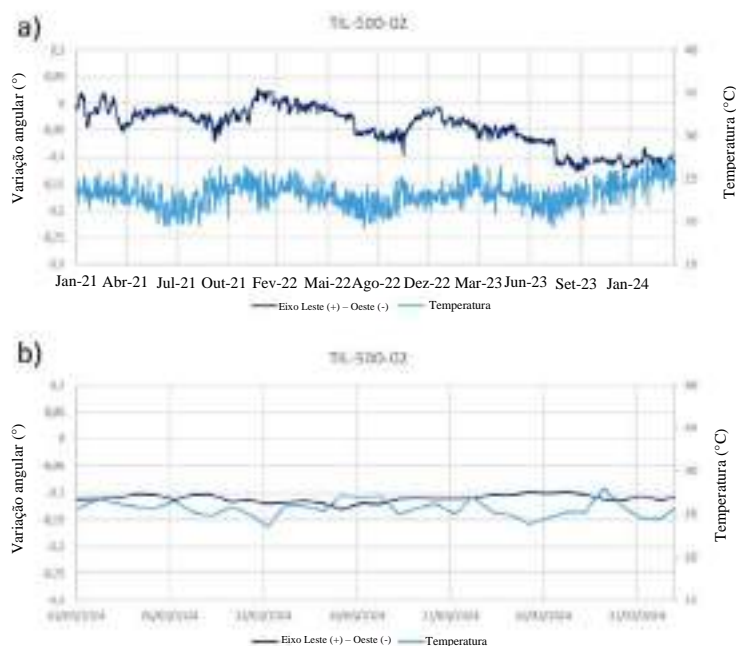


Figura 29: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-02 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

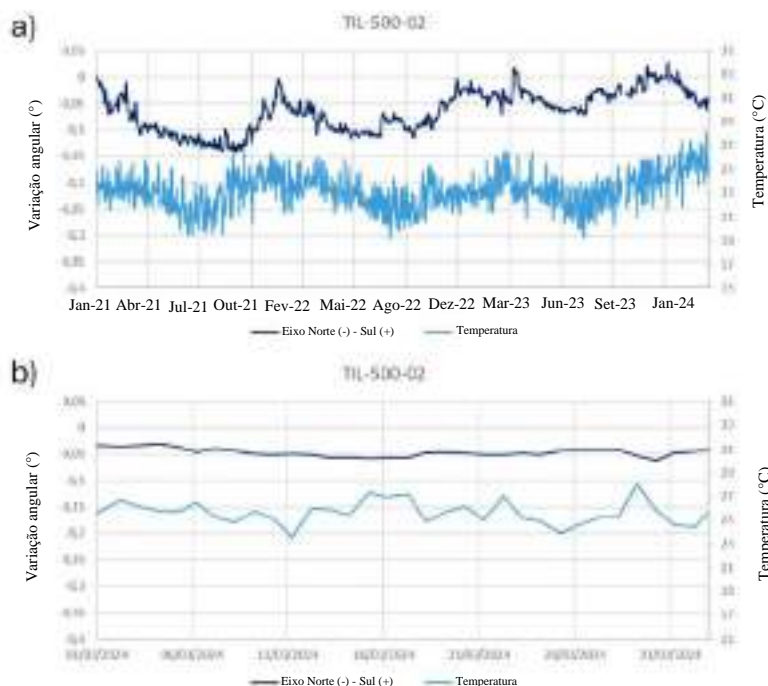


Figura 30: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-02 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa em ambos os eixos do TIL-02, representando rotação na direção Noroeste. De 16 a 24 de outubro, o Tiltímetro TIL-02 não adquiriu nenhum dado. Em março de 2024, a rotação média é de $0,002^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,01^\circ$ na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0027

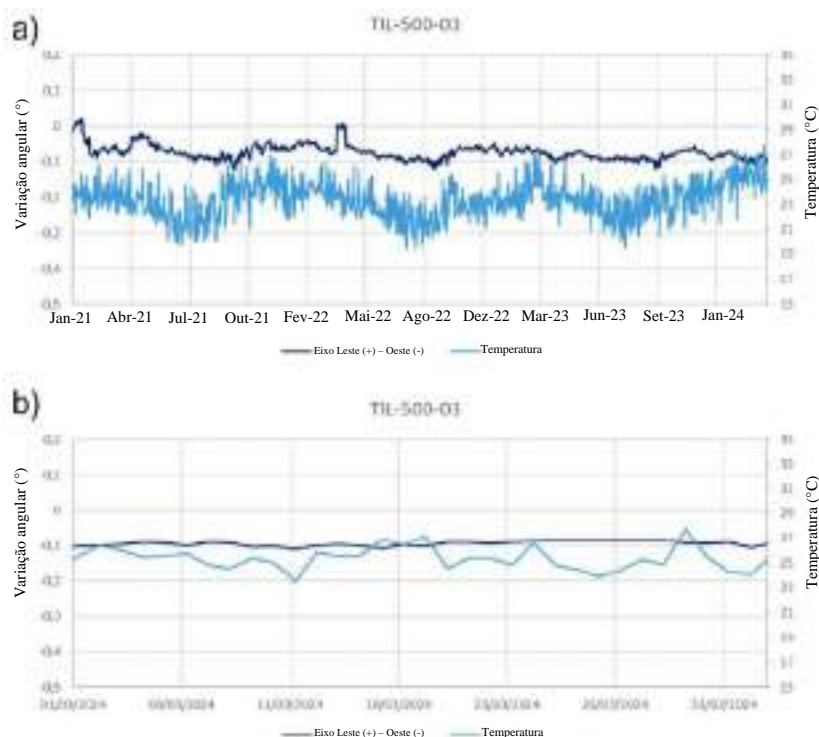


Figura 31: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-03 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

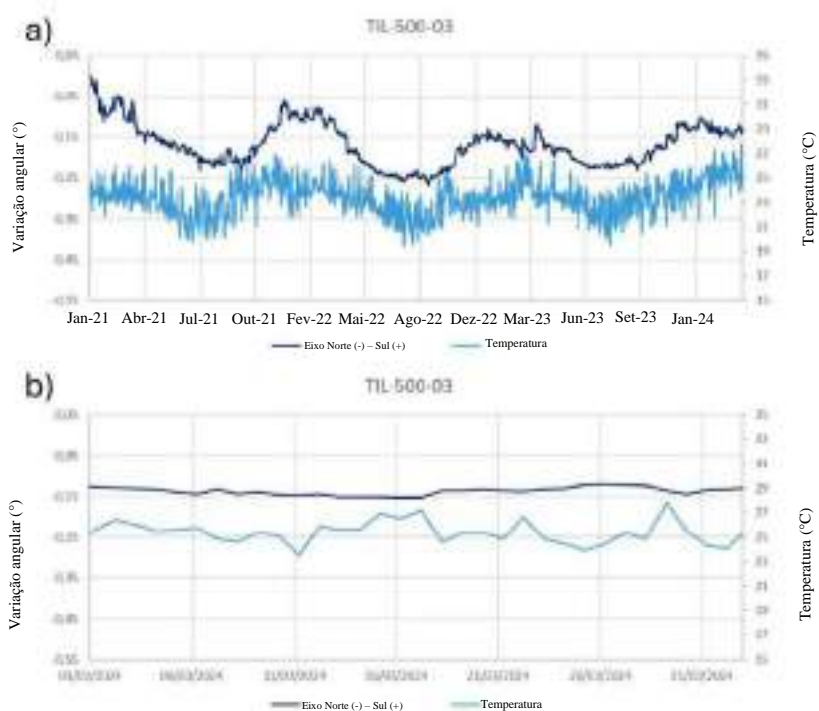


Figura 32: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-03 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa em ambos os eixos do TIL-03, representando rotação na direção Noroeste. Em março de 2024, a rotação média é de $-0,01^\circ$ na direção Leste-Oeste e $0,005^\circ$ na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0028

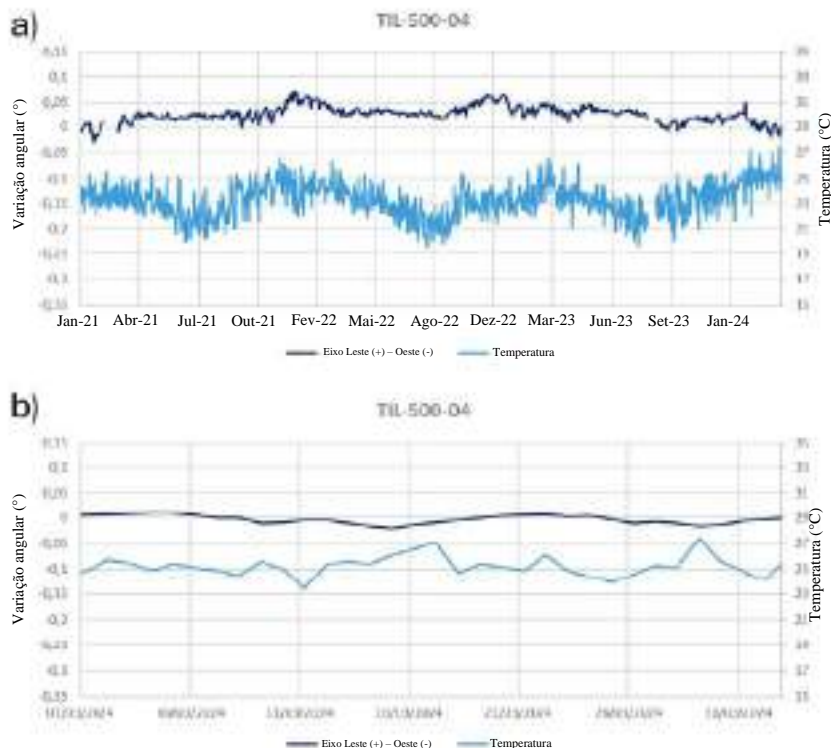


Figura 33: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-04 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

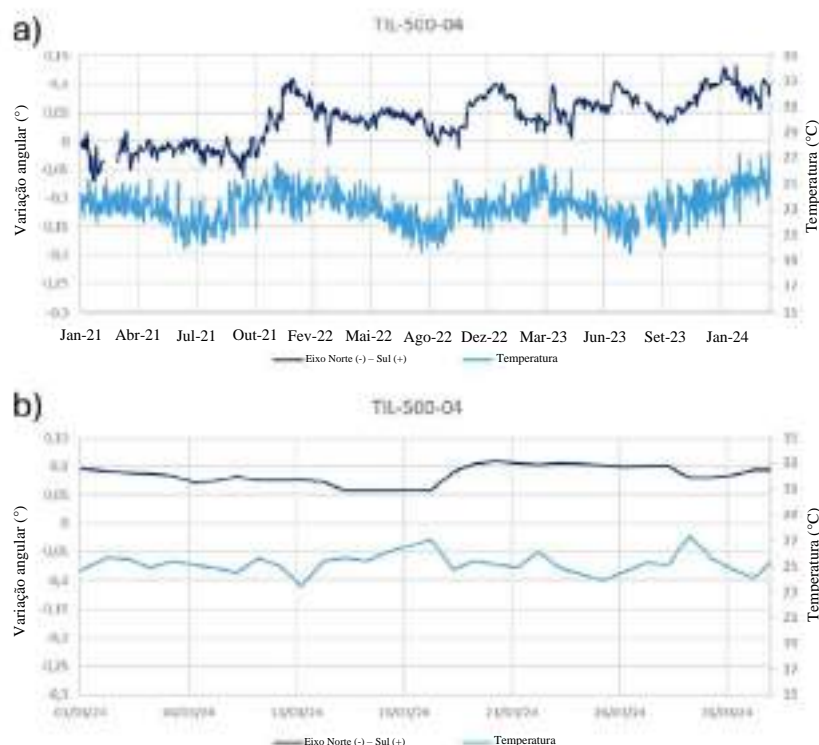


Figura 34: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-04 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0029

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma leve tendência de variação positiva em ambos os eixos do TIL-04, representando rotação na direção Sudeste. No período de 20/08/2023 - 01/09/2023, o TIL-500-04 não adquiriu nenhum dado devido a um problema no instrumento. Em março de 2024, a rotação média é de $-0,008^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,005^\circ$ na direção Norte-Sul.

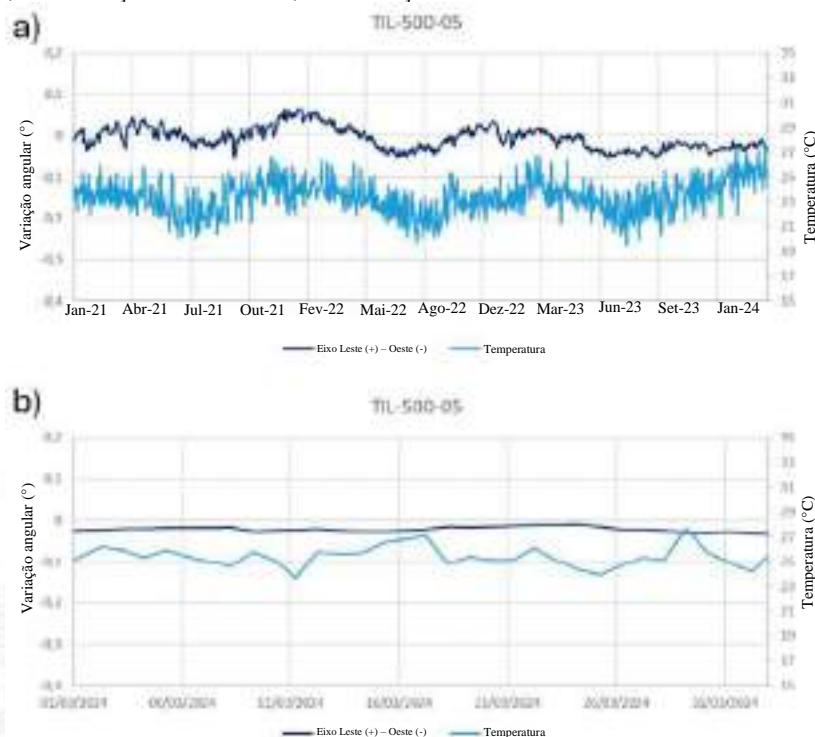


Figura 35: Variação Angular no Eixo A do Tiltômetro TIL-05 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

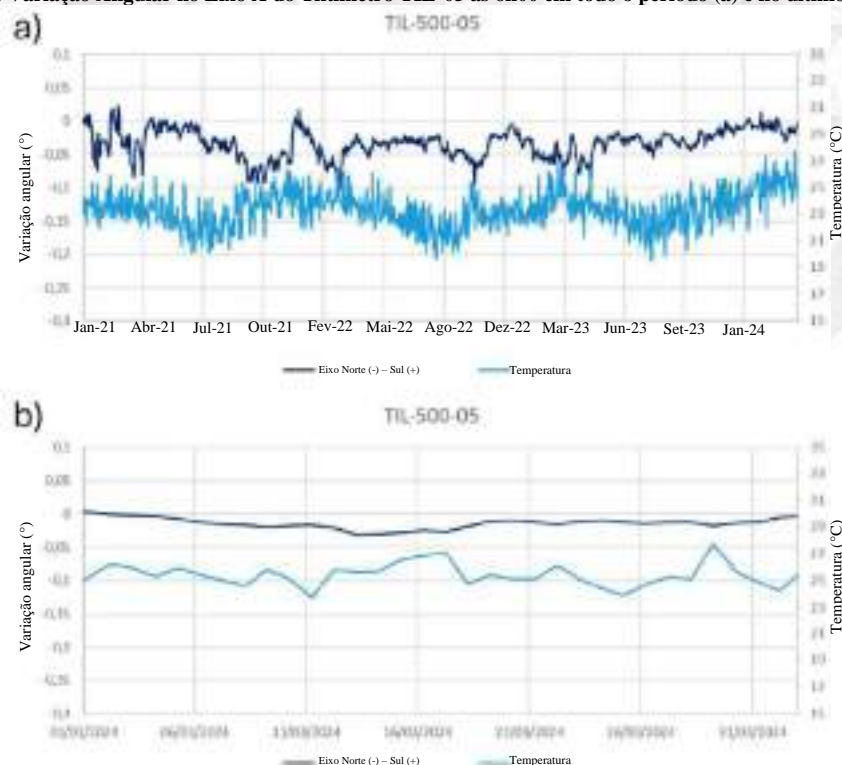


Figura 36: Variação Angular no Eixo B do Tiltômetro TIL-05 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0030

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma ligeira variação negativa em ambos os eixos do TIL-05, representando uma possível tendência de rotação na direção Noroeste. Em março de 2024, a rotação média é de $0,004^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,002^\circ$ na direção Norte-Sul.

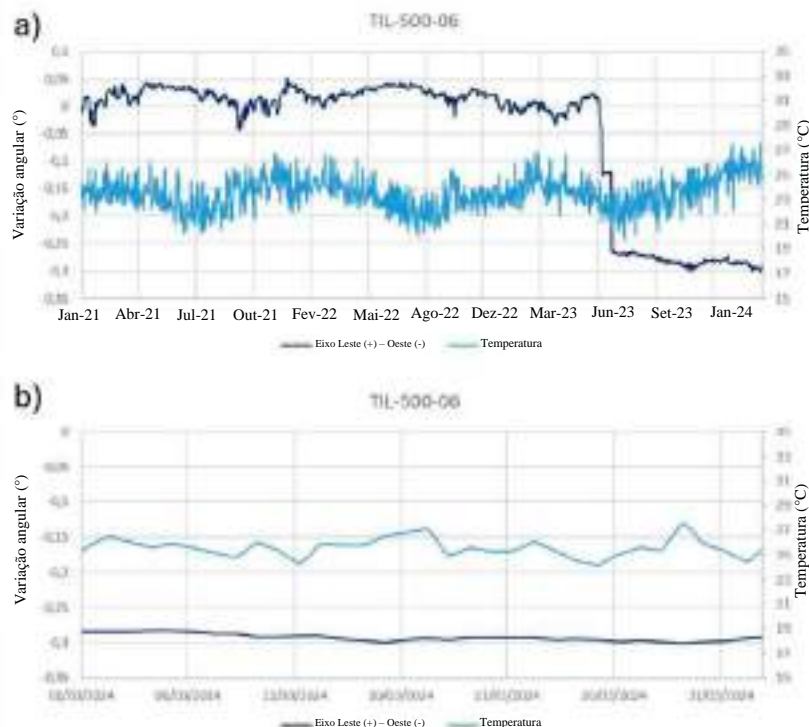


Figura 37: Variação Angular no Eixo A do Tiltmetro TIL-06 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

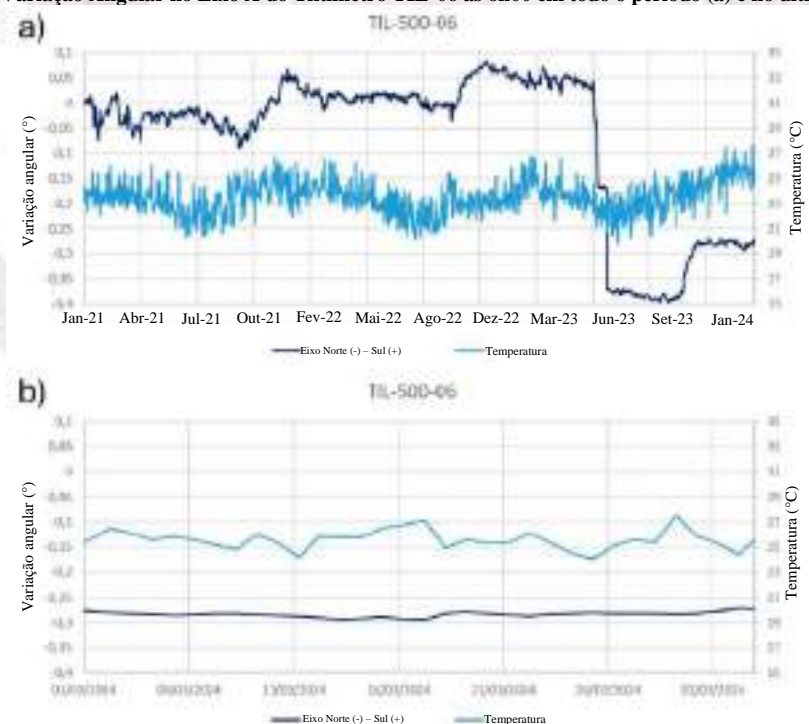


Figura 38: Variação Angular no Eixo B do Tiltmetro TIL-06 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência geral de variação negativa em ambos os eixos do TIL-06, representando rotação na direção Noroeste. Em março de 2024, a rotação média é de $-0,009^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,008^\circ$ na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0031

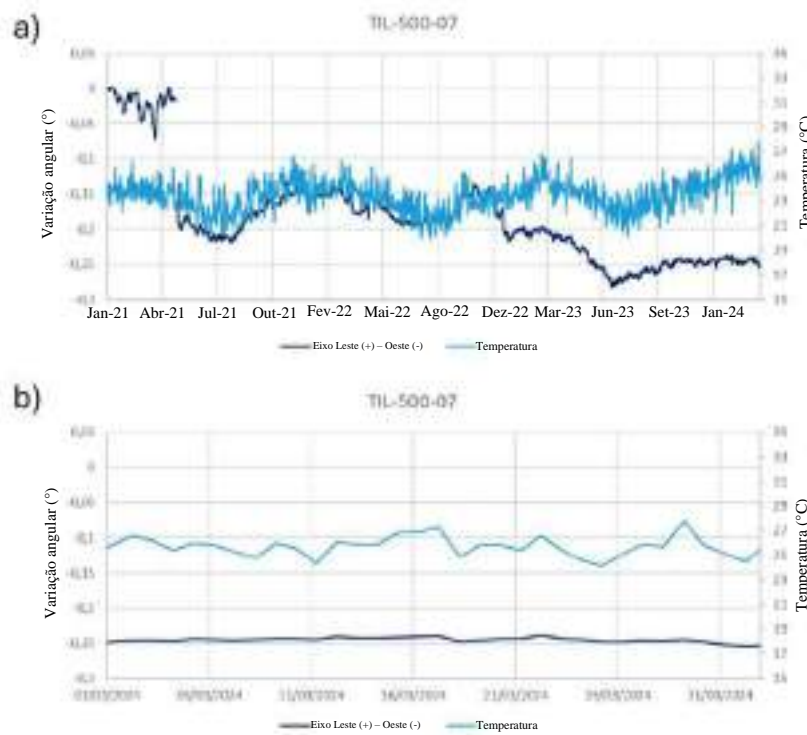


Figura 39: Variação Angular no Eixo A do Tiltmetro TIL-07 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

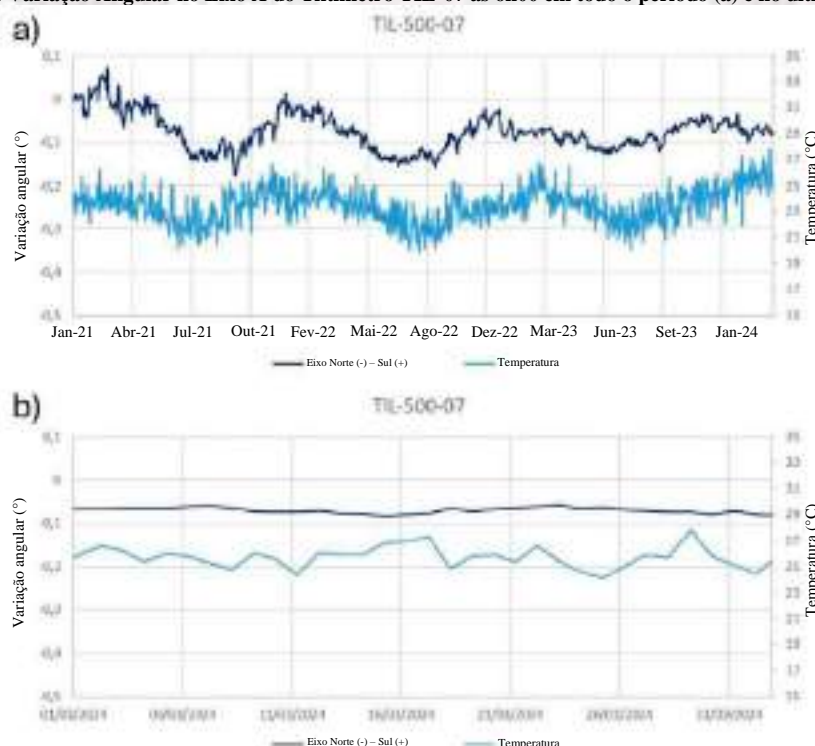


Figura 40: Variação Angular no Eixo B do Tiltmetro TIL-07 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa em ambos os eixos do TIL-07, representando rotação na direção Noroeste. Em março de 2024, a rotação média é de $0,003^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,002^\circ$ na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0032

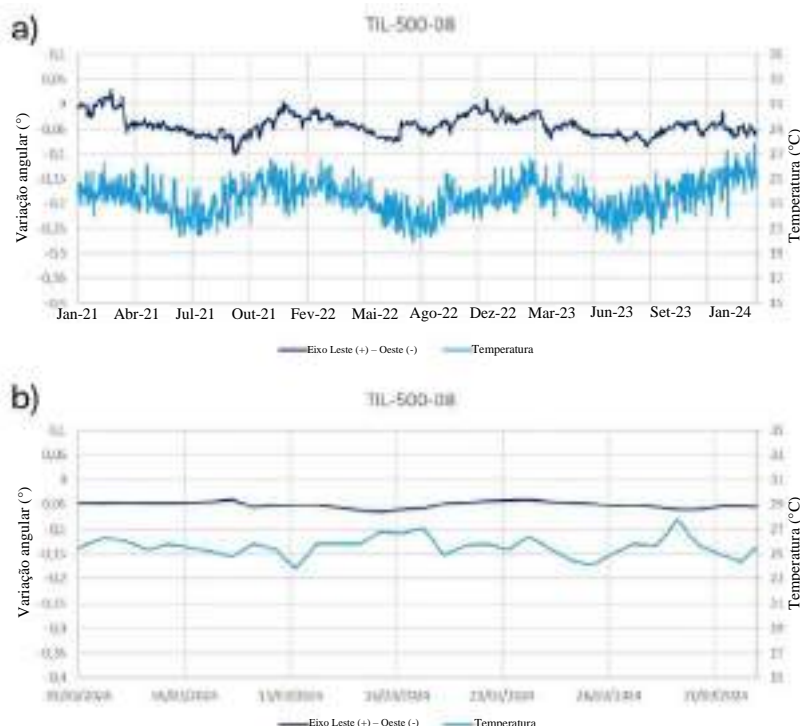


Figura 41: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-08 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

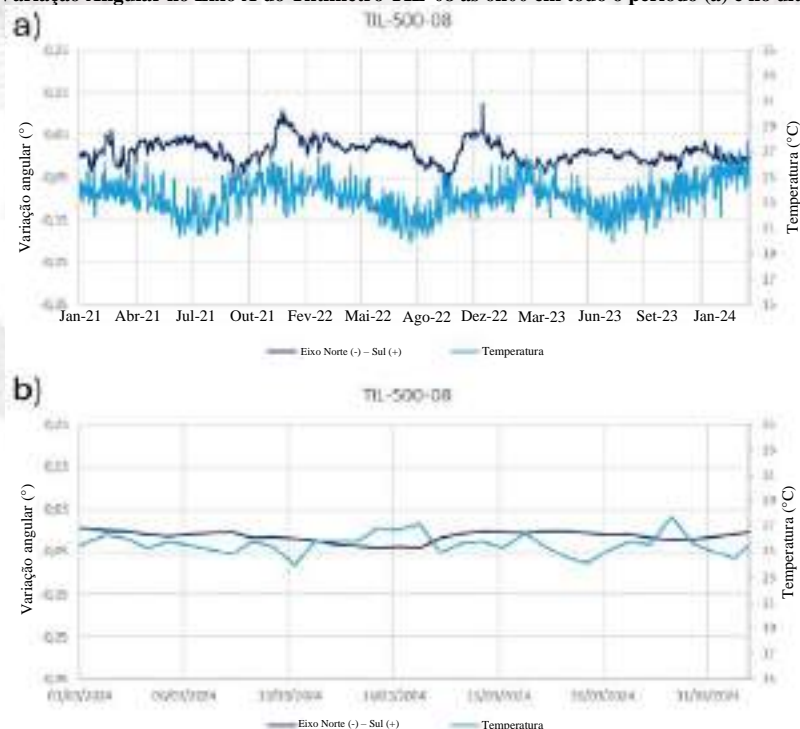


Figura 42: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-08 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa no Eixo A do TIL-08, representando uma possível tendência de rotação na direção Oeste. Em março de 2024, a rotação média é de $-0,005^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,02^\circ$ na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0033

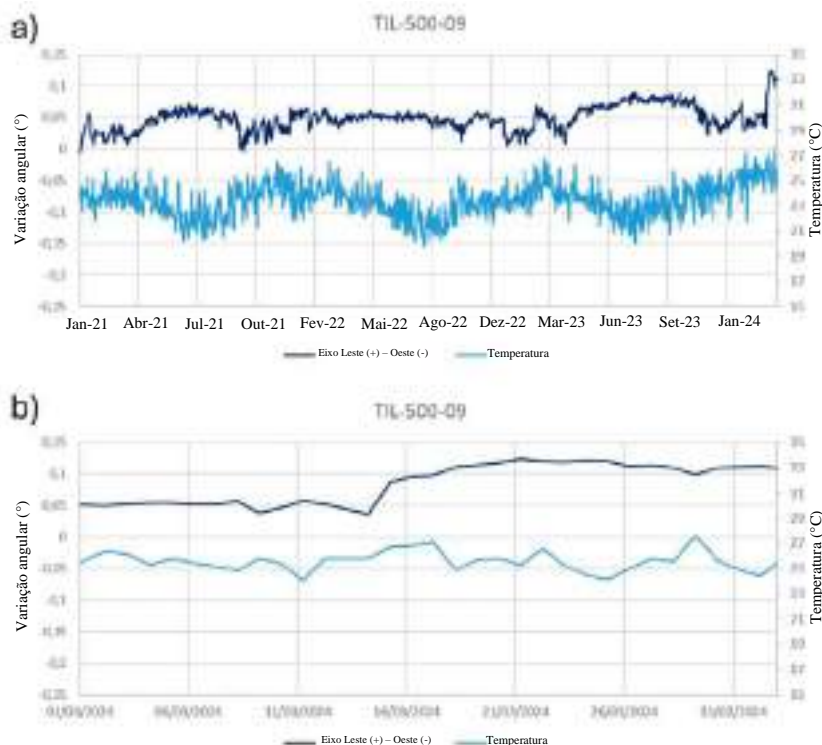


Figura 43: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-09 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

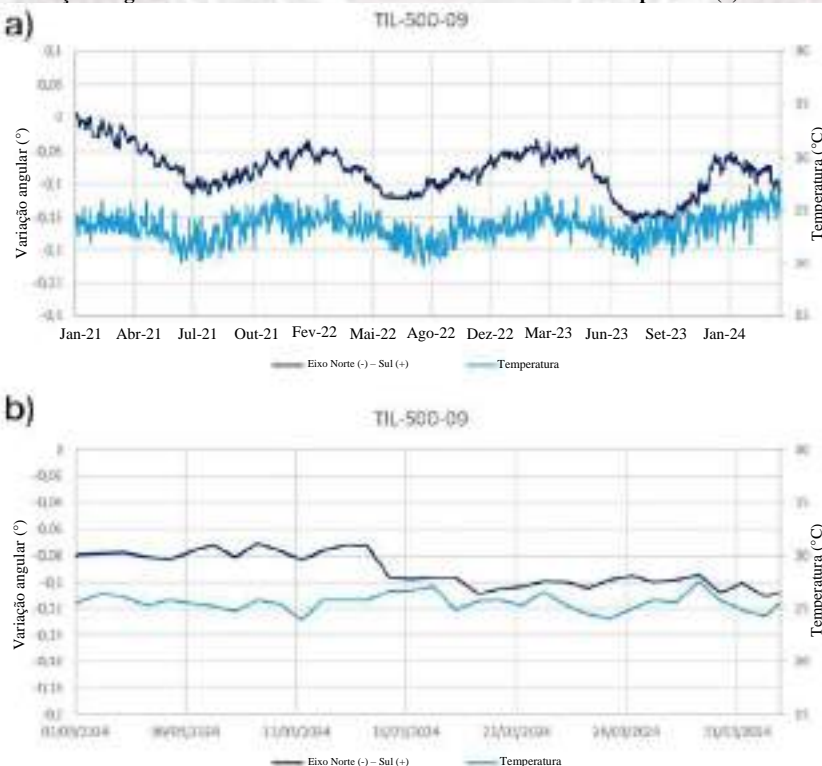


Figura 44: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-09 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação positiva no Eixo A e negativa no Eixo B do TIL-09, representando rotação na direção Nordeste. Em março de 2024, a rotação mudou de 0,04 para 0,01 na direção Leste-Oeste e -0,01° na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0034

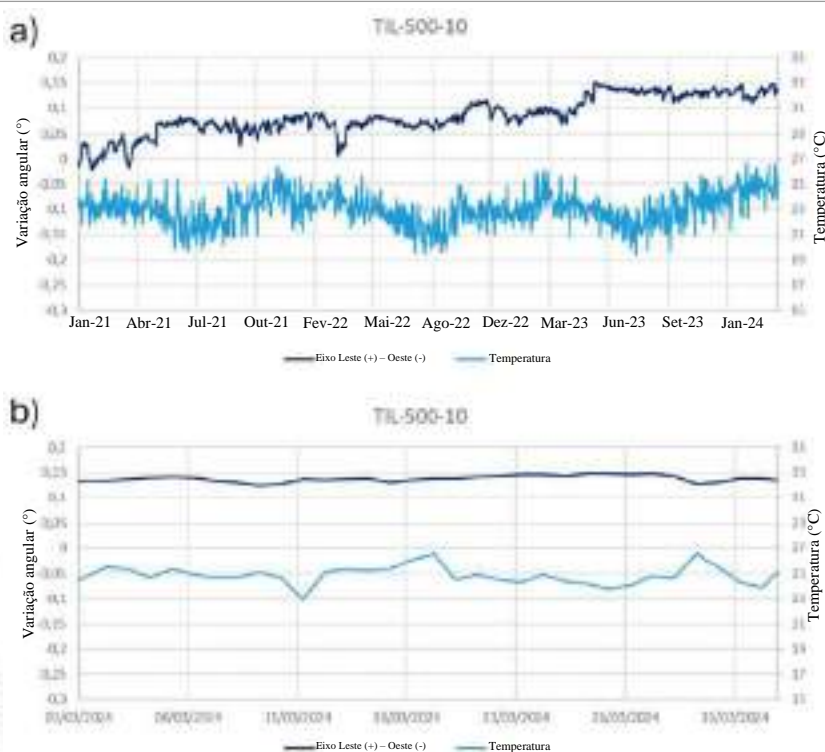


Figura 45: Variação Angular no Eixo A do Tiltmetro TIL-10 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

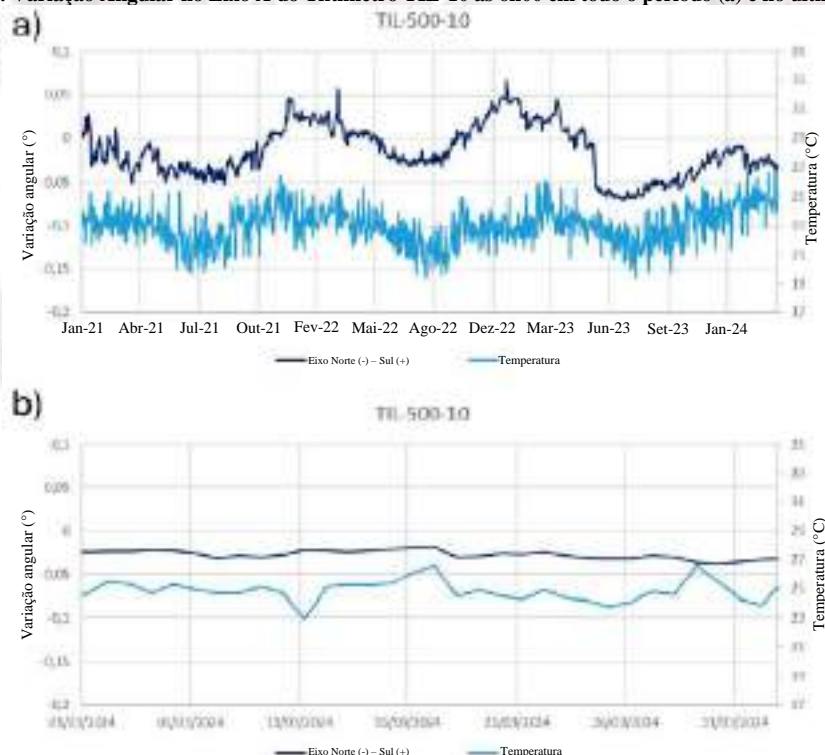


Figura 46: Variação Angular no Eixo B do Tiltmetro TIL-10 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação positiva no Eixo A e negativa no Eixo B do TIL-10, representando rotação na direção Nordeste. Em março de 2024, a rotação média é de 0,004° na direção Leste-Oeste e -0,003° na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0035

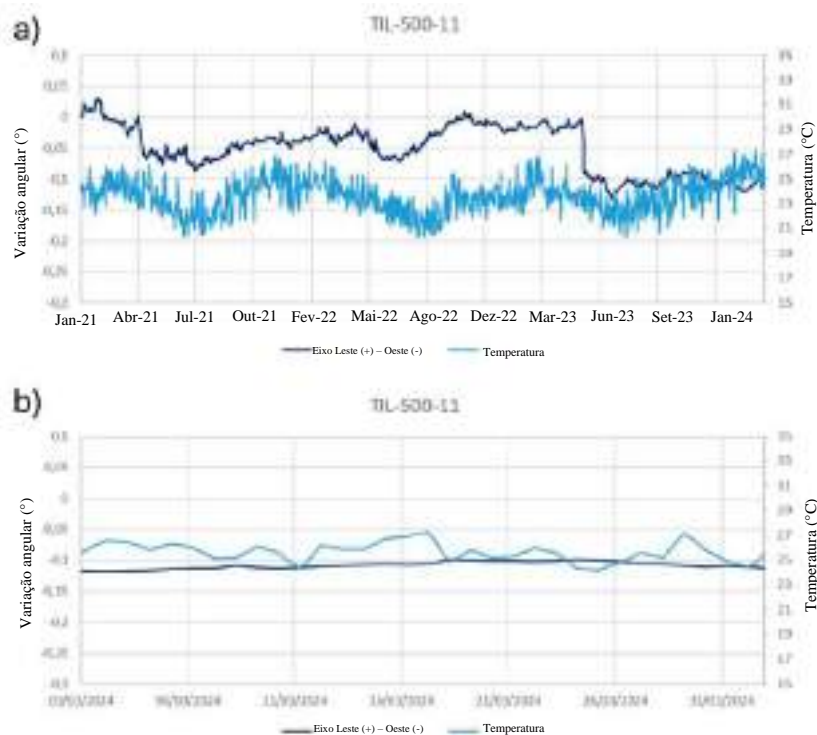


Figura 47: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-11 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

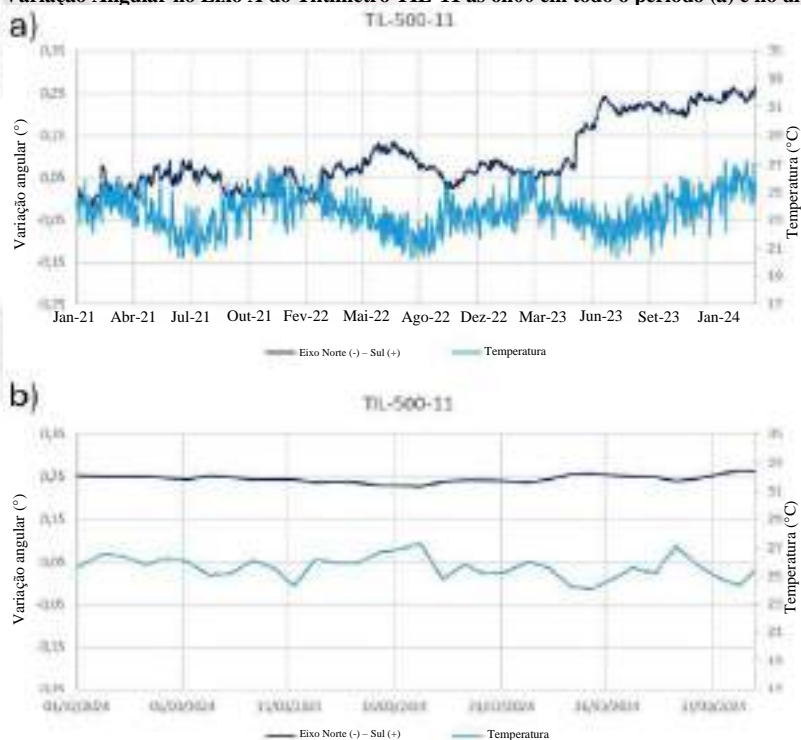


Figura 48: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-11 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa no Eixo A e positiva no Eixo B do TIL-11, representando rotação na direção Sudoeste. Em março de 2024, a rotação média é de 0,01° na direção Leste-Oeste e -0,008° na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0036

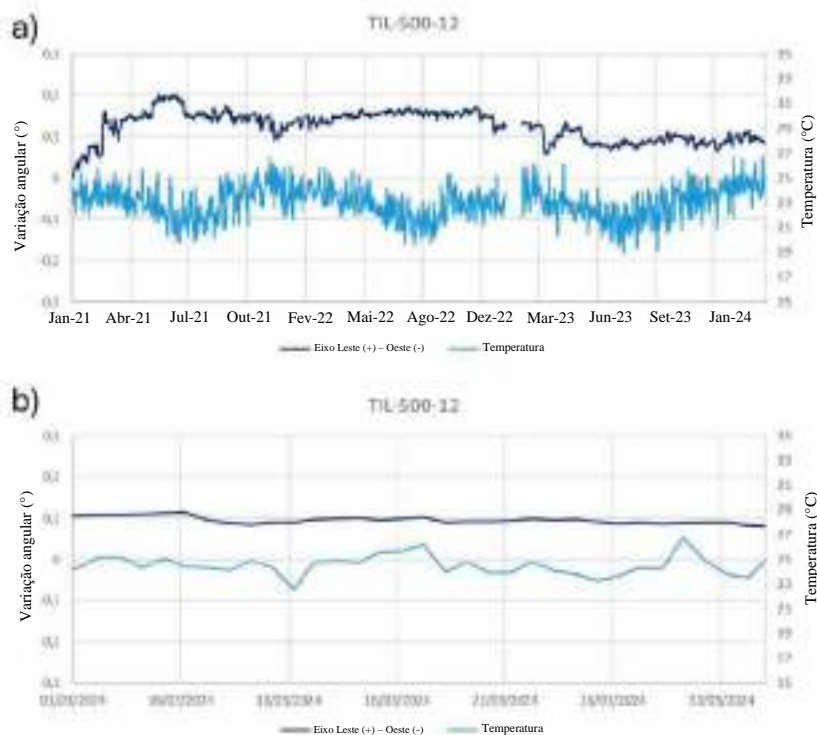


Figura 49: Variação Angular no Eixo A do Tiltmetro TIL-12 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

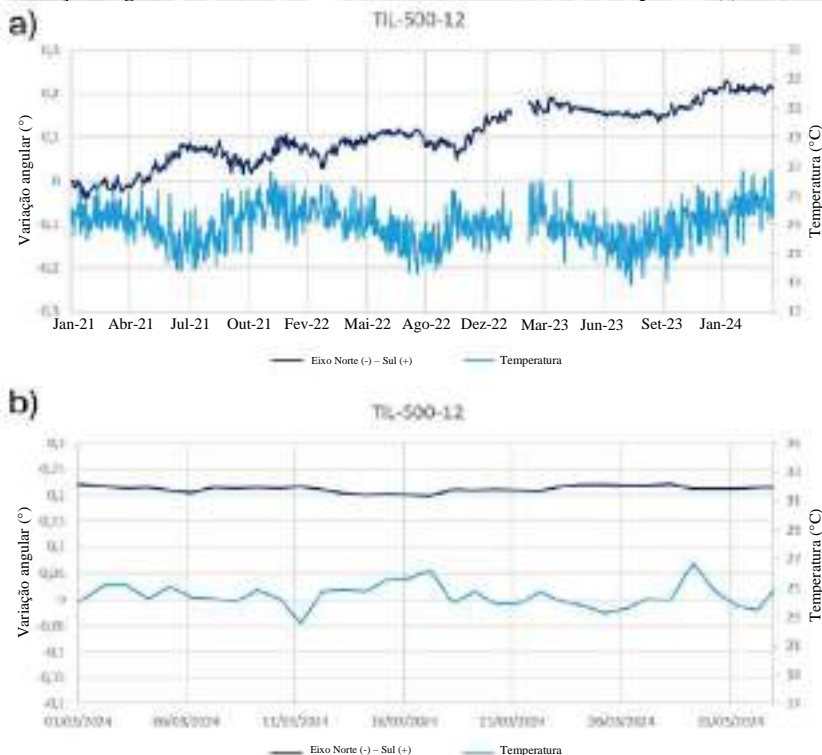


Figura 50: Variação Angular no Eixo B do Tiltmetro TIL-12 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação positiva em ambos os eixos do TIL-12, representando rotação na direção Sudeste. Em março de 2024, a rotação média é de $-0,009^\circ$ na direção Leste-Oeste e $-0,008^\circ$ na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0037

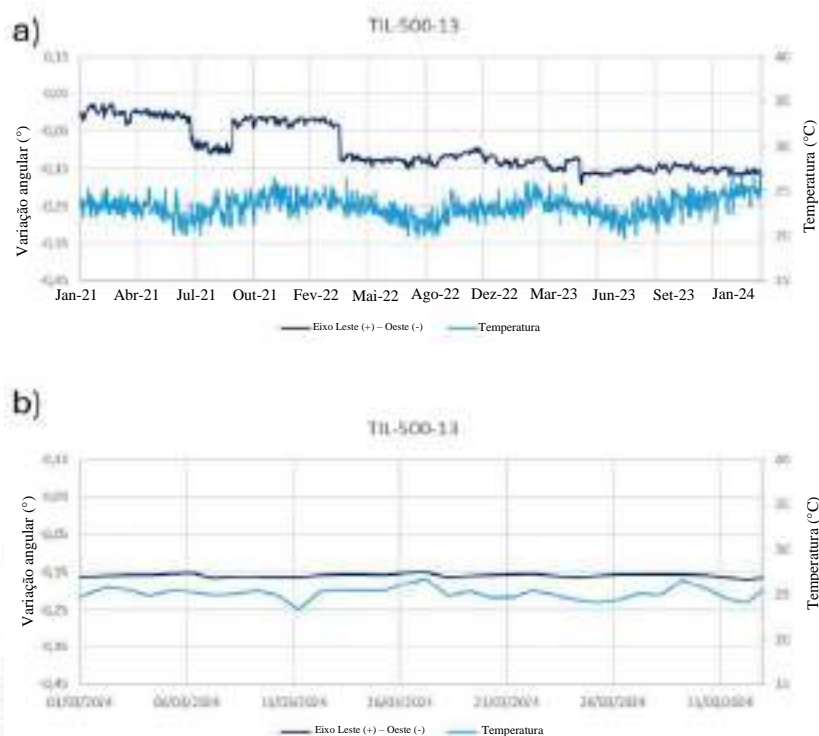


Figura 51: Variação Angular no Eixo A do Tiltímetro TIL-13 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

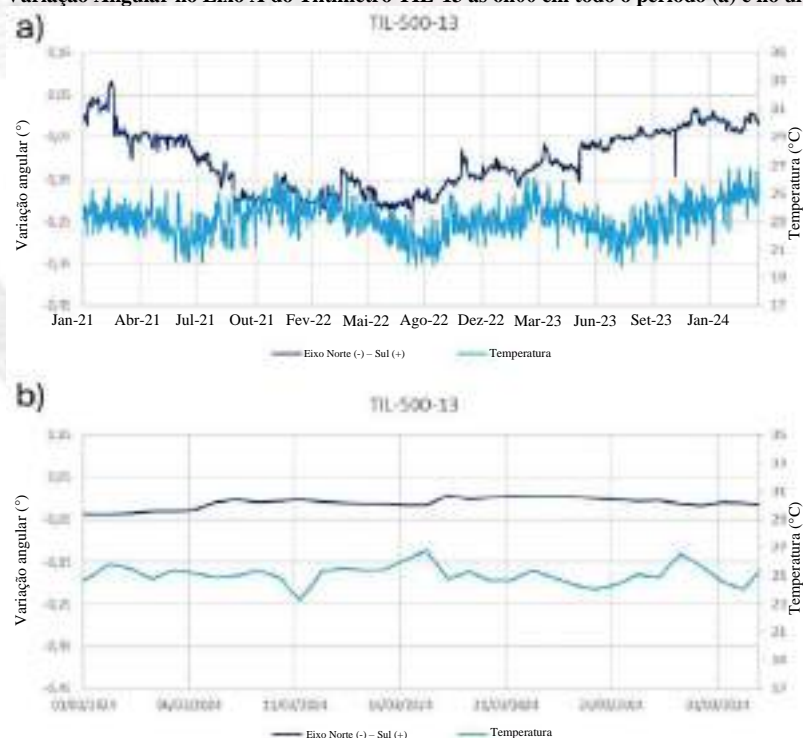


Figura 52: Variação Angular no Eixo B do Tiltímetro TIL-13 às 6h00 em todo o período (a) e no último mês (b).

No período todo (janeiro de 2021 - março de 2024), há uma tendência de variação negativa em ambos os eixos do TIL-13, representando uma possível tendência de rotação na direção Noroeste. Em março de 2024, a rotação média é de 0,004° na direção Leste-Oeste e 0,03° na direção Norte-Sul.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0038

Ao avaliar os dados do tiltmetro considerando as leituras das 6h00 de cada dia, nota-se que os movimentos no período foram, em geral, menores que 0,1°. Movimentos abruptos (movimentos singulares significativos) não foram observados durante o mês de março de 2024.

7 REDE MICROSSÍSMICA

Para monitorar atividades sísmicas naturais ou induzidas, determinando o hipocentro e epicentro dos eventos e suas magnitudes, uma rede de dez estações microssísmicas (E-01 a E-010) foi projetada, com as estações posicionadas em superfície e profundidade.

Para as estações de superfície e de 300 m, o dispositivo utilizado é o sismômetro Trillium Compact Posthole, produzido pela Nanometrics. Ele utiliza um sensor triaxial com sensibilidade de 750 V/m/s, podendo ser utilizado na superfície ou em profundidades de até 300 m.

Para as estações de 900 m (E-04, E-06 e E-09), o geofone PSS-17 Passive Seismic Sonde, fabricado pela Avalon Sciences, foi utilizado, com sensibilidade de 80 V/m/s.

Para ambos os dispositivos, um digitalizador Centaur, fabricado pela Nanometrics, foi utilizado.

A instalação dos instrumentos começou em junho de 2020 e terminou em novembro do mesmo ano. Ao longo dos meses de novembro e dezembro, as estações foram comissionadas.

A partir dos dados de março de 2022, a rede microssísmica também inclui 16 estações da Defesa Civil utilizando sensores ASIR (acelerômetros + sismômetros) a 200 m de profundidade e acelerômetros Reftek na superfície. A Tabela 12 e a Figura 53 apresentam dados de localização para toda a rede.

Código	Coordenada SIRGAS 2000 (25S)		Data de instalação	Profundidade (m)
	N	L		
E-01	8934260	198058	09/12/2020	300
E-02	8934275	198497	19/06/2020	Superfície
E-03	8934121	198685	18/06/2020	Superfície
E-04	8934079	198400	06/11/2020	859
E-05	8933799	198142	22/06/2020	Superfície
E-06	8933885	198259	26/10/2020	859
E-07	8933509	198284	23/06/2020	Superfície
E-08	8933388	198383	16/09/2020	300
E-09	8933080	198584	22/10/2020	869
E-10	8932794	198828	21/09/2020	300
MAC01	8934686	199314	-	Superfície
MAC02	8933725	199439	-	Superfície
MAC03	8933204	198554	-	Superfície
MAC04	8934155	199487	-	204
MAC05	8933873	198984	-	Superfície
MAC06	8933197	199350	-	Superfície
MAC07	8935183	198287	-	Superfície
MAC08	8934910	199058	-	Superfície
MAC09	8934140	198249	-	Superfície
MAC10	8934797	197596	-	Superfície
MAC11	8932787	198800	-	207,5
MAC12	8933110	199620	-	207
MAC13	8933697	198916	-	208,3
MAC14	8934427	198150	-	204
MAC15	8934499	198915	-	204,7
MAC16	8933001	199075	-	Superfície

Tabela 12: Coordenadas de estações microssísmicas.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0039



Figura 53: Localização de estações microssísmicas.

Os dados são coletados a uma alta frequência (de 200 a 1.000 amostras por segundo dependendo do instrumento) e enviados continuamente para um servidor em nuvem para processamento, além de serem gravados localmente em discos físicos.

O monitoramento das estações microssísmicas é feito por meio de um portal web (Athena) operado pela Nanometrics, no qual estão disponíveis os dados de todos os registros detectados pela rede. A detecção de registros abrange a região interna e externa da área de mineração (que pode ser vista na Figura 54 e com maior detalhe no Anexo C). Registros detectados fora da área de mineração não são analisados por este relatório.



Figura 54 - Área de Mineração da Braskem em Maceió, Alagoas.

A detecção de dados é realizada automaticamente. Os dados coletados pelas estações são continuamente enviados para um servidor web, onde são armazenados e processados. O processamento é inicialmente realizado automaticamente, por meio de algoritmos de inteligência artificial. Posteriormente, em até 24 horas após a detecção do registro, um analista verifica os dados processados automaticamente e os classifica em:

- Classe A: Eventos microssísmicos ocorridos dentro da área de mineração;
- Ruídos.

A classificação dos eventos como Classe A é realizada somente após revisão manual do analista, já que esta classificação depende da análise das características dos sinais.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0040

Os sinais microssísmicos são bastante característicos, permitindo distinguir a chegada das ondas P e S, e as primeiras estações a detectar os eventos são as estações de profundidade. A Figura 55 mostra o exemplo de um sinal de evento microssísmico. As linhas verdes indicam a chegada da onda P e as linhas azuis indicam a chegada da onda S.

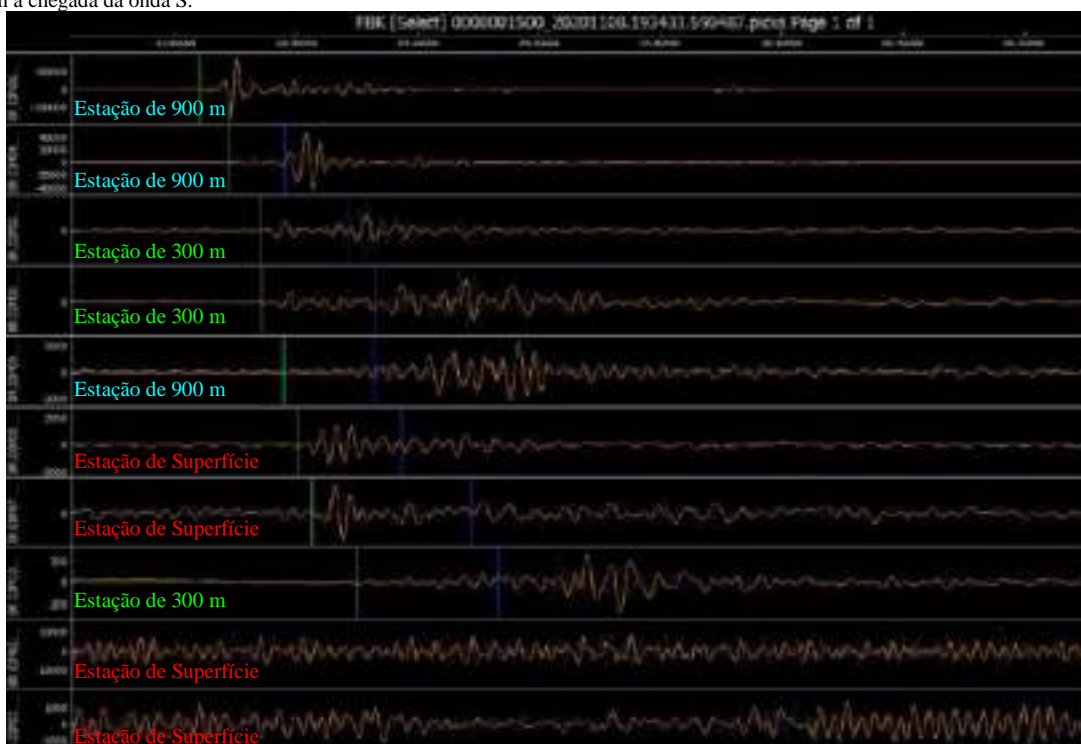


Figura 55: Exemplo de sinal microssísmico.

Em março de 2024, o sistema detectou um total de 3112 registros na área de interesse. Desses, após confirmação por analistas da Nanometrics através de revisão manual, 67 são eventos Classe A. Os outros registros são ruídos ou eventos fora da área de mineração.

A Figura 56 é um mapa cumulativo que mostra a localização geográfica de todos os eventos registrados desde o início do monitoramento (1º de janeiro de 2021). Os dados dos 67 eventos Classe A, ocorridos em março de 2024, são apresentados mais detalhadamente no Anexo B e o mapa com a localização dos eventos é apresentado na Figura 57.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0041

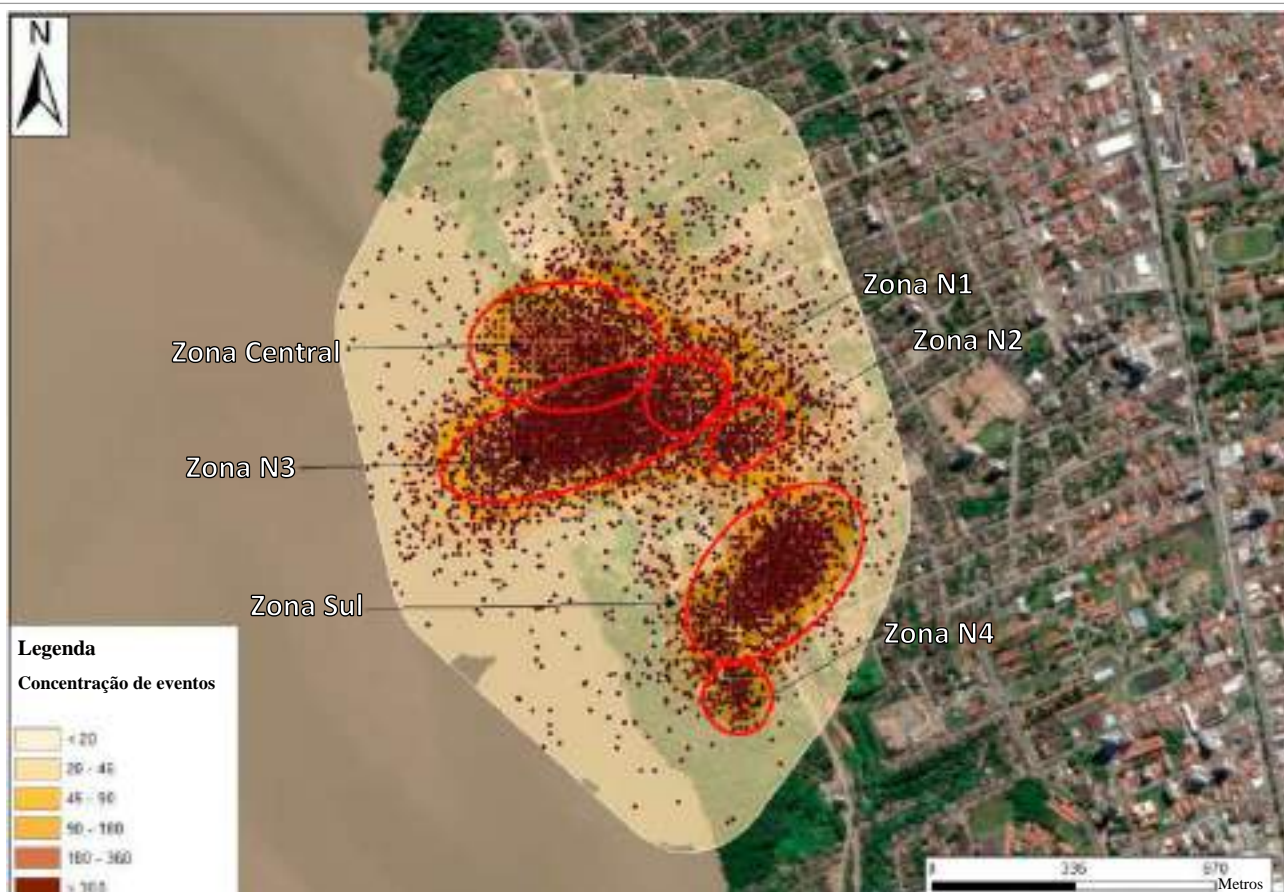


Figura 56: Definição de zonas de concentração.

Até o momento, cinco zonas de concentração de eventos em termos de localização epicentral puderam ser identificadas. A primeira está localizada na região central da área de mineração. A segunda zona de concentração está localizada mais ao Sul da área de mineração. As terceira e quarta zonas (N1 e N2) estão localizadas entre as zonas central e Sul. Nesta atualização, uma nova área foi identificada (N4), que está localizada ao Sul da área Sul. É notável que a geometria dessas zonas pode ser atualizada novamente com o aumento da série histórica observada nos próximos meses. Considerando o aumento dos eventos sísmicos a partir de 6 de novembro, mais uma área (N3) foi adicionada como consequência do aumento dos eventos sísmicos. Esta elipse será analisada separadamente (na próxima seção) porque se sobrepõe parcialmente com as áreas central e N1.

Essas zonas de concentração de eventos foram representadas, para fins de monitoramento, como cinco elipses (com a geometria de N1 e N4 aproximando-se da de um círculo), com localizações mostradas na Figura 56. As indicações coloridas presentes na Figura 56 têm o objetivo de ilustrar a concentração geográfica dos eventos e são cumulativas. Para isso, um mapa de calor (Kernel) foi gerado escolhendo-se uma zona de influência de 100 m de cada evento desde 1º de janeiro de 2021. A escolha desse valor teve como objetivo gerar um mapa que permitisse uma visão clara das áreas de maior concentração.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0042



Figura 57: Localização dos eventos Classe A em fevereiro de 2024.

Para cada um dos eventos Classe A detectados durante o período de monitoramento, são indicados os valores de magnitude local, coordenadas do epicentro e profundidade dos eventos. Para o epicentro e a profundidade, também é apresentada a informação sobre a elipse de erro, que é calculada considerando dois desvios padrão. Essa informação é abordada no Anexo B.

Nas Figuras 58 a 64, são observados os histogramas das principais informações dos eventos Classe A detectados pela rede nos últimos três meses. Pode-se observar que a rede foi capaz de detectar eventos de magnitude muito pequena, com magnitudes abaixo de -3,5 nos dados históricos. Em março de 2024, o eixo maior da elipse de erro tem um valor médio da ordem de 87,9 m, o eixo menor tem um valor médio da ordem de 33,7 m. Ao avaliar a direção preferencial do eixo maior da elipse de erro, nota-se que, como regra, a classe mais frequente do azimute do eixo maior da elipse de erro está entre 230° e 261°.

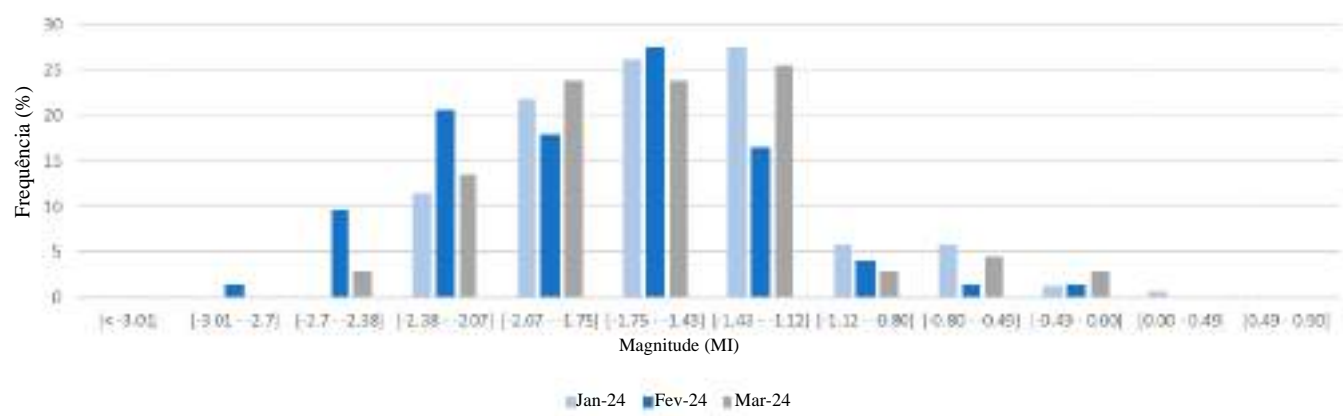


Figura 58: Histograma de Magnitude de Eventos Classe A.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0043

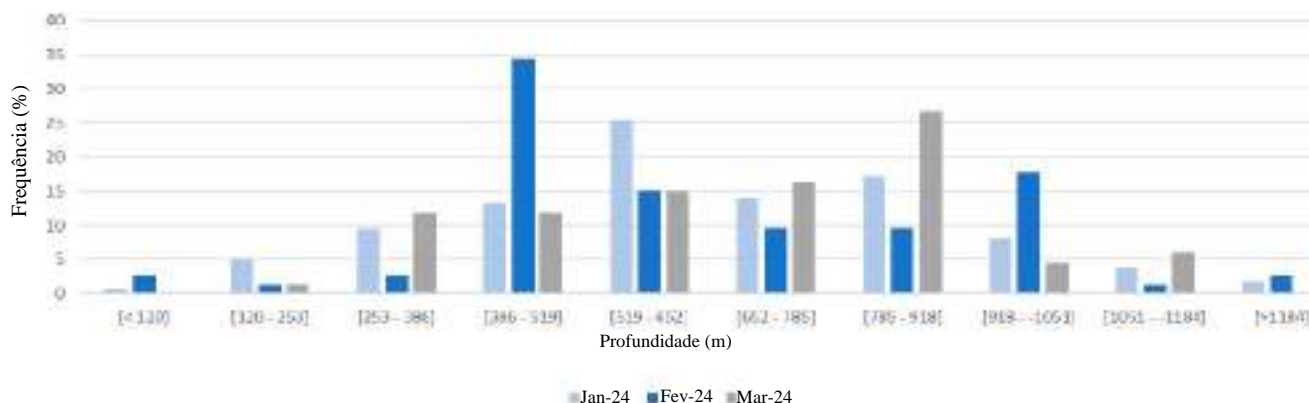


Figura 59: Histograma de Profundidade de Eventos Classe A.

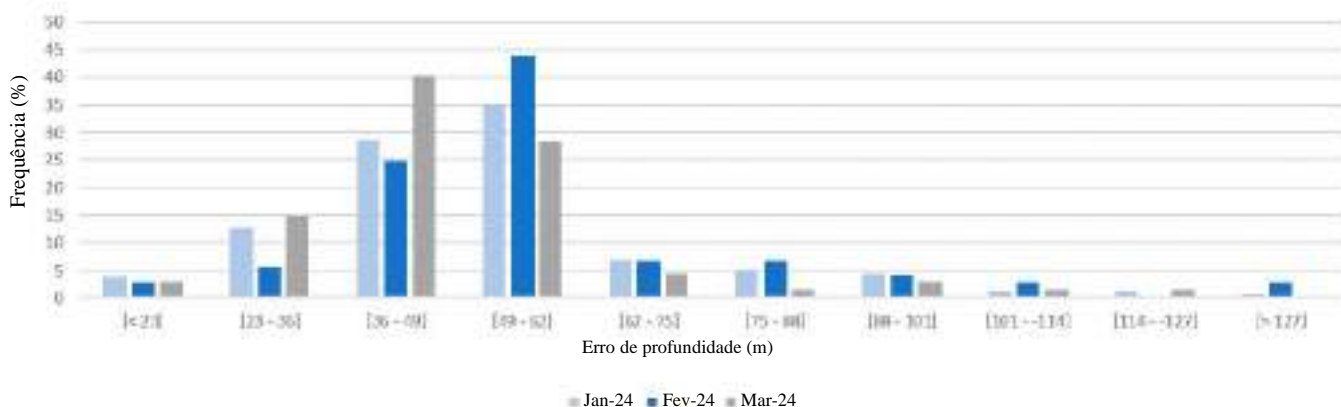


Figura 60: Histograma de Erro de Profundidade de Eventos Classe A.

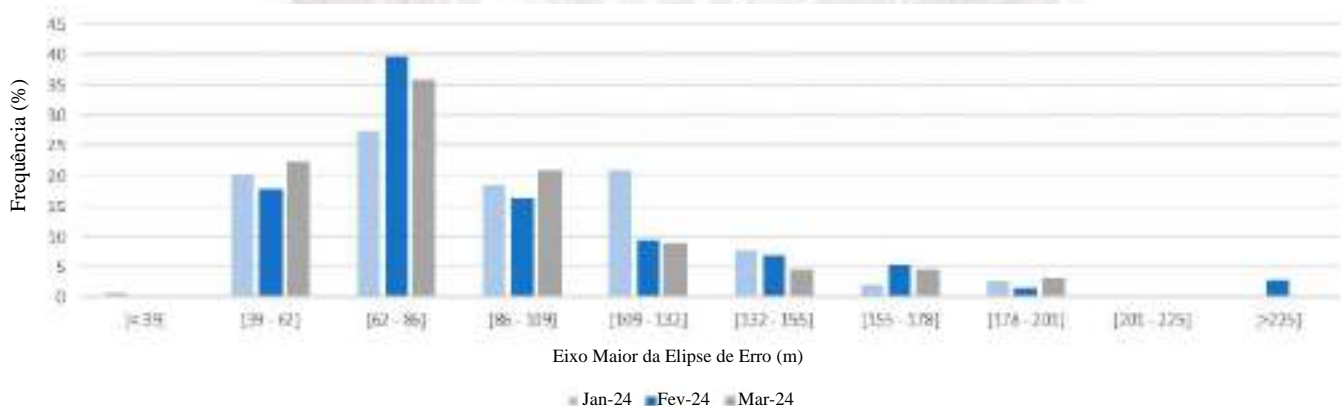


Figura 61: Histograma do Eixo Maior da Elipse de Erro de Eventos Classe A.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0044

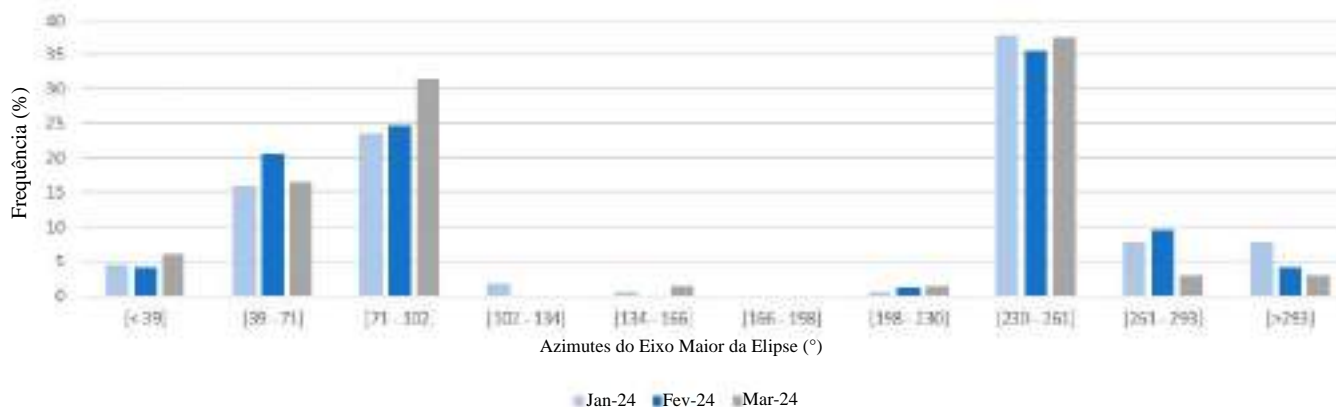


Figura 62: Histograma de Azimutes do Eixo Maior da Elipse de Eventos Classe A.

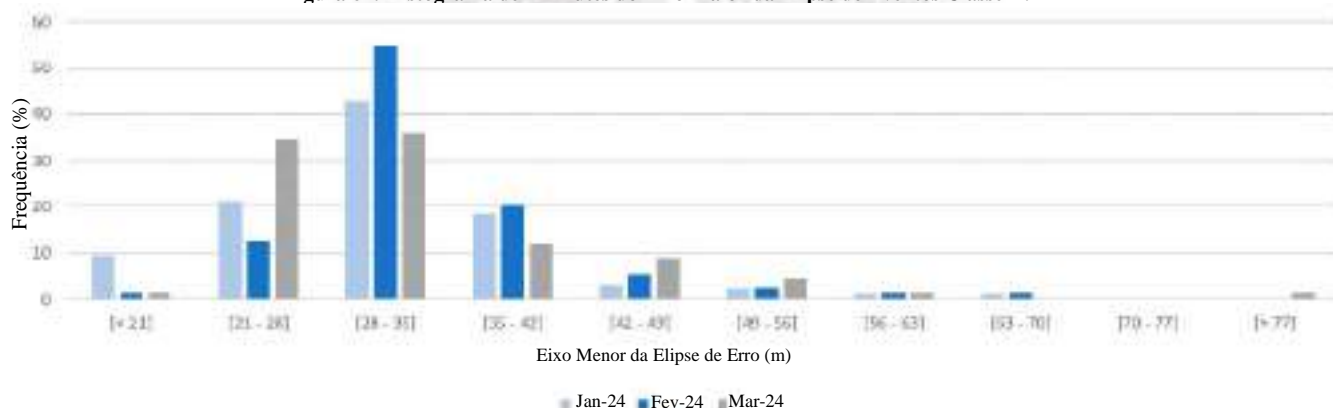


Figura 63: Histograma do Eixo Menor da Elipse de Erro de Eventos Classe A.

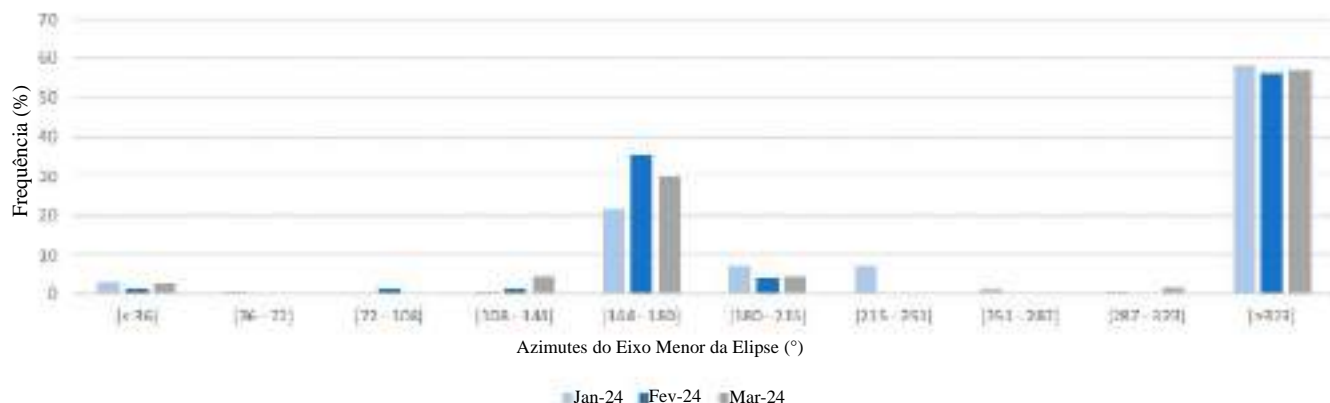


Figura 64: Histograma de Azimute do Eixo Menor da Elipse de Eventos Classe A.

7.1 Alertas

O sistema de aviso sísmico antecipado proposto para Maceió refere-se à taxa horária e magnitude dos eventos microsísmicos (evento sísmico único) registrados durante o crescimento e colapso final da superfície da caverna de Cerville, cujas formas de onda foram processadas pelo algoritmo Athena operando em Maceió.

Os critérios, limiares e níveis, no entanto, foram ajustados especificamente para o local de Maceió, considerando também as diferenças dos dois contextos sismogênicos, que são descritos nos próximos parágrafos.

Alerta de taxa horária

O alerta baseado na taxa horária tem os seguintes quatro níveis de status: NORMALIDADE, OBSERVAÇÃO, ATENÇÃO e ALERTA (Tabela 13), que são definidos pela combinação de três parâmetros: taxa horária de detecção automática de eventos microsísmicos (Txh) quantificada em eventos por hora, persistência dessa taxa por um certo período de tempo (P) e pela densidade de epicentros (De) definida pelo número de eventos microsísmicos por metro quadrado (N/m²), que servirá como base para determinar possíveis níveis operacionais dentro do Plano de Contingência.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0045

PROTOCOLO DE ALERTA PARA PROCESSO DE SINKHOLE				
Status	Limites de entrada*	Possíveis consequências do processo	Verificações recomendadas	Crítérios de saída
NORMALIDADE	Taxa ≤ 15 ou De > 5.10 ⁻⁴ N/m ² P ≥ 0 horas	-	• Monitoramento contínuo	-
OBSERVAÇÃO	Taxa > 15 P > 2 horas De > 5.10 ⁻⁴ N/m ²	-	• Monitoramento contínuo • Acompanhar evolução	• Redução dos limites para o status de normalidade; • Verificação técnica de possíveis causas.
ATENÇÃO	15 < Taxa ≤ 60 P > 2 horas De > 5.10 ⁻⁴ N/m ²	Possível início de ascensão de(s) cavidade(s).	• Monitoramento contínuo • Analisar os dados fornecidos pelos demais instrumentos, tais como: DGPS, inclinômetros, tilímetros, piezômetros e qualquer instrumentação associada à rede de monitoramento	• Redução dos limites para o status de normalidade; • Verificação técnica de possíveis causas.
ALERTA	Taxa > 60 P > 2 horas De > 5.10 ⁻⁴ N/m ²	Possível Sinkhole.	• Monitoramento contínuo • Analisar os dados fornecidos pelos demais instrumentos, tais como: DGPS, inclinômetros, tilímetros, piezômetros e qualquer instrumentação associada à rede de monitoramento	• Redução dos limites para o status de normalidade; • Verificação técnica de possíveis causas.

Tabela 13: Níveis de alerta de taxa horária do protocolo (do Protocolo de emissão de alerta antecipado para o processo de sinkhole na área do mapa de ações prioritárias - versão 4).

Alerta de magnitude

O alerta baseado na magnitude tem os seguintes quatro níveis de status: NORMALIDADE, OBSERVAÇÃO, ATENÇÃO, ALERTA e ALERTA ALTO (Tabela 14), que são definidos por limites de magnitude de eventos automáticos detectados pelo Athena: NORMALIDADE magnitude < 1 ML; OBSERVAÇÃO magnitude 1 ≤ ML < 1,4; ATENÇÃO 1,4 ≤ ML < 2,4; ALERTA 2,4 ≤ ML < 3,0; e ALERTA ALTO (ML ≥ 3,0).

O limiar de magnitude de 1,4 ML foi selecionado, pois é o valor mínimo de magnitude medido até o momento que foi sentido na superfície. O limiar de magnitude de 2,4 ML refere-se ao terremoto registrado em 03 de março de 2018.

PROTOCOLO DE ALERTA PARA EVENTOS SISMOLÓGICOS			
Status	Limites de entrada	Possíveis consequências	Crítérios de saída
NORMALIDADE	Eventos com Magnitude < 1 ML	-	-
OBSERVAÇÃO	Eventos com Magnitude 1 ≤ ML < 1,4	Evento sísmico provavelmente sentido nas proximidades do epicentro. Possivelmente regiões próximas podem sofrer com algum tipo de dano nas edificações (fissuramento, queda de objetos, etc).	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.
ATENÇÃO	Eventos com Magnitude 1,4 ≤ ML < 2,4	Evento sísmico provavelmente sentido nas proximidades do epicentro e entorno. Há possibilidade que as Edificações e infraestrutura sofram algum tipo de dano. Ex: fissuras/trincas/rachaduras nas edificações, colapso em edificações singelas em estado crítico, rompimento de tubulação, danos na rede de distribuição elétrica e de abastecimento em geral.	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.
ALERTA	Eventos com Magnitude 2,4 ≤ ML < 3,0	Evento sísmico provavelmente sentido na região do mapa V04 e áreas adjacentes. Edificações e infraestrutura podem sofrer algum tipo de dano ou até mesmo colapso. Ex: fissuras/trincas/rachaduras nas edificações, colapso das edificações, rompimento de tubulação, danos na rede elétrica e sistema de abastecimento, dano no sistema de esgotamento sanitário, deslizamento de barreiras, manifestação geológica de fraturamento do solo e/ou intensificação das existentes.	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.
ALERTA ALTO	Eventos com Magnitude ML ≥ 3,0	Evento sísmico provavelmente sentido na região do mapa V04 e áreas adjacentes. Edificações e infraestrutura podem sofrer algum tipo de dano ou até mesmo colapso. Ex: fissuras/trincas/rachaduras nas edificações, colapso das edificações, rompimento de tubulação, danos na rede elétrica e sistema de abastecimento, dano no sistema de esgotamento sanitário, deslizamento de barreiras, manifestação geológica de fraturamento do solo e/ou intensificação das existentes.	Verificação e conclusão dos processos estabelecidos no plano de contingência.

Tabela 14: Níveis de alerta de magnitude do protocolo (do Protocolo para emissão de alerta para eventos sísmicos na área do mapa de ações prioritárias – versão 4).

Em março de 2024, nenhum alerta ou aviso foi emitido usando os critérios de magnitude (Figura 65), enquanto 4 limites de observação (nível de observação) foram alcançados usando os critérios de taxa horária (Tabela 15, Figura 66) devido a ruídos antropogênicos relacionados a uma operação de perfuração na Área 2.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0046

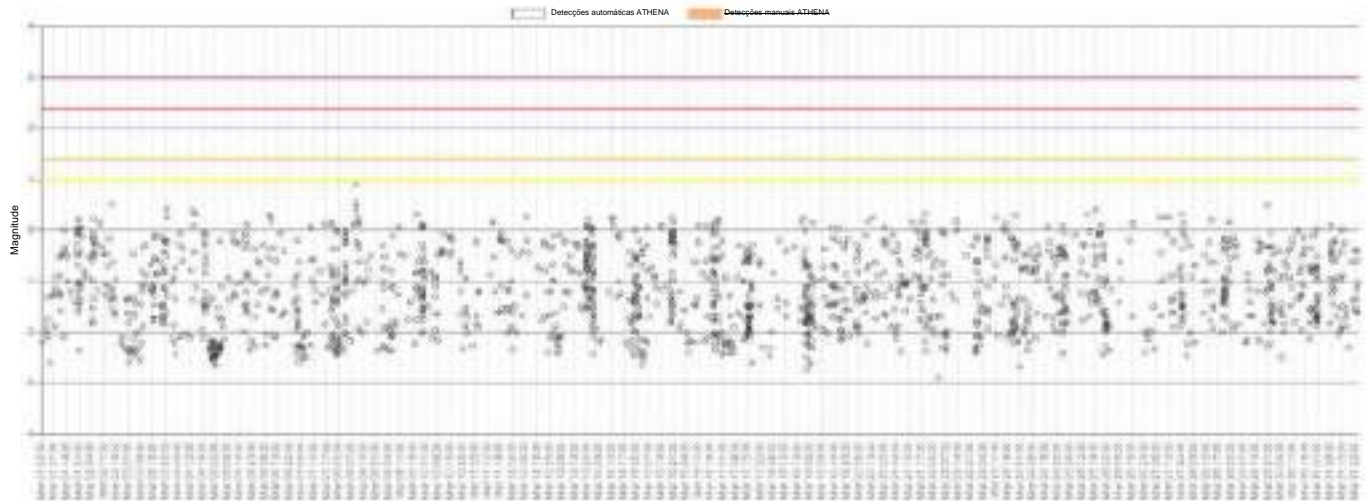


Figura 65 - Alerta de magnitude do EWS e limiares relacionados.

Alerta	Início	Fim	Descrição	Nível
Taxa horária	13/03/2024	13/03/2024	taxa = 15,000000, densidade = 0,000058	Observação
Taxa horária	13/03/2024	13/03/2024	taxa = 15,000000, densidade = 0,000050	Observação
Taxa horária	09/03/2024	09/03/2024	taxa = 15,000000, densidade = 0,000054	Observação
Taxa horária	09/03/2024	09/03/2024	taxa = 15,000000, densidade = 0,000054	Observação

Tabela 15 - Alerta de Taxa Horária do EWS.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBAHOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0047

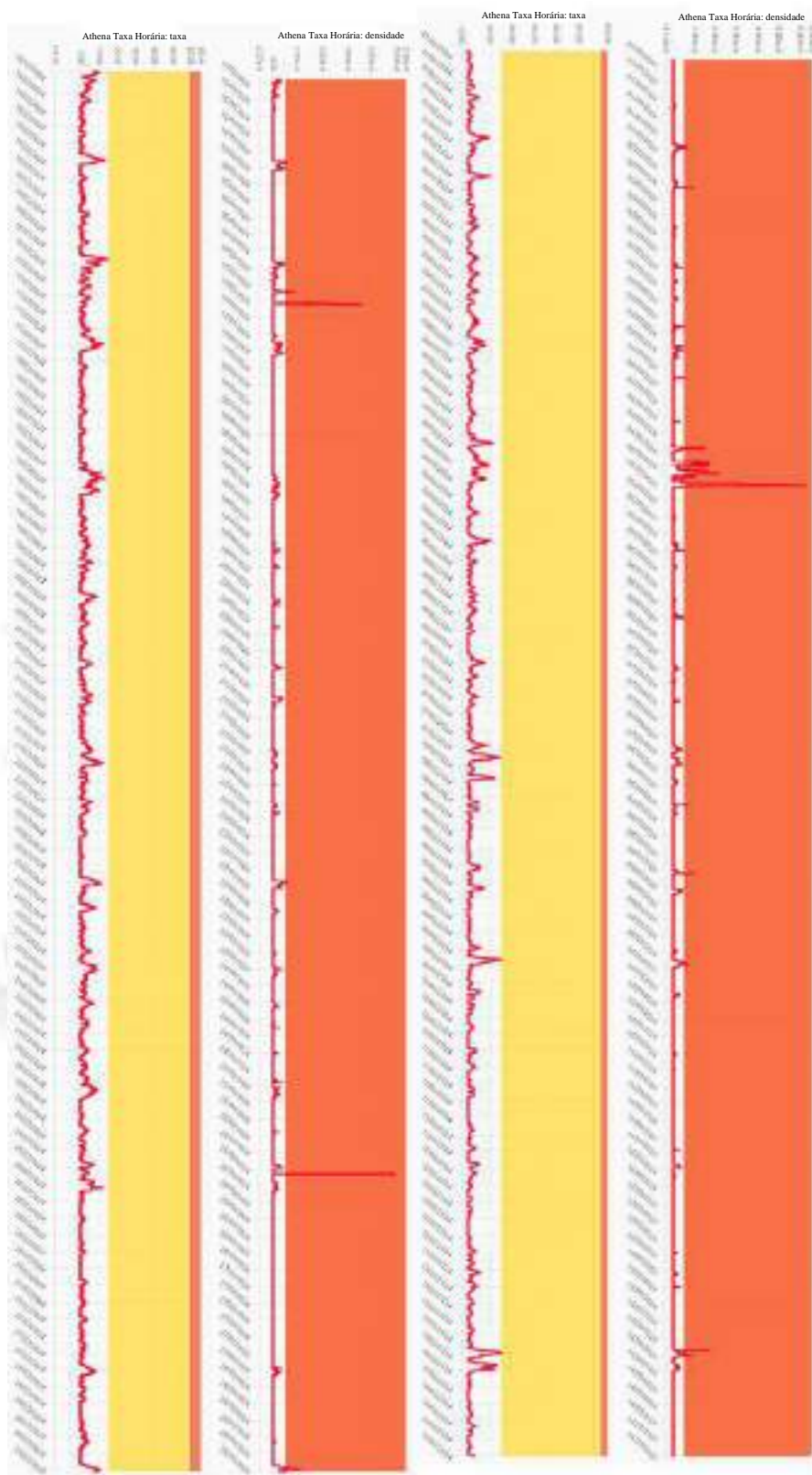


Figura 66 - Taxa e densidade dos critérios de taxa horária



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0048

8 CONSOLIDAÇÃO DE DADOS

8.1 Rede Microsísmica

Conforme relatado anteriormente, 67 eventos Classe A foram confirmados por meio de verificação manual em março de 2024. A Tabela 16 resume as principais informações entre os eventos Classe A. A magnitude varia entre -2,48 MI e -0,43 MI, com média de -1,6 MI.

Eventos Classe A	Quantidade	Magnitude (MI)			Profundidade (m)		
		mínima	média	máxima	mínima	média	máxima
Eventos totais	67	-2.48	-1.6	-0.43	200	720	1630
Dentro da zona central	7	-1.77	-1.39	-0.46	670	956	1440
Dentro da zona Sul	15	-2.35	-1.60	-0.59	300	550	810
Dentro da zona N1	1	-1.22	-1.22	-1.22	1080	1080	1080
Dentro da zona N2	1	-2.0	-2.0	-2.0	200	200	200
Dentro da zona N4	1	-1.67	-1.67	-1.67	680	680	680
Fora das zonas de concentração	42	-2.48	-1.62	-0.43	300	747	1630

Tabela 16: Tabela Resumida dos Principais Dados dos Eventos Classe A.

Conforme explicado nos relatórios anteriores, existem cinco regiões geográficas que, historicamente (dados desde 1º de janeiro de 2021), possuem maior densidade de registro de eventos. Essas regiões foram aqui referidas como zonas de concentração central, Sul, N1, N2 e N4. Dos 67 eventos Classe A do período, 42 (62,7%) ocorreram em alguma das zonas. Em março de 2024, parte dos eventos Classe A ocorreu em uma área denominada N3. A estatística dos eventos Classe A nesta área foi analisada isoladamente (Tabela 17).

Eventos Classe A	Quantidade	Magnitude (MI)			Profundidade (m)		
		mínima	média	máxima	mínima	média	máxima
Dentro da zona N3	10	-1.96	-1.47	-1.21	550	835	1080

Tabela 17 – Tabela Resumida dos Principais Dados de Eventos Classe A na Área N3.

É possível identificar que, em março de 2024, a zona de concentração central representa 10,4% de todos os eventos Classe A. Comparada à zona de concentração Sul, a zona de concentração central apresenta um menor número de eventos, uma magnitude média menor e uma profundidade média maior. A Magnitude média na zona de concentração N1 é menor que a da zona central, enquanto N2 e N4 apresentam uma magnitude média maior. Em relação à zona central, N2 e N4 exibem uma profundidade média mais rasa, enquanto N1 é caracterizada por uma maior profundidade média. Em relação à zona de concentração sul, N1, N2 e N4 mostram uma magnitude média mais baixa. Em relação à zona sul, a zona de concentração N2 exibe uma profundidade média mais rasa, enquanto N1 e N4 são caracterizadas por uma maior profundidade média. Em relação à zona N3, em março de 2024, o número de eventos é maior em relação aos meses anteriores, representando 14,9% de todos os eventos da Classe A. Sua magnitude é maior do que a da zona central e sua profundidade média é mais rasa do que a da zona central.

Os eventos Classe A também podem ser observados cumulativamente por meio da linha do tempo na Figura 67. Observa-se que as ocorrências dos eventos apresentaram tendência de crescimento quase constante fora das zonas de concentração.



Figura 67: Linha do tempo com a quantidade acumulada de Eventos Classe A registrados.

Considerando os eventos Classe A incluídos na zona de concentração N3, os gráficos cumulativos não mostram períodos específicos nos quais um aumento claro da sismicidade possa ser observado (Figuras 67 e 68).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0049



Figura 68 - Linha do tempo com a quantidade acumulada de eventos classe A registrados na zona N3.

Por fim, a Figura 69 mostra a taxa de ocorrência de eventos Classe A por dia durante o mês de março de 2024. Observa-se que a ocorrência de eventos apresentou o maior número de eventos registrados (5) nos dias 1, 11 e 16 de março.

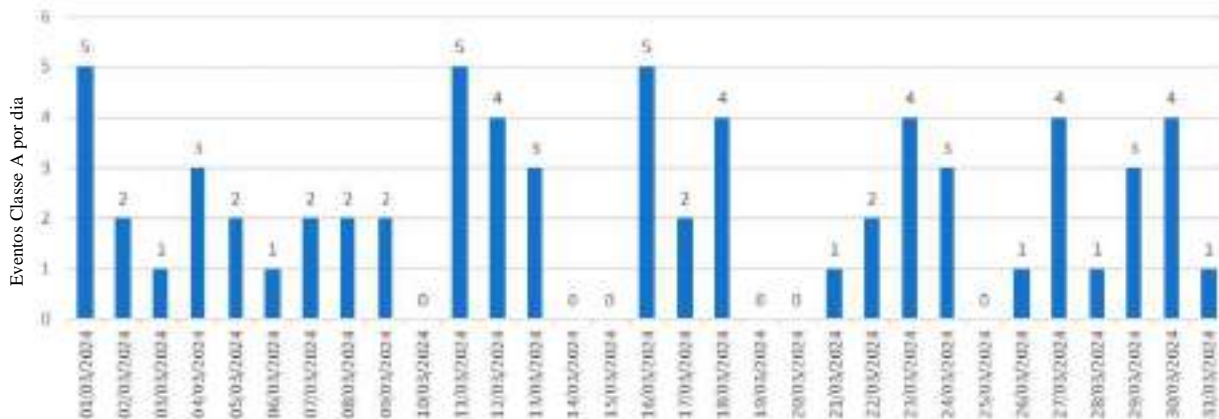


Figura 69: Taxa Diária de Eventos Classe A.

9 CONCLUSÕES

O presente relatório resume os principais resultados da análise dos dados de monitoramento de deformações do solo obtidos dos dados do satélite InSAR fornecidos pela Braskem até fevereiro de 2024 e de dados do D-GPS, Inclínômetros, Tiltímetros e redes microsísmicas fornecidos pela Braskem até março de 2024.

Os dados do InSAR mostram, de forma similar à atualização anterior, um campo de deformação extenso de formato semi-elíptico alongado na direção paralela à costa da lagoa, com valores máximos centralizados na área entre os poços M12 ao Norte e M20 ao Sul. Para o conjunto de dados descendentes mais recentes, o deslocamento máximo acumulado de junho de 2019 a fevereiro de 2024 é de 968,4 mm ao longo da linha de visão e a velocidade máxima é de 189,4 mm/ano ao longo da linha de visão, 80 m a Sudeste do poço M10, similar ao medido em janeiro de 2024 (188,7 mm/ano). Para o conjunto de dados ascendente mais recente, o deslocamento máximo acumulado de junho de 2019 a fevereiro de 2024 é de 887,8 mm ao longo da linha de visão e a velocidade máxima é de 180,1 mm/ano ao longo da linha de visão, 25 m a Leste do poço M27D, similar ao valor medido em janeiro de 2024 (180,3 mm/ano).

Os dados do D-GPS e os dados decompostos do InSAR estão apresentando um campo de deformação contínuo e regular, de formato afunilado, com vetores de deslocamento apontando a parte central da área de poços, com movimentos quase verticais acima das cavernas e fortes componentes horizontais nas áreas próximas.

Ao calcular a velocidade média anual a partir das componentes vertical e Leste-Oeste do InSAR, e comparando essas velocidades mensalmente, foi possível traçar as considerações a seguir. Ao compararmos as duas últimas atualizações na direção vertical, a maior parte dos buffers apresentam velocidades similares em relação às medidas da atualização anterior. Nenhuma aceleração ou desaceleração superior a 5 mm/ano foi medida, exceto pelo buffer n.º 4, que apresenta um aumento de 13 mm/ano.

Ao longo da componente Leste-Oeste e comparando as duas últimas atualizações, todos os buffers apresentam velocidades semelhantes em relação às medidas na atualização anterior. Não foram medidas acelerações ou desacelerações maiores que 5 mm/ano, exceto para os buffers n.º 4 (+19 mm/ano), n.º 9 e 10 (+6 mm/ano).

Em março de 2024, as estações D-GPS mostram valores semelhantes em relação ao mês anterior ao longo da componente vertical, exceto pela estação M32 que mostra uma diminuição de 7 mm/. Considerando a componente Leste-Oeste, comparando as últimas duas atualizações, todas as estações D-GPS mostram valores em concordância com os dos meses anteriores. Quanto à direção Norte-Sul, a comparação da velocidade medida em março de 2024 não mostra mudanças evidentes em relação à atualização anterior, exceto para a estação DG-55 que passou de 1 mm/ano na direção Norte para 5 mm/ano na direção Sul.

Em março de 2024, não foram detectados avisos nem alarmes ao longo das três componentes.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0050

Comparando os dados do D-GPS com os do InSAR, onde estão disponíveis, é possível notar que a concordância entre os dois conjuntos de dados é boa. De fato, há concordância em 6 casos de 10 ao longo da componente vertical. Ao longo da componente Leste-Oeste, a concordância é melhor, ocorrendo 8 vezes em 10.

Na área urbana, os pontos D-GPS mostram uma boa concordância com os dados do InSAR na direção vertical. De fato, a concordância ocorre 31 vezes em 59 casos. Em caso de discrepância, as medidas D-GPS apresentam valores maiores em relação ao InSAR. A concordância é perfeita ao longo da componente Leste-Oeste (59 vezes em 59).

Quanto aos inclinômetros, foi possível observar que os deslocamentos acumulados no topo desde o início do monitoramento variam entre 66,5 e 196,7 mm. Ao avaliar o valor do incremento mensal no topo dos instrumentos, há um deslocamento médio de 9,74 mm, o que representa um valor maior do que a média mensal registrada até agora e ocorre principalmente devido ao IN004. Deslocamentos de pequena profundidade também foram identificados nos quatro sensores e podem ser associados ao processo de recalque da coluna dos inclinômetros nessas regiões. Deve-se notar que a interpretação dos deslocamentos horizontais representa um monitoramento de longo prazo, ou seja, análises mais detalhadas, bem como conclusões sobre a taxa/velocidade dos deslocamentos medidos, podem ser avaliadas com o aumento da série histórica.

Os movimentos indicados pelos tiltímetros foram, em geral, inferiores a 0,1°. Movimentos abruptos (movimentos significativos isolados) não foram observados durante março de 2024.

Quanto à atividade microssísmica, a rede confirmou, por verificação manual, 67 eventos Classe A durante o período de monitoramento. A magnitude dos eventos varia entre -2,48 MI e -0,43 MI, com uma média de -1,6 MI. Observa-se que o maior número de eventos foi registrado em 1, 11 e 16 de março (5 eventos). Em março de 2024, nenhum alerta ou aviso foi emitido usando os critérios de magnitude, enquanto 4 limiares de observação (nível de observação) foram alcançados usando os critérios de taxa horária.

ANEXOS

A. Gráficos dos Inclinômetros

DMS BRK001-250-0421

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC001

Projeto: Maceió

Avaliado por: C.S.G.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

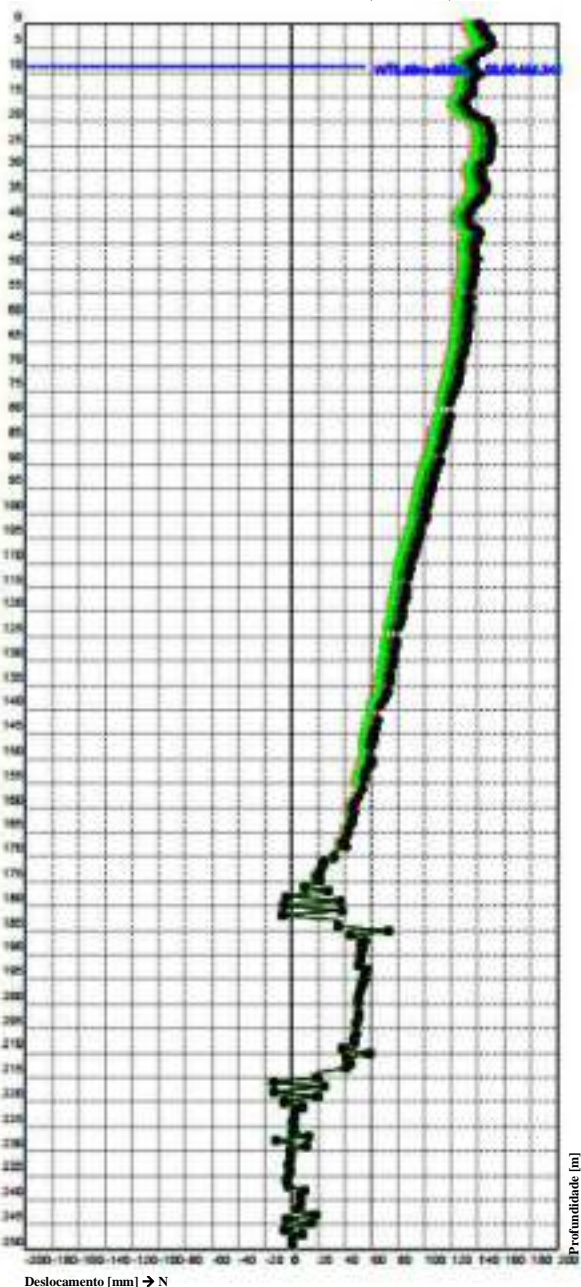
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0051

DMS BRK001-250-0421: Deslocamento Norte - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

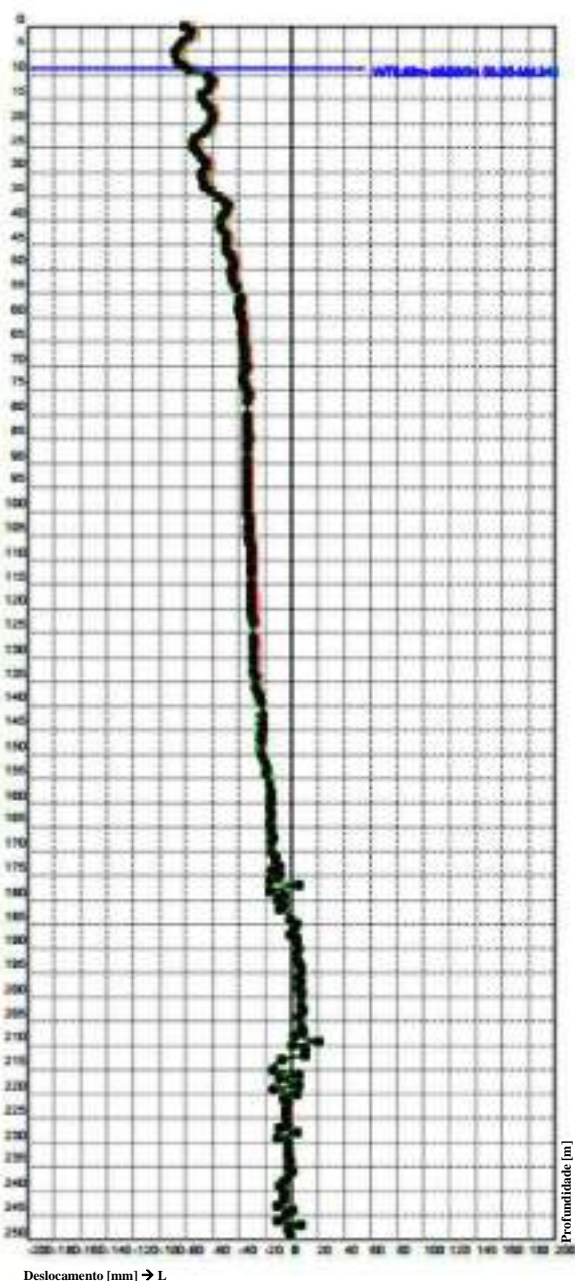
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0052

DMS BRK001-250-0421: Deslocamento Leste - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada:	BRASKEM
Site:	INC001
Projeto:	Maceió
Intervalo de monitoramento:	0-250 m bgl
Data de instalação:	27/04/2021
Data de calibração:	07/07/2021 09:30
Observações:	Direção revisada P+ 141°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00	24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00	10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00	



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBA NOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

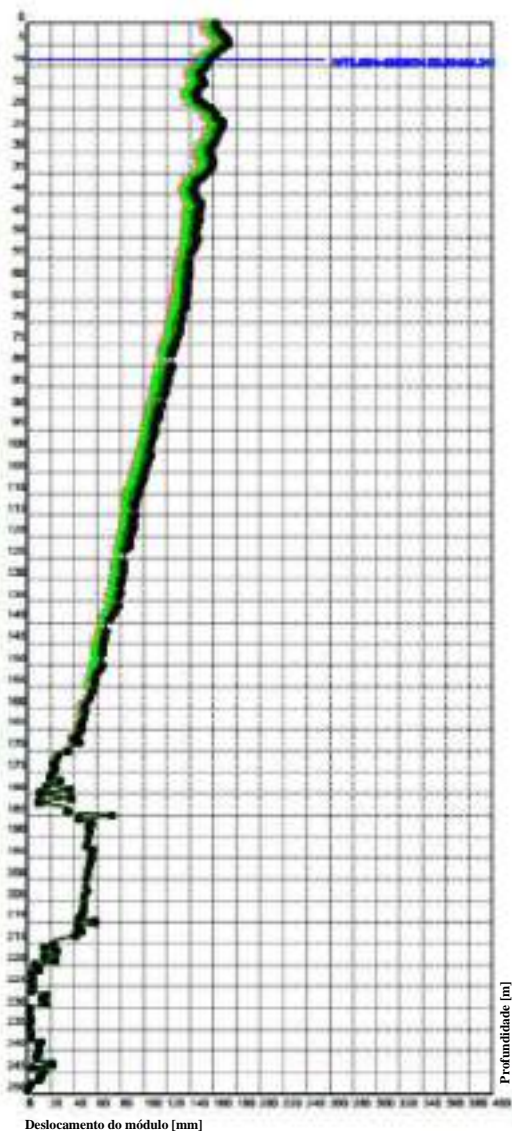
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0053

DMS BRK001-250-0421: Deslocamento do Módulo - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada:	BRASKEM
Site:	INC001
Projeto	Maceió
Intervalo de monitoramento:	0-250 m bgl
Data de instalação:	27/04/2021
Data de calibração:	07/07/2021 09:30
Observações:	Direção revisada P+ 141°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00	24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00	10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00	





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBAKOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

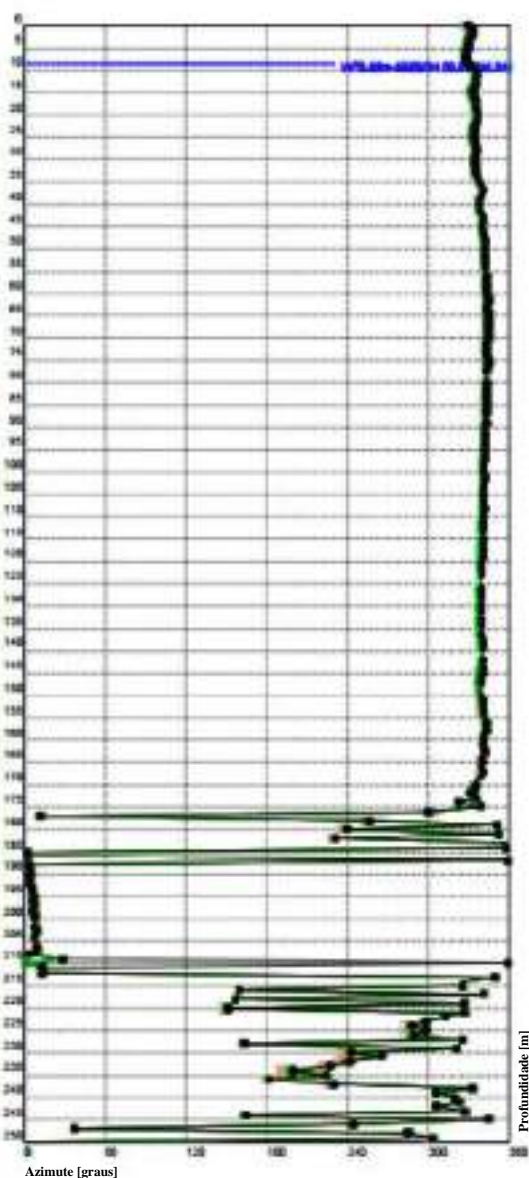
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0054

DMS BRK001-250-0421: Deslocamento Azimutal

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)



Legenda:
01 de abril de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00
24 de março de 2024 00:00
10 de março de 2024 00:00





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

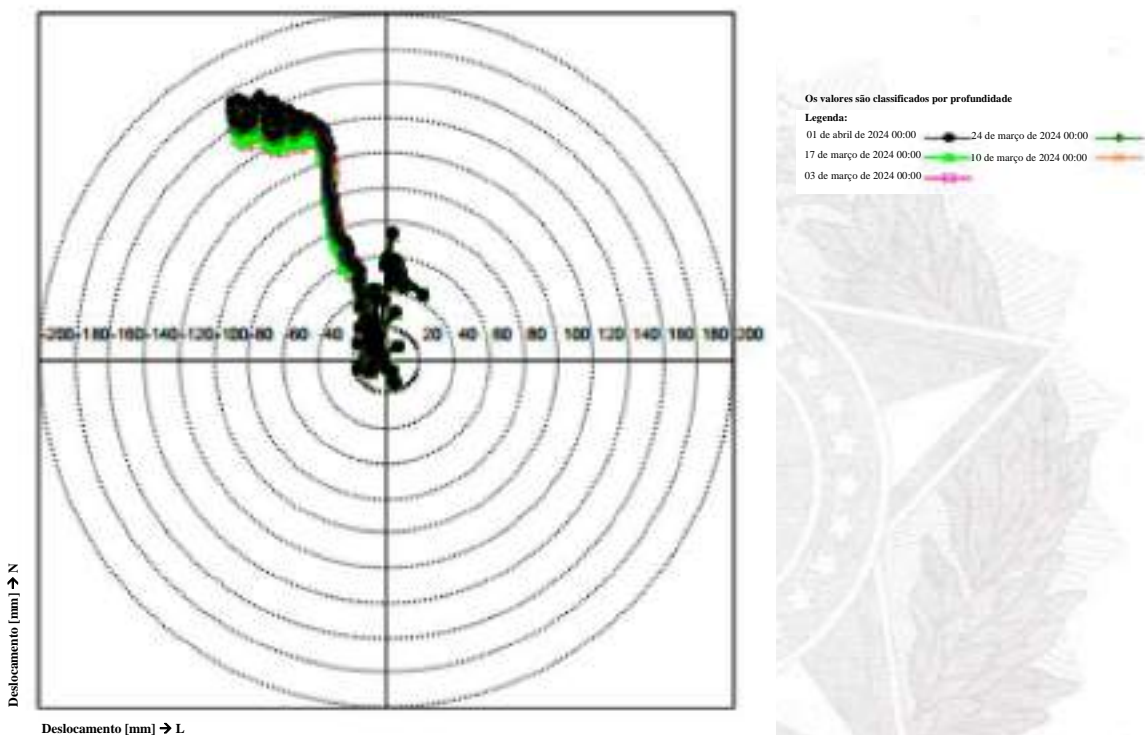
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0055

DMS BRK001-250-0421: Diagrama polar - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucope nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

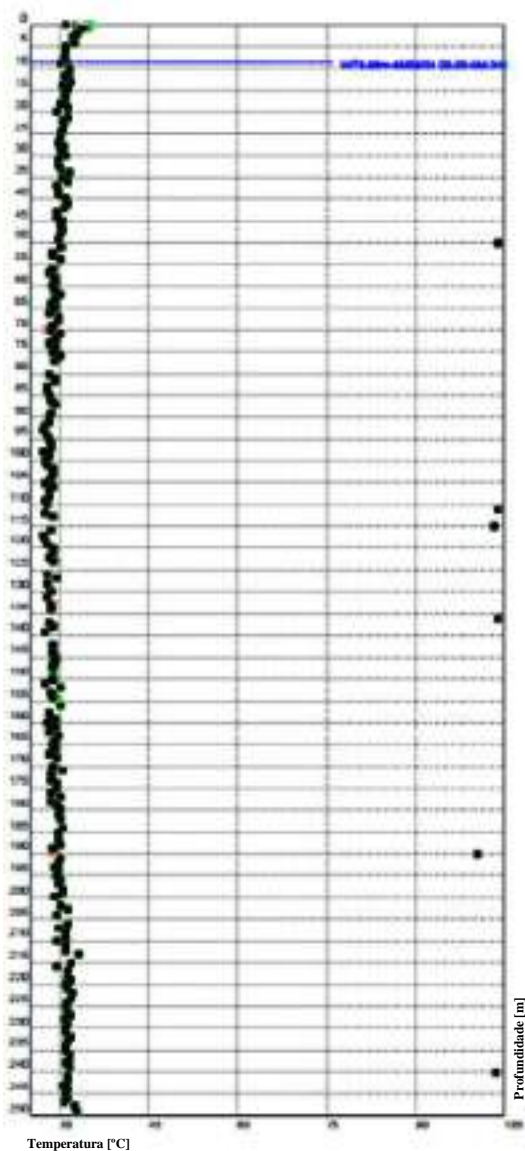
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0056

DMS BRK001-250-0421: Temperatura

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

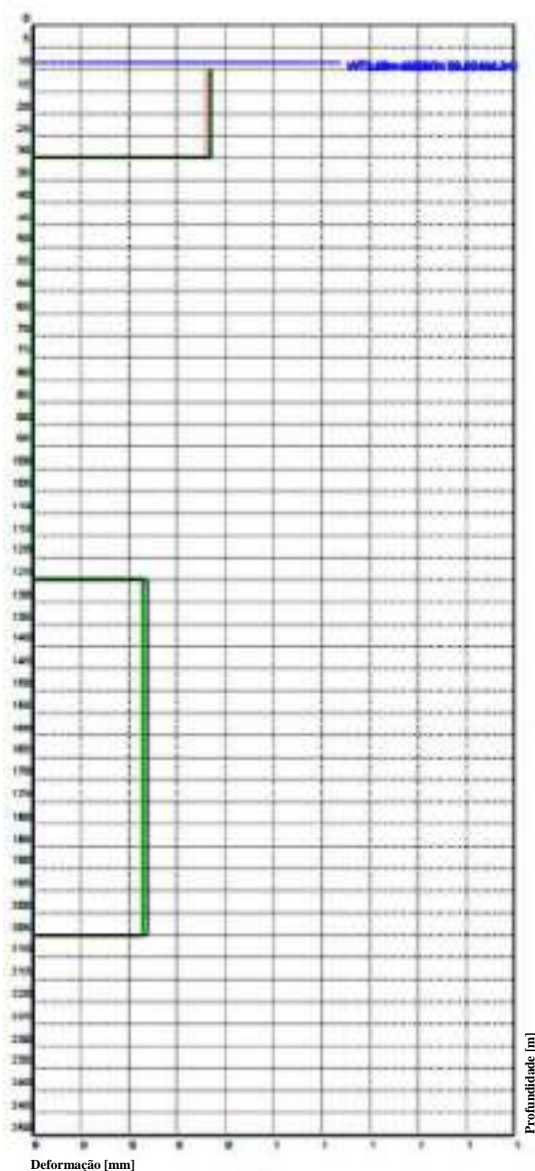
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0057

DMS BRK001-250-0421: Deformações [mm]

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0058

DMS BRK001-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
249.00	0	-0.03	0.91	8.23	-0.37	0.44	302.47	32.90	-
248.00	1	-0.18	0.91	8.80	-2.93	3.04	285.29	32.60	-
247.00	2	0.44	0.98	8.23	6.11	10.25	36.59	30.70	-
246.00	3	-0.74	-0.92	-4.94	-0.81	10.98	243.28	21.50	-
245.00	4	0.12	1.17	14.63	-3.90	15.14	345.08	30.90	-
244.00	5	0.91	-1.08	-4.23	1.18	4.30	164.41	21.30	-
243.00	6	-0.94	1.07	17.38	-11.04	20.57	327.54	30.40	-
242.00	7	0.43	-0.67	4.35	-4.17	7.55	305.18	21.30	-
241.00	8	0.01	0.17	7.17	-5.36	8.95	323.22	21.30	-
240.00	9	-0.04	-0.01	7.19	-4.05	9.40	319.92	103.50	-
239.00	10	-0.12	-0.09	8.17	-8.55	10.55	305.81	21.60	-
238.00	11	0.12	0.28	10.44	-5.30	11.73	332.83	30.50	-
237.00	12	0.32	-0.68	-2.49	-3.00	3.90	230.28	21.70	-
236.00	13	0.18	-0.05	-4.09	-0.11	4.00	181.55	21.80	-
235.00	14	-0.13	0.09	-1.01	-1.87	2.67	224.43	21.10	-
234.00	15	0.07	0.06	-1.31	-0.45	1.38	190.18	21.10	-
233.00	16	-0.10	-0.19	-2.49	-2.54	3.50	226.68	21.30	-
232.00	17	0.01	0.08	-1.00	-1.92	2.19	241.05	21.90	-
231.00	18	-0.06	0.93	-3.21	-2.66	2.67	265.58	21.10	-
230.00	19	0.04	-0.04	-1.21	-3.32	3.62	242.38	21.00	-
229.00	20	-0.69	0.53	12.06	-8.62	16.42	321.42	21.30	-
228.00	21	1.24	-0.98	-12.22	3.60	12.74	163.63	30.70	-
227.00	22	-1.25	1.07	13.57	-9.25	16.42	325.72	21.90	-
226.00	23	0.62	-0.51	1.02	-3.06	3.22	288.41	21.20	-
225.00	24	-0.09	0.04	3.29	-4.32	4.80	298.48	21.10	-
224.00	25	0.06	-0.05	1.08	-3.57	3.73	285.86	21.40	-
223.00	26	-0.10	0.06	2.56	-4.78	5.42	298.15	21.00	-
222.00	27	0.10	0.95	2.83	-2.88	3.91	312.38	22.20	-
221.00	28	-0.27	0.24	8.42	-5.35	9.97	327.58	21.50	-
220.00	29	0.78	-0.55	-5.74	3.27	6.61	150.35	21.10	-
219.00	30	-1.49	0.87	19.00	-12.79	23.41	320.88	22.10	-
218.00	31	1.73	-1.28	-12.05	5.51	14.07	156.07	21.20	-
217.00	32	-1.68	1.53	24.27	-8.25	25.63	341.22	21.40	-
216.00	33	1.78	-1.59	-14.09	5.26	15.04	150.51	25.60	-
215.00	34	-1.89	1.06	18.82	-13.25	23.02	324.86	21.00	-
214.00	35	-0.41	1.23	40.83	-7.81	41.57	349.18	22.20	-
213.00	36	0.75	0.71	64.03	10.08	45.17	12.89	21.00	-
212.00	37	0.03	-0.12	41.97	9.44	43.02	12.67	20.90	-
211.00	38	-1.01	0.47	56.93	-0.12	56.93	250.88	25.50	-
210.00	39	1.07	-0.24	38.28	20.88	43.61	28.61	20.90	-
209.00	40	-1.17	-0.23	47.33	2.14	47.38	2.59	20.90	-
208.00	41	0.25	0.22	47.65	7.96	48.32	9.49	25.70	-
207.00	42	-0.07	0.91	48.50	7.20	49.03	8.44	21.30	-
206.00	43	-0.06	-0.04	48.71	5.97	49.08	6.99	25.60	-
205.00	44	0.01	0.18	50.82	8.21	51.48	9.18	21.30	-
204.00	45	-0.04	-0.04	50.75	7.21	51.26	8.09	20.20	-
203.00	46	0.02	-0.02	50.20	7.20	50.71	8.15	25.10	-
202.00	47	-0.04	0.05	51.39	7.33	51.91	8.12	20.50	-
201.00	48	-0.06	-0.08	51.36	5.57	51.86	6.19	20.40	-
200.00	49	0.01	0.12	52.56	7.23	53.06	7.83	25.80	-
199.00	50	-0.11	-0.07	53.34	9.06	53.98	5.42	20.00	-
198.00	51	0.03	0.12	54.57	6.64	54.98	6.94	25.50	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0059

DMS BRK001-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
194.00	55	-0.06	0.01	55.56	-6.09	55.50	6.26	29.70	-
193.00	56	-0.10	0.03	57.27	5.45	57.53	5.44	29.20	-
192.00	57	0.24	-0.27	51.04	4.15	51.21	4.66	29.90	-
191.00	58	-0.09	0.03	52.69	3.67	52.82	3.98	30.00	-
190.00	59	0.07	0.02	51.95	4.67	52.16	5.14	100.50	-
189.00	60	-0.09	0.03	53.54	4.01	53.69	4.28	29.90	-
188.00	61	0.01	-0.06	52.72	3.36	52.83	3.64	30.20	-
187.00	62	-0.27	-0.13	56.11	-1.36	55.13	368.00	29.90	-
186.00	63	0.63	-0.26	43.73	1.91	43.77	2.50	29.80	-
185.00	64	-1.31	1.06	73.00	2.00	73.15	2.34	29.90	-
184.00	65	1.64	-1.45	35.10	-1.28	35.12	367.91	30.40	-
183.00	67	1.76	-1.66	4.43	-8.50	19.34	231.82	30.00	-
181.00	68	-2.05	1.48	37.57	-5.22	37.53	352.09	29.80	-
180.00	69	2.04	-1.45	-5.84	-0.79	11.40	239.21	30.00	-
179.00	70	-1.99	1.38	36.18	-5.82	36.65	350.87	29.60	-
178.00	71	1.72	-1.64	-3.64	-16.06	16.64	256.21	29.40	-
177.00	72	-0.93	1.99	27.59	5.06	28.14	11.30	30.20	-
176.00	73	0.28	-1.60	9.26	-16.10	18.67	209.80	29.60	-
175.00	74	-0.39	0.73	21.33	-8.05	22.60	339.32	29.60	-
174.00	75	-0.03	-0.40	18.77	-14.47	23.70	322.38	29.60	-
173.00	76	0.00	0.31	21.05	-8.46	23.09	335.74	28.60	-
172.00	77	-0.17	-0.12	22.90	-12.62	26.21	331.20	28.60	-
171.00	78	-0.02	0.05	23.67	-11.89	26.49	333.32	30.40	-
170.00	79	-0.48	0.05	31.03	-14.83	34.83	334.88	28.60	-
169.00	81	-0.55	0.16	41.54	-15.65	44.29	339.36	29.60	-
167.00	82	0.26	0.06	37.80	-12.93	30.95	341.11	28.20	-
166.00	83	-0.24	-0.05	41.32	-15.26	44.05	339.73	29.10	-
165.00	84	-0.10	0.03	43.18	-15.43	43.86	340.34	28.60	-
164.00	85	-0.02	-0.02	43.41	-15.89	46.23	339.89	29.20	-
163.00	86	-0.08	0.09	45.28	-14.90	47.67	341.79	29.70	-
162.00	87	-0.08	-0.01	46.61	-15.46	49.11	341.54	28.10	-
161.00	88	-0.04	-0.06	47.00	-16.68	49.67	340.46	29.30	-
160.00	89	0.03	0.05	46.69	-15.71	49.26	341.41	28.00	-
159.00	90	-0.03	0.00	47.27	-15.80	49.84	341.52	29.30	0.24
158.00	91	-0.20	0.10	50.98	-14.74	53.07	343.67	28.20	-
156.00	93	-0.18	-0.06	53.94	-16.43	56.38	343.06	30.00	-
154.00	95	-0.11	-0.14	55.34	-19.25	58.69	340.82	28.80	-
153.00	96	-0.02	0.02	55.73	-18.91	58.86	341.26	28.50	-
152.00	97	-0.08	-0.07	57.02	-20.29	60.53	340.41	30.00	-
151.00	98	-0.16	-0.03	59.72	-21.29	63.40	340.38	27.70	-
150.00	99	-0.02	-0.05	59.95	-22.15	63.02	339.72	28.90	-
147.00	102	-0.01	-0.01	60.12	-22.40	64.16	339.57	28.80	-
146.00	103	-0.04	0.01	60.90	-22.38	64.88	339.82	29.10	-
145.00	104	-0.03	0.05	61.51	-21.55	65.18	340.69	29.30	-
144.00	105	-0.07	-0.01	62.76	-21.85	66.46	340.80	28.00	-
142.00	107	-0.08	0.00	64.22	-21.73	67.80	341.31	29.00	-
139.00	110	-0.14	-0.05	66.74	-22.50	70.43	341.37	27.60	-
138.00	111	-0.13	-0.09	69.14	-24.03	73.19	340.84	28.80	-
137.00	112	-0.11	-0.10	71.12	-25.68	75.61	340.14	28.30	-
136.00	113	-0.09	-0.13	72.80	-27.73	77.00	339.15	193.80	-
134.00	115	-0.07	-0.01	74.11	-27.77	79.14	339.46	28.40	-
133.00	116	-0.03	-0.06	74.84	-28.73	80.16	339.00	29.60	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0060

DMS BRK001-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada:

BRASKEM

Site:

INC001

Projeto

Maceió

Intervalo de monitoramento:

0-250 m bgl

Data de instalação:

27/04/2021

Data de calibração:

07/07/2021 09:30

Observações:

Direção revisada P+

141°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
131.00	118	-0.04	-0.01	75.65	-28.76	80.93	339.19	28.00	-
130.00	119	-0.07	-0.01	76.85	-28.72	82.06	339.51	28.40	-
128.00	121	-0.06	-0.01	77.96	-28.71	83.08	339.78	28.00	-
127.00	122	-0.02	-0.04	78.44	-29.26	83.71	339.55	29.40	-
126.00	123	-0.01	-0.01	78.68	-29.47	84.02	339.47	27.90	-
123.00	126	-0.09	0.00	80.24	-29.09	85.36	340.07	29.00	-
122.00	127	-0.11	-0.08	82.47	-29.80	87.68	340.13	28.20	-
121.00	128	0.08	-0.04	82.71	-30.53	88.17	339.74	28.80	-
120.00	129	-0.03	0.01	83.14	-30.15	88.44	340.06	28.70	-
119.00	130	-0.05	-0.01	84.05	-30.06	89.26	340.32	28.00	-
118.00	131	-0.07	-0.02	85.37	-30.14	90.54	340.56	27.70	-
117.00	132	-0.02	-0.04	85.80	-30.80	91.16	340.25	27.40	-
116.00	133	-0.03	0.00	86.27	-30.67	91.56	340.43	28.40	-
115.00	134	-0.09	0.01	87.14	-30.28	92.25	340.88	183.90	-
113.00	136	-0.02	-0.04	87.57	-30.83	92.84	340.60	29.00	-
112.00	137	-0.03	-0.02	87.99	-31.10	93.32	340.53	27.60	-
111.00	138	-0.07	0.01	89.11	-30.91	94.32	340.87	183.80	-
110.00	139	-0.05	-0.01	89.98	-31.05	95.18	340.96	27.30	-
109.00	140	-0.05	0.02	90.86	-30.59	95.87	341.39	27.50	-
108.00	141	-0.18	-0.02	92.62	-30.73	97.58	341.64	28.30	-
107.00	142	-0.07	-0.04	93.88	-31.32	98.97	341.55	28.10	-
106.00	143	-0.06	-0.06	94.99	-32.25	100.32	341.25	28.70	-
105.00	144	-0.04	-0.04	95.68	-32.94	101.26	341.00	27.60	-
104.00	145	-0.06	0.01	96.76	-32.76	102.15	341.30	28.40	-
103.00	146	-0.06	0.00	97.82	-32.78	103.18	341.46	28.90	-
102.00	147	-0.09	0.00	99.46	-32.63	104.67	341.64	28.50	-
101.00	148	-0.08	-0.02	100.83	-33.00	106.09	341.88	27.80	-
100.00	149	0.03	-0.04	100.40	-33.76	105.92	341.42	27.70	-
99.00	150	-0.02	-0.02	100.81	-34.13	106.43	341.30	28.10	-
98.00	151	-0.07	0.00	101.95	-34.16	107.52	341.47	27.20	-
97.00	152	-0.06	0.00	102.94	-34.11	108.45	341.67	28.50	-
96.00	153	-0.06	0.02	103.94	-33.73	109.28	342.02	28.40	-
95.00	154	-0.04	0.01	104.57	-33.60	109.83	342.19	28.30	-
94.00	155	-0.05	0.00	105.37	-33.63	110.61	342.30	27.80	-
93.00	156	-0.05	0.01	106.30	-33.51	111.46	342.50	27.30	-
92.00	157	-0.07	0.01	107.54	-33.43	112.62	342.73	27.70	-
91.00	158	-0.03	0.01	108.12	-33.33	113.15	342.87	28.20	-
90.00	159	-0.07	0.00	109.40	-33.42	114.39	343.01	28.50	-
89.00	160	-0.18	-0.01	111.08	-33.83	116.12	343.06	28.40	0.24
87.00	162	-0.06	0.02	112.12	-33.52	117.02	343.36	29.30	-
86.00	163	-0.18	0.02	113.82	-33.44	118.64	343.63	28.50	-
85.00	164	-0.07	0.04	115.19	-32.87	119.79	344.07	28.10	-
84.00	165	-0.02	-0.04	115.40	-33.70	120.22	343.72	27.80	-
83.00	166	-0.02	-0.01	115.64	-33.93	120.51	343.65	28.00	-
82.00	167	-0.08	0.05	117.23	-33.40	121.89	344.09	29.10	-
81.00	168	-0.07	-0.03	118.34	-34.03	123.14	343.96	29.10	-
80.00	169	-0.05	0.02	119.31	-33.84	124.02	344.16	28.30	-
77.00	172	-0.04	0.03	120.06	-33.57	124.68	344.38	29.10	-
76.00	173	-0.07	0.05	121.54	-32.95	125.93	344.83	30.10	-
75.00	174	-0.07	0.01	122.86	-33.10	127.24	344.92	28.80	-
74.00	175	-0.18	-0.08	124.08	-34.99	128.92	344.25	29.20	-
73.00	176	-0.09	-0.06	125.12	-36.54	130.35	343.72	28.20	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0061

DMS BRK001-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC001

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 27/04/2021

Data de calibração: 07/07/2021 09:30

Observações: Direção revisada P+

141°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
72.00	177	-0.07	0.02	126.33	-36.75	131.57	343.78	29.30	-
71.00	178	0.01	0.05	126.52	-36.84	131.50	344.10	30.10	-
70.00	179	0.00	0.10	127.34	-34.31	131.88	344.92	28.40	-
69.00	180	-0.06	-0.04	127.85	-35.38	132.55	344.53	28.80	-
68.00	181	-0.06	0.05	129.22	-35.01	133.88	344.84	29.80	-
67.00	182	-0.08	0.01	130.45	-35.55	135.21	344.78	29.70	-
66.00	183	-0.04	0.00	131.02	-35.86	135.84	344.60	29.30	-
65.00	184	-0.05	0.00	131.82	-36.29	136.73	344.61	29.30	-
64.00	185	-0.02	-0.01	132.07	-36.53	137.03	344.54	29.60	-
63.00	186	-0.04	-0.03	132.41	-37.30	137.56	344.27	29.10	-
62.00	187	-0.03	0.05	133.30	-36.85	138.30	344.55	30.20	-
61.00	188	0.01	0.00	133.25	-36.73	138.22	344.59	29.20	-
60.00	189	-0.04	-0.04	133.48	-37.73	138.71	344.22	28.80	-
59.00	190	-0.05	-0.05	133.74	-38.00	139.31	343.74	29.10	-
58.00	191	-0.06	-0.03	134.39	-40.03	140.22	343.41	29.10	-
57.00	192	0.04	0.02	134.00	-39.24	139.53	343.68	28.30	-
56.00	193	-0.01	0.02	134.25	-36.06	139.82	343.78	28.80	-
54.00	195	-0.15	-0.06	135.06	-41.57	141.88	342.90	30.10	-
53.00	196	-0.08	-0.05	136.23	-43.11	142.89	342.44	28.80	-
52.00	197	-0.07	-0.02	136.97	-44.17	143.91	342.13	29.00	-
51.00	198	-0.08	-0.02	137.90	-45.37	145.13	341.78	30.20	-
50.00	199	0.00	0.00	137.91	-45.37	145.18	341.79	103.80	-
49.00	200	0.06	0.08	138.01	-43.72	144.72	342.42	29.80	-
48.00	201	-0.06	0.03	139.15	-44.07	145.97	342.43	30.00	-
47.00	202	-0.08	-0.15	138.73	-47.04	146.49	341.27	30.40	-
46.00	203	-0.07	-0.12	138.43	-48.43	146.99	340.35	30.00	-
45.00	204	0.01	-0.03	137.97	-49.68	146.64	340.20	30.40	-
44.00	205	-0.02	0.07	139.05	-48.85	147.38	340.64	29.60	-
43.00	206	-0.11	0.04	140.98	-46.59	149.45	340.62	29.60	-
42.00	207	-0.07	-0.15	140.26	-52.31	149.69	339.55	30.80	-
41.00	208	0.15	-0.23	135.77	-53.70	146.01	338.42	31.40	-
40.00	209	0.11	-0.08	133.39	-53.70	143.79	338.07	31.10	-
39.00	210	0.08	0.05	133.00	-52.08	142.83	338.62	29.70	-
38.00	211	-0.01	0.22	135.65	-49.22	144.31	340.06	29.80	-
37.00	212	-0.09	0.13	138.29	-48.38	146.50	340.72	29.60	-
36.00	213	-0.22	-0.02	140.97	-51.17	148.98	340.05	31.40	-
35.00	214	-0.30	-0.13	143.62	-56.22	154.23	338.62	30.40	-
34.00	215	-0.34	-0.19	146.09	-52.52	156.80	336.62	31.60	-
33.00	216	-0.13	-0.18	145.70	-46.35	160.10	335.52	30.10	-
32.00	217	0.03	-0.07	144.50	-46.88	159.23	335.16	29.90	-
31.00	218	0.04	-0.10	142.88	-47.82	158.16	334.61	29.90	-
30.00	219	0.04	-0.01	142.23	-47.57	157.46	334.59	31.10	-
29.00	220	0.02	0.13	143.43	-46.58	157.71	335.43	30.00	-
28.00	221	-0.21	0.18	147.99	-45.77	161.95	336.04	30.70	-
27.00	222	-0.13	-0.08	148.67	-48.38	163.64	335.30	29.90	-
26.00	223	-0.12	-0.16	148.39	-71.77	164.84	334.19	30.20	-
25.00	224	-0.08	-0.08	148.50	-73.82	165.88	333.58	30.10	-
24.00	225	-0.12	0.03	150.45	-74.69	167.97	333.60	30.40	-
23.00	226	0.04	0.11	151.05	-72.73	167.65	334.29	30.70	-
22.00	227	0.27	0.11	148.72	-68.23	163.63	335.35	30.40	-
21.00	228	0.12	0.18	149.12	-64.51	162.48	336.61	31.50	-
20.00	229	0.24	-0.04	145.40	-62.28	158.18	336.81	29.60	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0062

DMS BRK001-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC001
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 27/04/2021
Data de calibração: 07/07/2021 09:30
Observações: Direção revisada P+
141°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
19.00	230	0.30	-0.14	139.71	-60.81	152.37	335.48	31.30	0.61
18.00	231	0.23	-0.17	134.62	-60.44	147.57	335.82	30.00	-
17.00	232	0.10	-0.15	131.50	-61.36	145.11	334.99	31.00	-
16.00	233	-0.09	-0.20	130.46	-65.07	145.79	333.46	30.60	-
15.00	234	-0.24	-0.07	132.88	-68.72	149.60	332.56	31.30	-
14.00	235	-0.11	0.15	136.01	-67.98	152.05	333.44	30.40	-
13.00	236	0.12	0.19	136.45	-64.07	150.74	334.85	32.00	-
12.00	237	0.10	0.12	136.44	-61.45	149.64	335.75	30.60	-
11.00	238	-0.06	0.09	138.24	-60.99	151.10	335.19	31.70	-
10.00	239	-0.20	-0.03	140.71	-63.62	154.42	335.67	31.60	-
9.00	240	-0.34	-0.74	137.08	-77.30	157.38	330.58	30.10	-
8.00	241	-0.11	-0.33	134.91	-83.02	158.41	328.39	31.00	-
7.00	242	-0.26	-0.04	137.96	-85.45	162.81	327.93	30.70	-
6.00	243	-0.30	0.12	143.27	-88.19	168.24	328.39	31.10	-
5.00	244	-0.21	0.20	148.29	-87.89	172.38	329.35	31.10	-
4.00	245	0.00	0.16	150.05	-85.79	172.85	330.24	32.60	-
3.00	246	0.20	0.10	148.48	-82.26	169.75	331.01	32.30	-
2.00	247	0.26	0.16	146.70	-77.24	165.79	332.23	33.00	-
1.00	248	0.16	-0.04	144.10	-75.09	162.96	332.17	33.80	-
0.00	249	-0.03	-0.29	141.27	-80.40	162.54	330.36	30.90	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0063

DMS BRK002-250-0421

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

Projeto: Maceió

Avaliado por: C.S.G.

DMS BRK002-250-0421: Deslocamento Norte - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

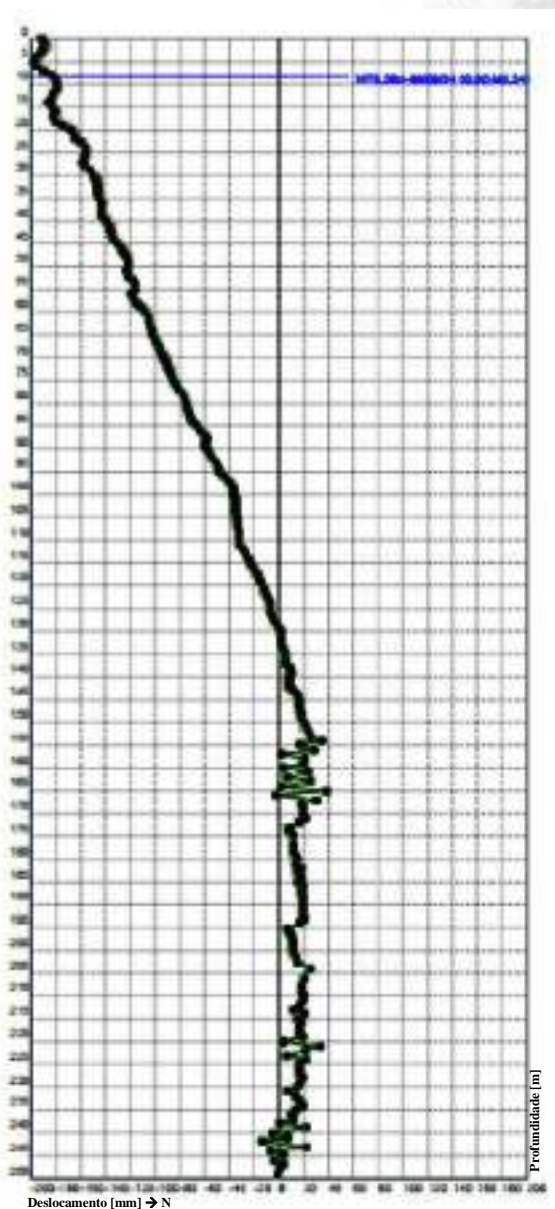
Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 28/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

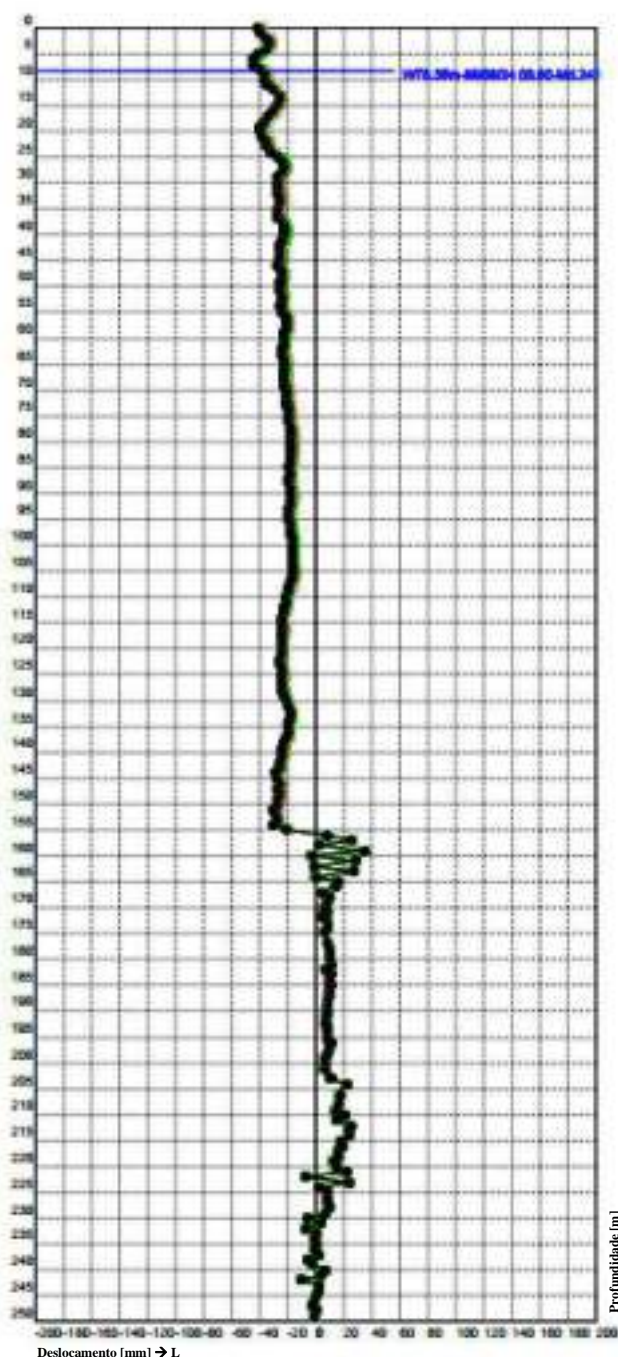
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0064

DMS BRK002-250-0421: Deslocamento Leste - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC002
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 28/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00 —
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00 —
03 de março de 2024 00:00 —





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

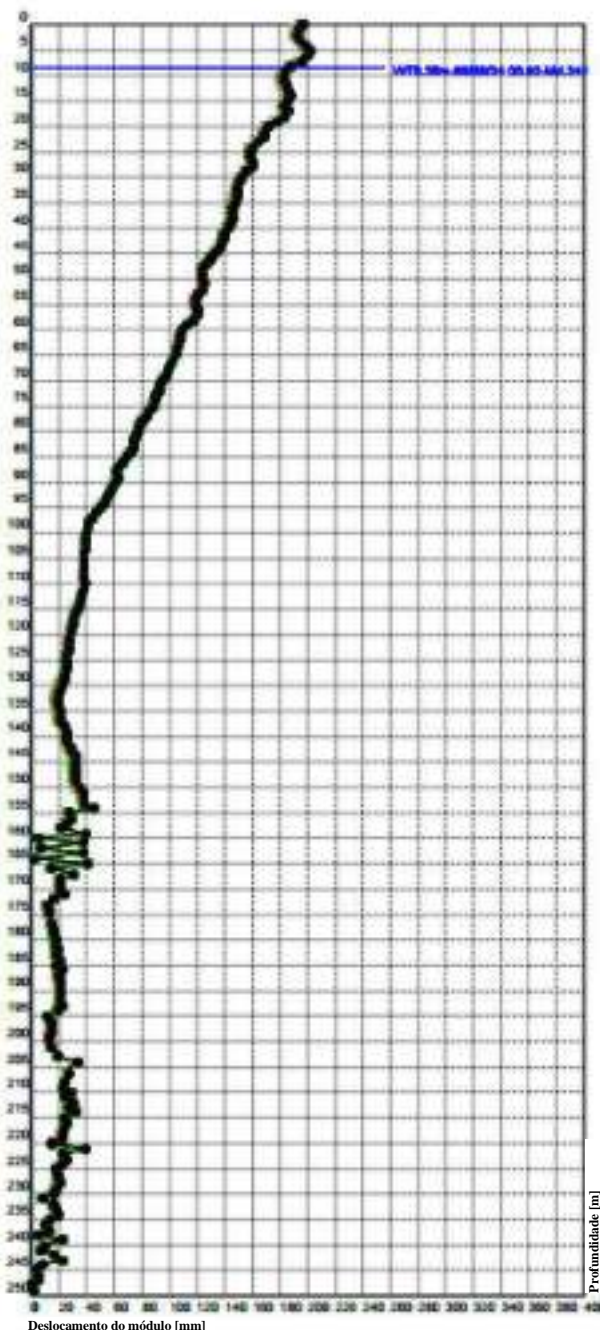
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0065

DMS BRK002-250-0421: Deslocamento do Módulo - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC002
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 28/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00
24 de março de 2024 00:00
10 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

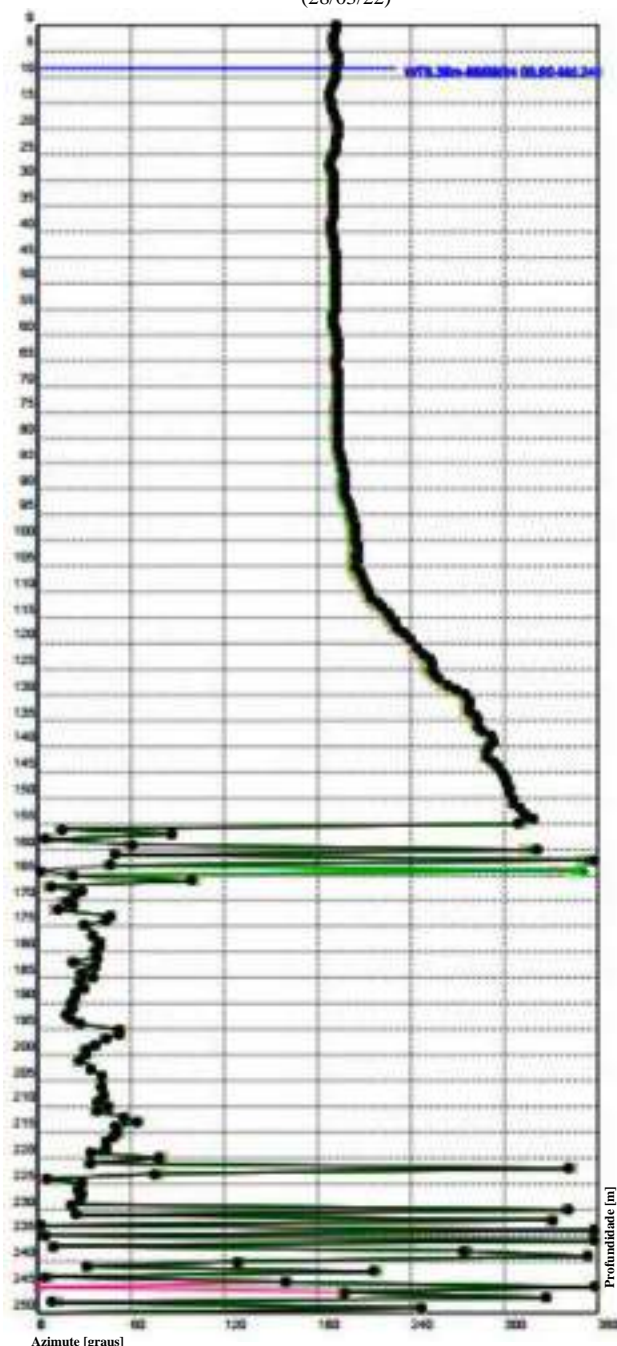
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0066

DMS BRK002-250-0421: Deslocamento Azimutal

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC002
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 28/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 30°N (28/03/22)





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

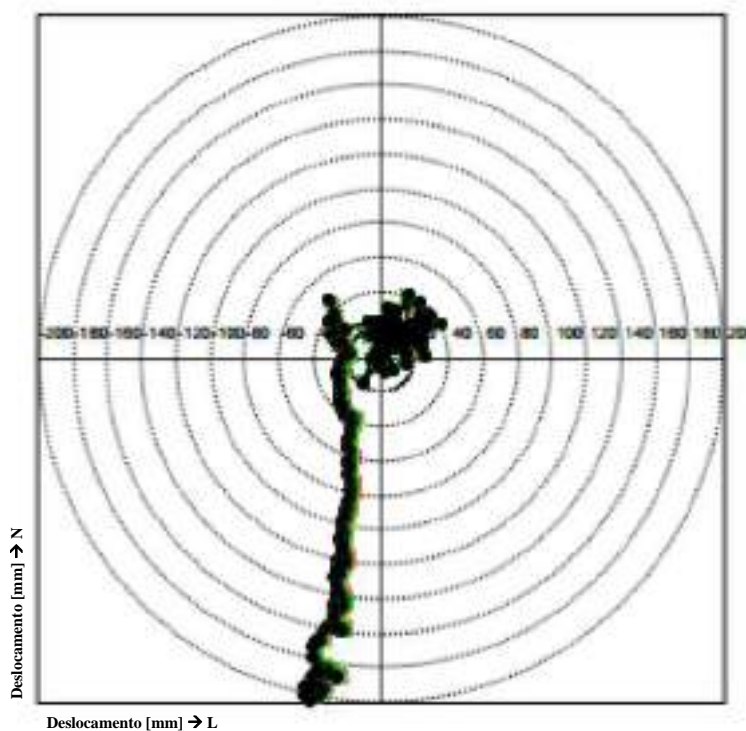
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0067

DMS BRK002-250-0421: Diagrama polar - Cumulativo

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC002
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 28/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)



Os valores são classificados por profundidade

Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

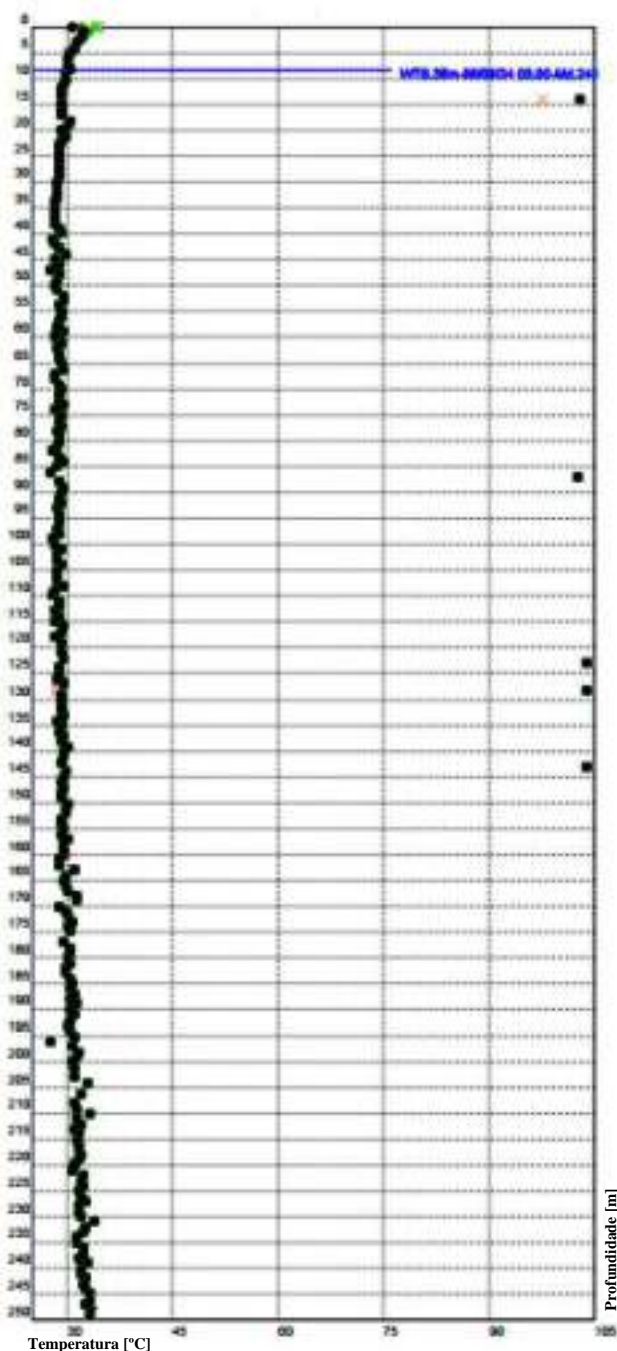
PÁGINA Nº 0068

DMS BRK002-250-0421: Temperatura

DMS BRK002-250-0421: Temperatura

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC002
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 28/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00 —
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00 —
03 de março de 2024 00:00 —



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

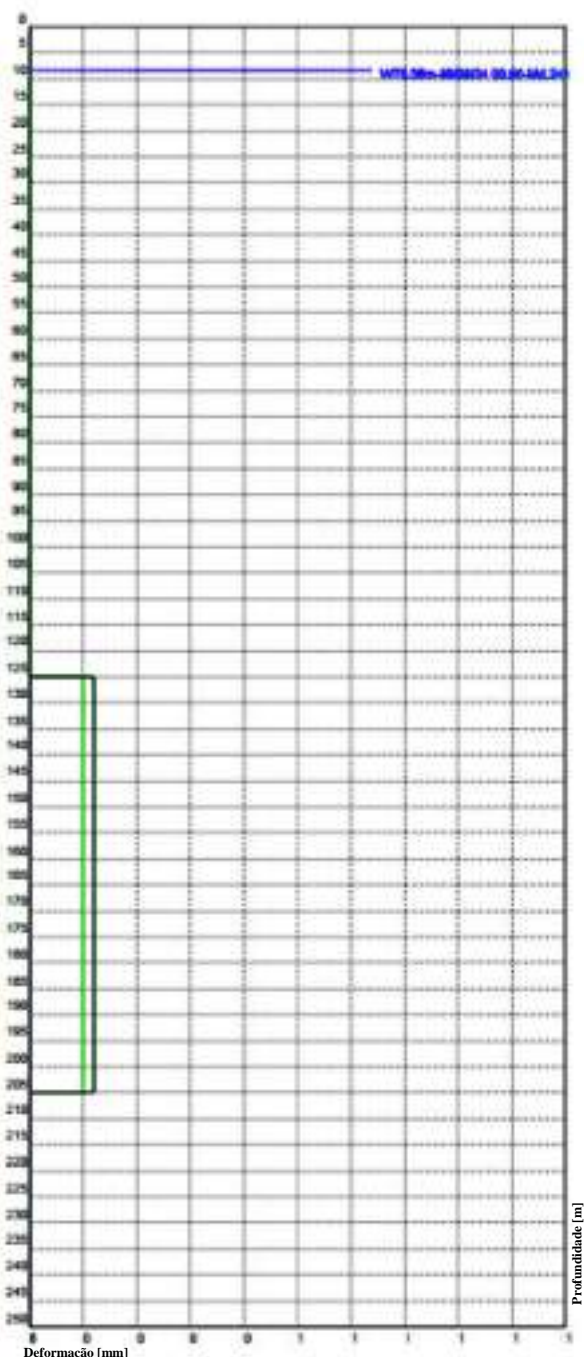
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0069

DMS BRK002-250-0421: Deformações [mm]

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC002
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 28/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0070

DMS BRK002-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 28/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
249.00	0	0.07	-0.05	-0.50	-1.37	1.48	246.66	33.10	-
248.00	1	-0.11	0.03	0.73	0.11	0.72	8.48	33.30	-
247.00	2	-0.07	-0.21	3.71	-2.37	4.40	327.38	32.60	-
246.00	3	0.35	0.36	-4.30	-1.40	4.55	168.00	33.10	-
245.00	4	-0.45	-0.21	4.32	-0.16	4.32	357.86	33.30	-
244.00	5	0.45	0.50	-7.13	2.59	7.59	160.07	32.60	-
243.00	6	-1.39	-1.00	22.70	1.87	22.78	4.71	32.20	-
242.00	7	2.09	0.82	-13.48	-0.70	16.61	215.74	32.60	-
241.00	8	-1.37	-0.02	6.19	3.87	7.30	32.00	32.10	-
240.00	9	0.43	0.66	-5.78	7.19	9.18	129.03	32.00	-
239.00	10	-0.88	-1.44	22.06	-2.68	22.22	353.08	33.00	-
238.00	11	1.06	0.67	0.35	-5.35	5.36	273.71	31.60	-
237.00	12	-0.80	-0.09	12.23	2.20	12.42	10.20	32.20	-
236.00	13	0.20	-0.03	9.87	-0.30	9.87	357.94	32.30	-
235.00	14	-0.21	-0.06	13.30	1.13	13.44	4.81	31.30	-
234.00	15	-0.15	-0.38	18.60	-0.73	18.61	357.78	31.30	-
233.00	16	0.02	0.12	16.94	0.53	16.95	1.78	32.30	-
232.00	17	0.46	-0.22	13.66	-7.72	15.69	330.52	32.50	-
231.00	18	-0.17	0.71	7.10	3.17	7.83	23.85	34.00	-
230.00	19	0.05	-0.04	14.68	-5.11	15.54	340.82	32.00	-
229.00	20	-0.57	0.38	16.71	6.58	17.95	21.50	31.80	-
228.00	21	-0.21	0.04	18.76	9.79	21.16	27.55	31.80	-
227.00	22	0.12	0.06	16.40	0.03	16.77	28.74	32.60	-
226.00	23	0.03	-0.04	16.74	8.15	18.64	26.00	32.10	-
225.00	24	0.01	0.04	16.13	8.55	18.26	27.94	31.70	-
224.00	25	0.03	-0.49	22.19	2.45	22.33	6.30	32.20	-
223.00	26	-0.38	1.49	6.35	24.14	24.96	75.25	32.00	-
222.00	27	0.85	-1.80	21.26	-7.29	22.47	341.14	32.30	-
221.00	28	-1.73	0.54	33.06	22.11	39.77	33.77	30.80	-
220.00	29	1.39	1.89	3.18	14.89	15.23	77.94	30.90	-
219.00	30	-0.41	-0.80	18.70	12.65	22.57	34.08	31.80	-
218.00	31	-0.00	0.21	16.27	15.65	22.57	43.88	31.50	-
217.00	32	-0.05	-0.01	16.95	16.30	23.52	43.88	31.80	-
216.00	33	-0.15	0.09	17.06	19.28	25.76	48.46	31.70	-
215.00	34	0.13	0.16	14.43	18.22	23.24	51.82	31.50	-
214.00	35	-0.51	-0.14	20.78	24.79	32.35	50.04	31.80	-
213.00	36	0.31	0.44	11.47	23.74	26.36	64.22	30.90	-
212.00	37	-0.20	-0.25	16.90	24.84	30.08	55.68	32.00	-
211.00	38	0.45	-0.38	19.05	14.85	24.15	37.94	31.20	-
210.00	39	-0.33	0.09	20.18	20.61	28.84	45.60	33.10	-
209.00	40	0.40	-0.04	17.80	14.06	22.69	38.30	31.40	-
208.00	41	-0.14	0.03	18.27	16.60	24.69	42.25	30.90	-
206.00	43	-0.07	-0.09	20.16	17.29	26.56	40.60	32.00	-
204.00	45	-0.37	-0.17	25.26	22.21	33.63	41.32	32.80	-
203.00	46	0.81	0.30	15.44	10.76	18.82	34.88	30.90	-
201.00	48	0.29	0.06	12.69	6.35	14.19	26.57	30.90	-
200.00	49	-0.01	0.09	11.27	6.91	13.22	31.51	30.60	-
199.00	50	0.02	0.01	10.99	6.70	12.87	31.36	31.20	-
198.00	51	-0.13	-0.02	11.77	8.90	14.76	37.09	31.60	-
197.00	52	-0.05	0.09	10.49	10.04	14.52	43.75	30.80	-
196.00	53	-0.03	0.13	8.35	10.99	13.80	52.76	27.60	-
195.00	54	0.12	0.05	7.00	9.09	11.51	52.18	31.00	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0071

DMS BRK002-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 – 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 28/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
194.00	55	-0.00	-0.54	16.60	8.59	18.69	27.37	30.50	+
193.00	56	-0.04	-0.28	21.58	8.28	23.12	20.08	30.20	+
192.00	57	0.12	0.10	19.46	6.63	20.56	18.83	30.40	+
191.00	58	-0.07	0.02	19.37	7.92	20.92	22.24	30.90	+
190.00	59	-0.01	-0.04	19.99	7.90	21.49	21.56	30.90	+
189.00	60	-0.01	0.08	18.64	8.46	20.47	24.41	31.20	+
188.00	61	-0.04	-0.04	19.42	8.98	21.40	24.80	30.40	+
187.00	62	-0.01	0.14	17.00	9.61	19.61	20.35	31.10	+
186.00	63	-0.04	-0.12	19.25	9.87	21.03	27.14	30.40	+
185.00	64	-0.01	0.25	14.90	10.78	18.45	30.66	30.80	+
184.00	65	0.04	-0.18	18.09	9.61	20.49	27.98	30.30	+
183.00	66	-0.04	0.23	14.24	10.77	17.86	37.00	29.90	+
182.00	67	0.16	-0.23	18.11	7.84	19.05	22.87	29.90	+
181.00	68	-0.17	0.27	13.60	10.03	17.45	38.80	30.40	+
180.00	69	0.02	-0.03	14.06	10.53	17.57	30.84	30.00	+
179.00	70	0.03	0.10	12.37	10.07	15.96	30.15	30.30	+
178.00	71	0.00	0.02	12.06	10.09	15.72	30.91	30.40	+
177.00	72	0.10	0.00	11.88	8.42	14.56	30.32	29.60	+
175.00	74	0.12	0.05	10.84	6.41	12.59	30.61	30.60	+
174.00	75	-0.13	0.18	9.17	8.78	12.70	43.72	30.20	+
173.00	76	0.03	0.08	7.82	8.38	11.46	46.97	30.70	+
172.00	77	0.28	-0.48	16.08	3.67	16.49	12.85	30.00	+
171.00	78	-0.30	-0.34	21.89	9.14	23.72	22.66	29.80	+
170.00	79	0.18	0.15	19.20	6.37	20.23	18.34	28.90	+
169.00	80	-0.13	-0.02	19.50	8.57	21.30	23.73	31.20	+
168.00	81	-0.08	0.09	17.88	9.89	20.43	28.93	31.40	+
167.00	82	0.33	-0.70	30.21	4.34	30.52	8.16	30.20	+
166.00	83	-0.70	1.81	-2.33	13.93	14.12	189.50	29.70	+
165.00	84	0.23	-2.29	37.76	15.71	40.90	22.69	29.40	+
164.00	85	0.78	2.89	2.07	0.98	2.07	2.33	29.70	+
163.00	86	-1.45	-1.49	26.04	27.24	37.68	46.29	30.90	+
162.00	87	1.47	1.23	7.23	-0.33	7.24	357.40	28.80	+
161.00	88	-1.55	-1.18	24.50	28.95	37.93	49.76	29.00	+
160.00	89	1.68	1.48	3.81	-3.00	4.85	321.83	29.60	+
159.00	90	-2.06	-1.14	19.81	34.95	40.17	60.46	29.60	8.12
158.00	91	1.80	0.15	21.62	1.71	21.59	4.55	29.40	+
157.00	92	-1.49	0.98	1.78	25.78	25.84	185.05	30.00	+
156.00	93	1.20	-1.37	27.98	7.81	29.04	15.60	29.30	+
155.00	94	-0.96	1.49	16.74	-20.92	26.80	308.06	29.50	+
154.00	95	0.65	-0.93	34.30	-30.18	45.70	318.67	29.30	+
153.00	96	-0.20	0.44	26.32	-27.75	38.25	313.48	29.10	+
152.00	97	0.05	0.13	24.27	-28.86	37.71	310.07	29.70	+
151.00	98	0.08	0.16	21.72	-30.65	37.57	305.32	29.70	8.12
150.00	99	-0.15	0.06	20.22	-28.29	34.77	305.58	30.10	+
149.00	100	-0.09	0.14	17.62	-27.10	32.33	303.04	29.30	+
148.00	101	-0.07	0.01	17.26	-25.97	31.18	303.61	29.30	+
147.00	102	0.07	0.03	16.97	-27.26	32.11	301.90	29.40	+
146.00	103	-0.04	0.06	15.83	-26.64	30.99	300.72	29.20	+
145.00	104	0.07	0.03	15.47	-27.89	31.89	299.02	29.40	+
144.00	105	0.07	0.09	14.13	-29.29	32.52	295.75	29.80	+
143.00	106	-0.18	0.13	11.33	-26.58	28.90	293.08	103.80	+
142.00	107	-0.02	0.14	8.94	-26.66	28.12	288.54	29.30	+



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0072

DMS BRK002-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 28/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
141.00	108	-0.12	0.03	8.16	-24.73	26.03	288.27	29.40	-
140.00	109	-0.05	-0.03	8.60	-23.76	25.23	289.09	29.50	-
139.00	110	0.03	-0.09	10.15	-23.98	26.04	292.94	30.20	-
138.00	111	-0.08	0.06	8.99	-22.79	24.50	291.52	29.20	-
137.00	112	-0.14	0.16	6.83	-20.62	21.48	286.36	29.60	-
136.00	113	-0.05	0.06	4.87	-20.01	20.60	283.69	29.00	-
135.00	114	0.02	0.02	4.84	-20.48	20.98	282.79	29.20	-
134.00	115	-0.06	0.02	4.06	-19.57	19.98	281.71	28.60	-
133.00	116	-0.08	0.07	3.62	-18.51	18.69	278.07	29.60	-
132.00	117	0.02	0.06	2.70	-18.90	19.09	278.13	29.10	-
131.00	118	0.06	0.01	2.81	-19.97	20.17	278.02	29.30	-
130.00	119	0.09	0.07	1.94	-21.73	21.82	275.19	29.30	-
129.00	120	0.06	0.16	-0.58	-23.42	23.42	268.57	29.30	-
128.00	121	0.00	0.14	-2.85	-24.08	24.25	263.26	103.80	-
127.00	122	0.01	0.13	-5.09	-24.76	25.28	258.36	29.50	-
126.00	123	-0.02	0.08	-8.87	-24.68	25.66	254.06	28.60	-
125.00	124	-0.05	0.03	-7.23	-23.94	25.01	253.20	28.70	-
124.00	125	0.04	0.06	-7.84	-24.63	25.60	254.06	28.90	-
123.00	126	0.05	0.09	-8.34	-25.77	27.09	252.06	103.80	-
122.00	127	-0.03	0.06	-10.06	-25.67	27.57	248.60	29.00	-
121.00	128	-0.08	0.09	-12.09	-24.86	27.60	244.24	29.10	-
119.00	130	-0.04	0.13	-14.35	-24.98	28.81	240.13	29.20	-
118.00	131	-0.08	0.11	-16.62	-24.36	29.49	235.68	29.30	-
117.00	132	-0.06	0.12	-18.90	-24.07	30.60	231.85	29.30	-
116.00	133	-0.03	0.09	-20.54	-24.06	31.63	229.52	29.60	-
115.00	134	-0.03	0.10	-22.40	-24.31	33.05	227.34	28.20	-
114.00	135	-0.03	0.13	-24.61	-24.71	34.88	225.12	28.80	-
113.00	136	-0.12	0.11	-27.13	-23.48	36.88	220.87	28.30	-
112.00	137	-0.09	0.08	-29.08	-22.58	38.74	217.88	28.90	-
111.00	138	-0.10	0.11	-31.53	-21.83	38.35	214.70	28.80	-
110.00	139	-0.05	0.04	-32.40	-21.30	38.77	213.32	27.80	-
109.00	140	-0.06	-0.02	-32.48	-20.22	38.19	211.97	28.10	-
108.00	141	-0.05	-0.03	-32.38	-19.25	37.65	210.75	29.50	-
107.00	142	-0.10	0.02	-33.34	-17.84	37.81	208.15	28.60	-
106.00	143	-0.06	0.01	-33.86	-16.95	37.87	206.60	28.60	-
105.00	144	-0.08	0.06	-34.34	-16.10	37.92	205.12	28.60	-
104.00	145	0.01	0.04	-34.78	-16.62	38.65	205.54	29.30	-
103.00	146	-0.02	0.03	-35.28	-16.53	38.89	205.16	28.50	-
102.00	147	0.03	0.00	-34.96	-17.04	38.90	205.99	28.60	-
101.00	148	-0.01	0.01	-35.18	-16.92	39.03	205.68	29.20	-
100.00	149	-0.04	0.05	-35.29	-16.63	39.92	204.62	28.10	-
99.00	150	0.00	0.05	-37.08	-17.07	40.83	204.72	27.80	-
98.00	151	0.00	0.05	-37.78	-17.69	41.72	205.08	28.80	-
97.00	152	-0.08	0.13	-40.49	-18.02	44.32	204.00	28.50	-
96.00	153	-0.13	0.18	-44.24	-18.45	47.03	202.63	28.80	-
95.00	154	-0.07	0.17	-47.31	-19.40	51.14	202.30	28.70	-
94.00	155	-0.06	0.11	-49.36	-20.20	53.32	202.26	29.00	-
93.00	156	-0.13	0.05	-51.54	-19.07	54.95	200.30	28.60	-
92.00	157	-0.12	0.06	-53.79	-18.28	56.72	198.78	29.20	-
91.00	158	-0.09	0.08	-55.96	-18.18	58.74	198.00	29.00	-
90.00	159	-0.10	0.09	-58.12	-18.03	60.85	197.23	29.30	-
89.00	160	-0.08	0.09	-60.24	-18.35	62.97	196.94	29.50	0.12



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0073

DMS BRK002-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 28/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
88.00	161	0.08	0.00	-59.13	-19.31	62.21	198.09	28.70	-
87.00	162	0.06	0.04	-60.28	-19.34	63.28	197.79	182.70	-
86.00	163	-0.15	0.09	-63.21	-18.87	65.96	196.62	27.80	-
85.00	164	-0.13	0.13	-66.58	-19.18	69.21	196.09	28.60	-
84.00	165	-0.15	0.10	-69.65	-18.76	72.15	195.08	29.40	-
83.00	166	-0.11	0.05	-71.73	-18.19	74.00	194.23	28.90	-
82.00	167	-0.05	0.01	-72.66	-17.73	74.63	193.73	27.90	-
81.00	168	-0.09	0.04	-74.18	-17.39	76.20	193.39	28.50	-
80.00	169	-0.03	0.04	-75.12	-17.66	77.57	193.23	28.80	-
79.00	170	-0.05	0.04	-76.25	-17.79	78.30	193.13	28.90	-
78.00	171	-0.07	0.05	-77.84	-17.63	79.81	192.76	28.60	-
77.00	172	-0.08	0.15	-80.57	-18.70	82.71	193.07	29.10	-
76.00	173	-0.08	0.14	-83.26	-19.80	85.53	193.39	28.80	-
75.00	174	-0.12	0.06	-85.45	-19.26	87.60	192.60	29.30	-
74.00	175	-0.06	0.07	-86.96	-19.58	89.14	192.60	28.30	-
73.00	176	-0.01	0.07	-87.91	-20.51	90.27	193.13	29.60	-
72.00	177	-0.07	0.07	-89.57	-20.73	91.84	193.03	29.00	-
71.00	178	-0.05	0.07	-90.98	-21.09	93.39	193.05	28.60	-
70.00	179	-0.07	0.06	-92.58	-21.24	94.98	192.92	29.20	-
69.00	180	-0.03	0.12	-94.07	-22.80	96.79	193.63	29.00	-
68.00	181	-0.11	0.09	-96.46	-23.12	99.22	193.48	28.20	-
67.00	182	-0.06	0.06	-98.42	-23.10	101.10	193.21	28.30	-
66.00	183	-0.11	0.02	-100.19	-22.17	102.68	192.48	29.40	-
65.00	184	-0.06	0.07	-102.17	-22.34	104.08	192.34	29.10	-
64.00	185	-0.01	0.06	-103.94	-23.09	105.45	192.68	28.80	-
63.00	186	-0.02	0.08	-103.92	-24.11	106.08	193.06	28.90	-
62.00	187	-0.06	0.03	-105.14	-24.01	107.84	192.88	28.50	-
61.00	188	-0.07	0.02	-106.35	-23.62	108.92	192.52	29.10	-
60.00	189	-0.16	0.04	-108.15	-23.38	110.63	192.10	28.20	-
59.00	190	-0.18	0.07	-111.49	-22.80	113.86	191.56	29.40	-
58.00	191	-0.25	0.04	-115.67	-21.19	117.49	190.39	28.40	-
57.00	192	-0.17	0.06	-118.72	-20.84	120.53	189.96	28.70	-
56.00	193	0.00	0.06	-119.23	-21.76	121.26	190.34	29.10	-
55.00	194	0.16	0.06	-117.37	-24.01	119.86	191.56	29.20	-
54.00	195	0.04	0.06	-117.14	-25.21	119.83	192.15	28.80	-
53.00	196	-0.06	0.03	-118.86	-24.92	121.43	191.84	29.50	-
52.00	197	-0.16	0.06	-121.81	-24.42	124.24	191.34	29.40	-
51.00	198	-0.02	0.08	-122.73	-25.45	125.35	191.72	28.40	-
50.00	199	0.05	0.00	-121.92	-25.85	124.63	191.97	28.20	-
49.00	200	0.01	-0.04	-121.46	-25.20	124.05	191.72	28.60	-
48.00	201	-0.06	-0.02	-122.30	-24.39	124.73	191.27	28.70	-
47.00	202	-0.11	0.09	-124.64	-24.89	127.10	191.29	27.70	-
46.00	203	-0.06	0.16	-127.08	-26.86	129.89	191.96	28.90	-
45.00	204	-0.16	0.07	-130.64	-26.73	133.35	191.50	28.30	-
44.00	205	0.16	0.06	-133.37	-26.37	135.96	191.19	29.70	-
43.00	206	-0.14	0.07	-136.04	-26.59	138.62	191.06	29.00	-
42.00	207	-0.06	-0.02	-136.96	-25.89	139.38	190.71	28.20	-
41.00	208	-0.06	-0.11	-137.19	-23.66	139.22	189.79	28.00	-
40.00	209	-0.21	0.00	-140.50	-22.25	142.25	189.00	29.10	6.12
39.00	210	-0.12	0.04	-142.74	-22.26	144.47	188.86	28.70	-
38.00	211	-0.04	0.09	-143.94	-23.66	145.88	189.30	28.10	-
37.00	212	0.07	0.17	-143.31	-26.75	145.78	190.57	28.20	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0074

DMS BRK002-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC002

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 28/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 30°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
36.00	213	0.04	0.05	-142.84	-27.77	145.52	191.00	28.20	-
35.00	214	-0.07	0.01	-144.04	-27.70	146.68	190.88	28.30	-
34.00	215	-0.13	-0.07	-146.01	-25.93	148.29	190.07	28.10	-
33.00	216	-0.06	0.01	-146.93	-25.93	149.20	190.01	28.40	-
32.00	217	0.03	0.05	-145.57	-27.03	149.15	190.44	28.40	-
31.00	218	-0.06	0.00	-147.64	-26.98	150.08	190.36	28.40	-
30.00	219	-0.13	0.02	-149.86	-27.14	152.30	190.26	28.60	-
29.00	220	-0.20	0.05	-153.37	-27.69	155.85	190.23	28.80	-
28.00	221	-0.27	-0.14	-157.73	-24.73	159.65	188.91	29.00	-
27.00	222	-0.06	-0.11	-158.46	-22.65	160.07	188.13	28.80	-
26.00	223	0.11	0.04	-156.69	-23.68	158.47	188.59	28.90	-
25.00	224	0.05	0.18	-156.00	-26.94	158.37	189.80	28.90	-
24.00	225	0.00	0.25	-156.23	-31.50	159.37	191.40	28.90	-
23.00	226	-0.23	0.22	-160.36	-35.23	164.18	192.39	29.00	-
22.00	227	-0.25	0.02	-164.71	-35.80	168.56	192.26	29.10	-
21.00	228	-0.01	0.18	-164.54	-39.01	169.10	193.34	29.80	-
20.00	229	-0.19	0.00	-167.85	-39.58	172.45	193.27	29.10	-
19.00	230	-0.36	-0.04	-173.97	-39.44	178.38	192.77	30.00	0.12
18.00	231	-0.33	-0.19	-180.20	-37.43	184.05	191.73	30.50	-
17.00	232	-0.09	-0.23	-182.76	-34.04	185.90	190.55	29.20	-
16.00	233	0.15	-0.17	-180.76	-30.65	183.34	189.62	29.10	-
15.00	234	-0.16	-0.19	-184.26	-27.97	186.37	188.63	29.20	-
14.00	235	-0.10	-0.13	-186.49	-26.17	188.32	187.99	103.10	-
13.00	236	0.10	0.07	-184.36	-26.71	186.27	188.24	29.30	-
12.00	237	0.04	0.25	-182.34	-30.74	184.91	189.57	29.20	-
11.00	238	0.09	0.26	-179.65	-34.69	182.97	190.93	29.40	-
10.00	239	-0.03	0.10	-179.61	-36.48	183.28	191.48	29.70	-
9.00	240	-0.10	0.01	-181.25	-37.21	185.03	191.60	29.80	-
8.00	241	-0.22	0.11	-184.28	-40.36	188.65	192.35	30.50	-
7.00	242	-0.39	0.07	-190.09	-44.17	195.15	193.08	30.10	-
6.00	243	-0.29	-0.14	-195.76	-44.06	200.65	192.69	30.20	-
5.00	244	-0.06	-0.22	-198.23	-41.01	202.43	191.69	30.40	-
4.00	245	0.26	-0.19	-195.89	-35.90	199.15	190.39	31.00	-
3.00	246	0.26	-0.04	-192.24	-33.21	195.09	189.80	31.50	-
2.00	247	0.07	0.14	-189.98	-34.70	193.12	190.35	32.10	-
1.00	248	-0.15	0.21	-186.49	-40.67	193.81	192.11	32.30	-
0.00	249	-0.15	-0.07	-192.38	-40.67	196.70	192.02	30.60	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0075

DMS BRK003-250-0421

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC003

Projeto: Maceió

Avaliado por: C.S.G.

DMS BRK003-250-0421: Deslocamento Norte - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC003

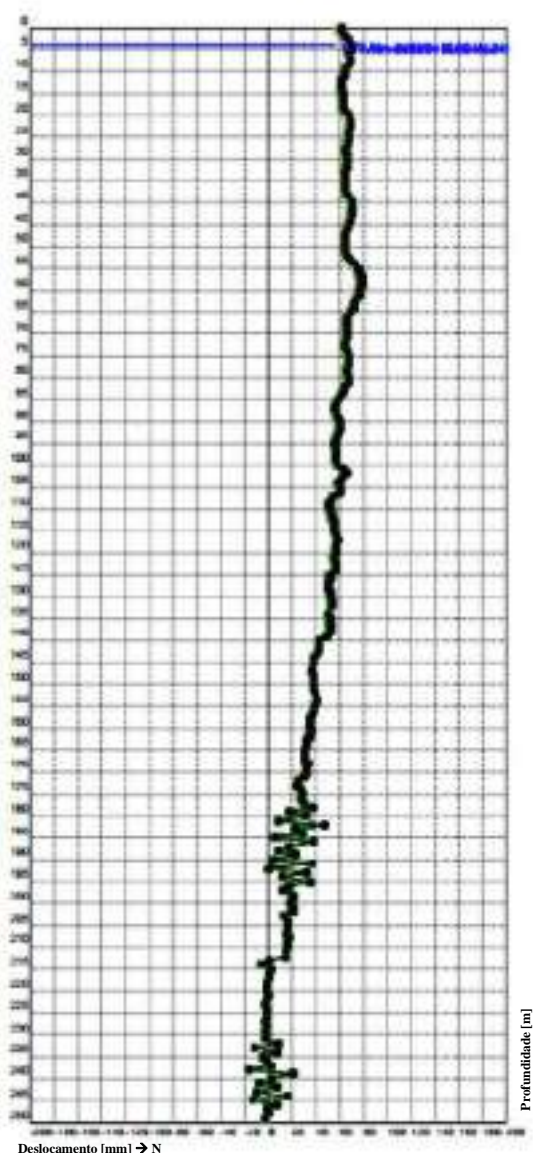
Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 29/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 14:30

Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

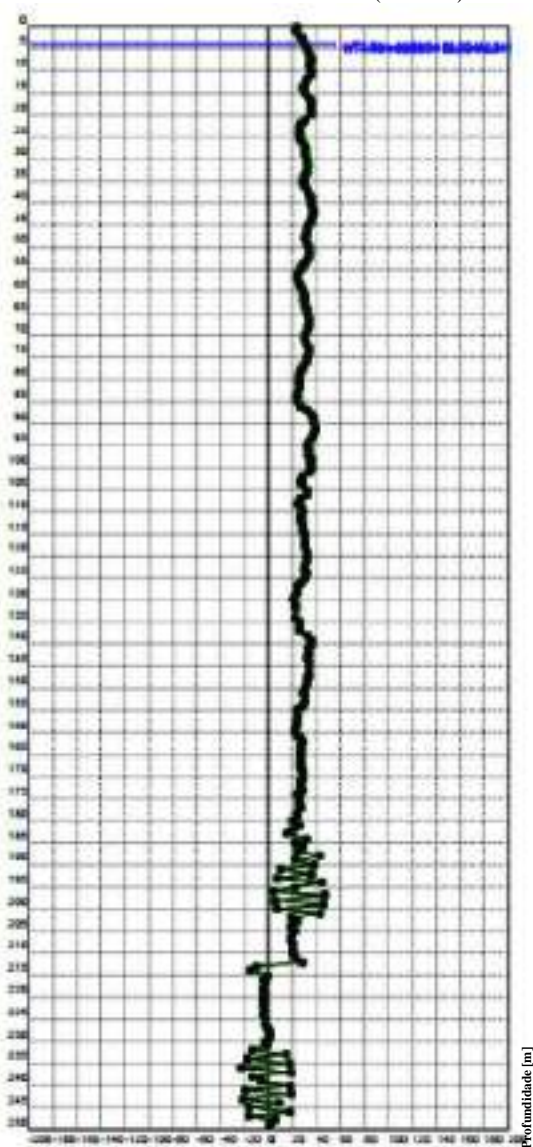
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0076

DMS BRK003-250-0421: Deslocamento Leste - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

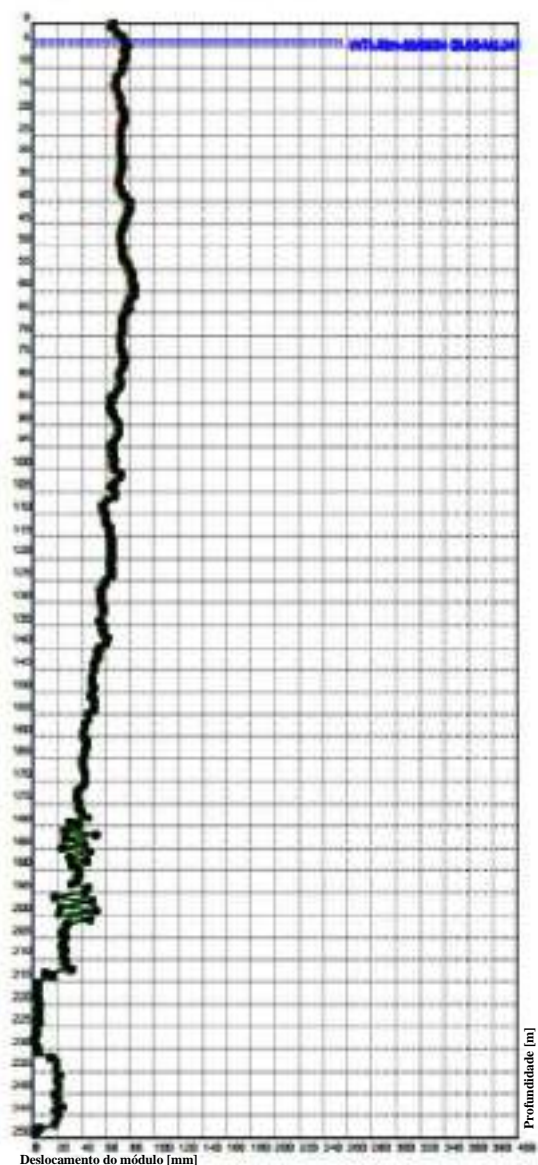
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0077

DMS BRK003-250-0421: Deslocamento do Módulo - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00

Profundidade [m]

Deslocamento do módulo [mm]



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

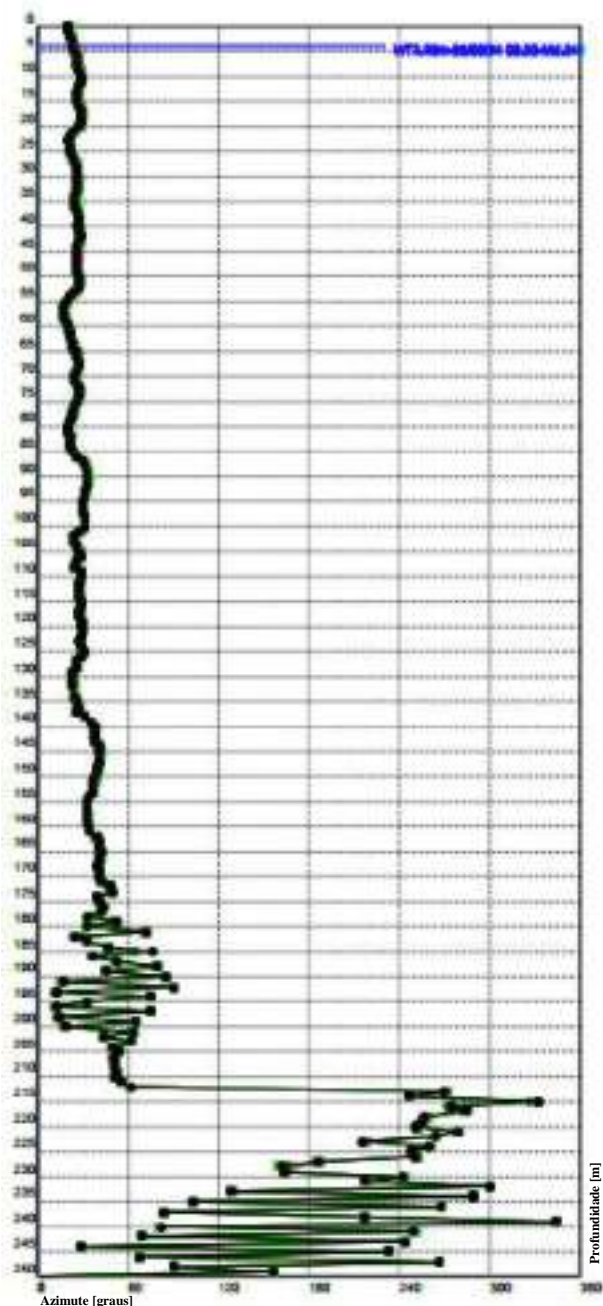
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0078

DMS BRK003-250-0421: Deslocamento Azimutal

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00 —
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00 —
03 de março de 2024 00:00 —



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

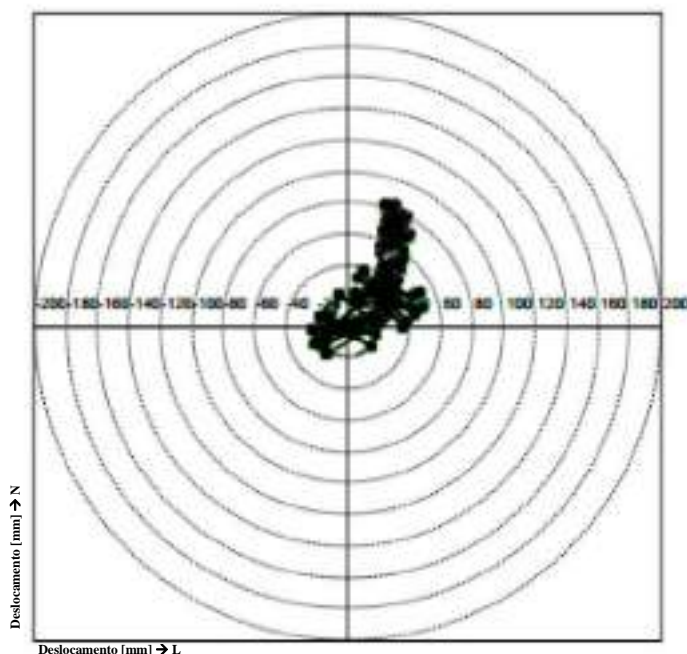
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0079

DMS BRK003-250-0421: Diagrama polar - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)



Os valores são classificados por profundidade

Legenda:

01 de abril de 2024 00:00	24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00	10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00	



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0080

DMS BRK003-250-0421: Temperatura

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC003

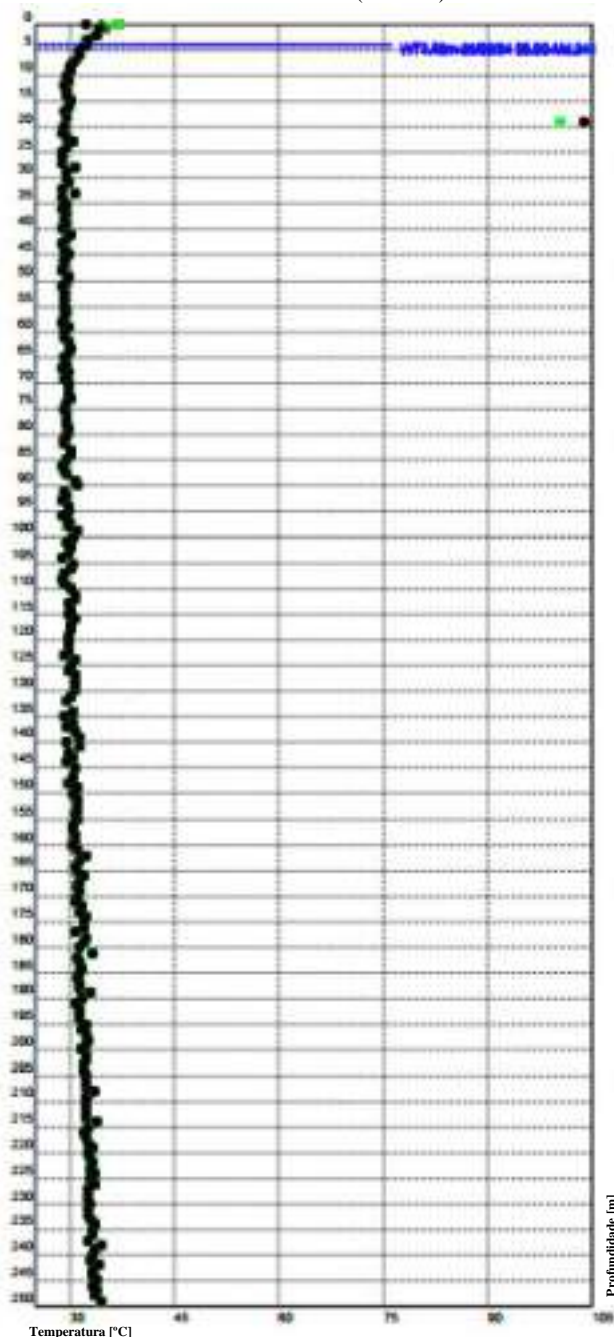
Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 29/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 14:30

Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matrícula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

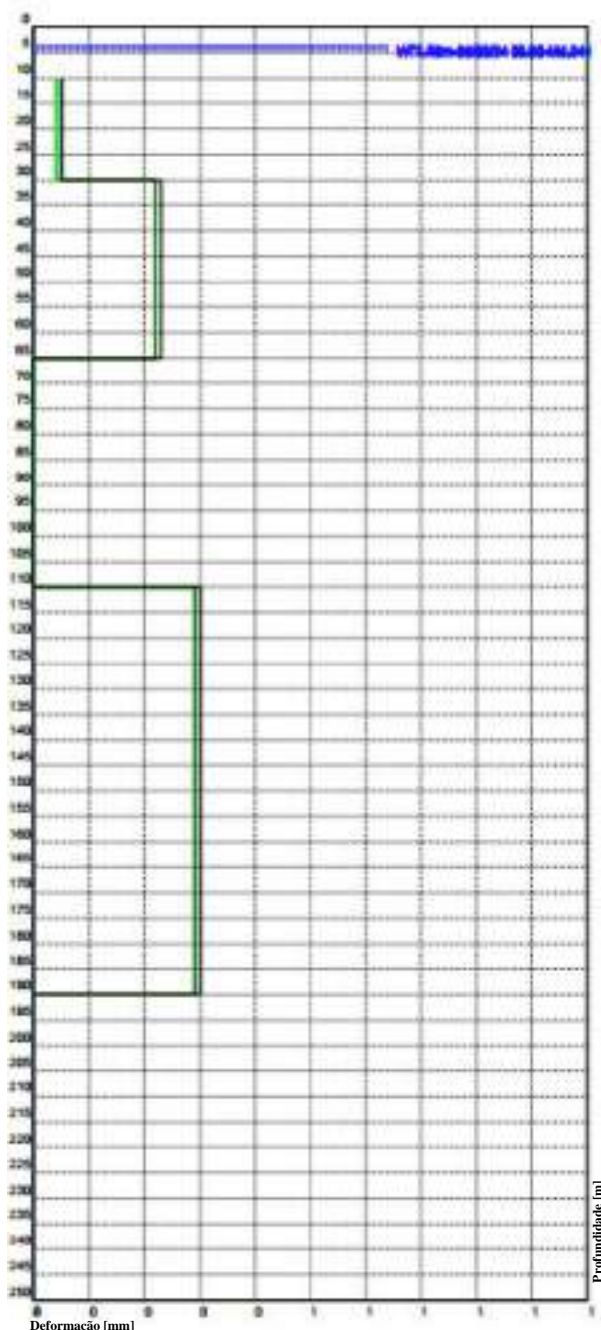
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0081

DMS BRK003-250-0421: Deformações

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00
24 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBAHOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0082

DMS BRK003-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC003

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 29/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 14:30

Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
249.00	0	0.02	-0.14	-2.26	0.95	2.40	156.57	34.50	-
248.00	1	0.30	0.05	-0.07	5.83	60.65	90.65	33.60	-
247.00	2	-1.20	0.25	-0.93	-17.31	17.34	266.91	33.90	-
246.00	3	2.06	-0.09	7.32	17.62	19.08	67.44	33.30	-
245.00	4	-2.10	-0.58	-12.77	-10.45	20.82	232.17	33.80	-
244.00	5	1.90	1.12	16.18	8.88	18.45	28.77	33.30	-
243.00	6	-2.10	-1.04	-10.56	-22.03	24.43	244.40	33.20	-
242.00	7	2.52	0.34	8.98	18.09	19.95	69.52	34.20	-
241.00	8	-2.32	-0.21	-7.07	-19.51	20.75	250.09	32.80	-
240.00	9	2.23	-0.01	2.73	18.24	18.44	81.40	33.30	-
239.00	10	-1.17	1.27	20.70	-6.08	21.67	343.64	33.60	-
238.00	11	-0.79	-2.04	-16.89	-12.76	21.17	217.08	34.50	-
237.00	12	1.07	0.71	1.96	18.60	18.70	84.02	32.70	-
236.00	13	-2.36	0.33	-0.80	-22.95	22.96	268.01	33.30	-
235.00	14	2.28	-0.65	-4.44	18.25	18.78	103.68	33.10	-
234.00	15	-1.94	1.04	8.10	-18.67	19.66	288.27	33.60	-
233.00	16	1.70	-1.37	-11.99	14.77	19.02	129.08	32.90	-
232.00	17	-1.37	1.40	7.75	-13.14	15.28	300.52	32.60	-
231.00	18	0.54	-0.69	-2.38	-1.75	2.94	216.02	32.70	-
230.00	19	-0.04	0.06	-1.41	-2.73	3.06	242.65	32.80	-
229.00	20	0.18	-0.10	-2.52	0.74	2.63	183.58	32.60	-
228.00	21	-0.01	0.10	-0.83	0.27	0.87	161.68	32.50	-
227.00	22	-0.04	-0.09	-2.45	-0.26	2.47	186.03	32.60	-
226.00	23	-0.12	0.11	-0.94	-2.63	2.79	250.21	33.60	-
225.00	24	0.02	0.00	-0.93	-2.35	2.52	248.34	32.80	-
224.00	25	-0.13	0.01	-0.91	-4.54	4.61	269.00	33.50	-
223.00	26	0.14	-0.12	-2.79	-2.06	3.47	216.39	33.00	-
222.00	27	-0.13	0.14	-0.46	-4.40	4.42	264.06	33.20	-
221.00	28	0.04	0.06	0.63	-3.77	3.82	279.43	33.00	-
220.00	29	-0.05	-0.12	-1.50	-4.43	4.68	251.34	32.50	-
219.00	30	0.08	0.04	-0.82	-3.12	3.23	255.36	33.20	-
218.00	31	-0.03	0.00	-0.94	-3.56	3.66	256.70	32.60	-
217.00	32	0.05	0.09	0.74	-2.72	2.82	280.21	32.30	-
216.00	33	-0.08	-0.02	0.32	-4.05	4.06	274.45	32.00	-
215.00	34	0.16	0.12	2.53	-1.33	2.86	332.31	32.50	-
214.00	35	-0.72	-0.55	-6.25	-14.56	15.85	246.77	33.70	-
213.00	36	0.20	0.36	-0.02	-8.92	9.92	269.88	32.30	-
212.00	37	2.18	0.90	14.82	28.06	31.74	62.15	32.30	-
211.00	38	-0.38	0.01	15.35	21.09	26.82	65.69	32.20	-
210.00	39	-0.08	0.06	16.37	20.63	26.33	51.56	32.40	-
209.00	40	0.01	-0.04	15.60	20.81	26.01	53.15	32.40	-
208.00	41	0.03	0.11	17.47	21.53	27.73	50.95	33.40	-
207.00	42	-0.13	-0.14	15.23	18.99	24.34	51.26	32.20	-
206.00	43	0.05	0.09	16.54	20.09	26.02	50.53	32.30	-
205.00	44	0.12	0.02	16.45	22.20	27.63	53.40	32.30	-
204.00	45	-0.18	-0.06	15.73	18.89	24.58	50.22	32.00	-
203.00	46	0.34	-0.14	12.49	24.42	27.43	62.91	31.80	-
202.00	47	-0.32	0.41	20.43	19.86	28.49	44.10	32.30	-
201.00	48	1.31	0.27	21.07	43.24	48.10	64.02	32.40	-
200.00	49	-2.05	-0.45	19.49	6.55	20.60	18.83	31.70	-
199.00	50	2.24	0.49	21.51	46.06	51.37	65.25	32.30	-
198.00	51	-2.33	-0.37	21.37	5.51	22.07	14.47	32.50	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0083

DMS BRK003-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
197.00	52	2.43	-0.16	12.32	47.67	48.65	75.33	32.20	-
196.00	53	-2.48	-0.09	17.20	3.95	17.84	12.94	31.60	-
195.00	54	0.92	1.18	35.43	22.72	42.98	32.67	32.40	-
194.00	55	1.52	-1.09	11.49	44.89	46.34	75.64	31.30	-
193.00	56	-2.34	0.09	31.34	7.24	32.16	13.02	31.40	-
192.00	57	2.02	-1.34	-0.06	35.68	35.68	90.10	31.40	-
191.00	58	-1.90	1.63	35.80	10.74	37.38	16.71	30.80	-
190.00	59	1.98	-1.43	3.42	37.79	37.85	84.81	31.70	-
189.00	60	-1.12	0.82	22.87	23.14	32.53	45.39	32.90	-
188.00	61	1.35	-0.47	8.06	43.17	43.92	79.39	31.40	-
187.00	62	-1.20	0.24	18.39	24.55	30.68	53.17	31.20	-
186.00	63	-0.09	1.18	38.59	38.65	48.07	30.59	31.10	-
185.00	64	0.27	-1.91	5.51	22.69	23.35	76.34	31.90	-
184.00	65	0.07	1.46	29.29	31.98	43.37	47.52	31.80	-
183.00	66	-0.81	-0.66	23.11	14.85	27.47	32.71	31.20	-
182.00	67	-0.15	1.41	46.85	21.53	51.56	24.69	31.00	-
181.00	68	1.00	-1.99	8.24	25.21	25.52	71.89	33.20	-
180.00	69	-0.77	1.18	31.15	26.39	37.23	33.21	31.40	-
179.00	70	0.51	-0.57	18.40	24.05	30.29	52.59	32.10	-
178.00	71	-0.46	1.05	38.31	24.13	45.26	32.21	32.20	-
177.00	72	0.40	-0.39	29.10	27.29	30.89	43.16	30.80	-
176.00	73	-0.03	-0.14	27.18	25.81	37.48	43.52	32.00	-
175.00	74	-0.09	0.05	28.04	24.87	37.93	40.98	32.00	-
174.00	75	-0.03	-0.07	27.83	23.76	36.59	40.49	32.30	-
173.00	76	0.32	-0.05	24.33	28.16	37.21	46.17	31.40	-
172.00	77	-0.04	0.04	25.28	27.84	37.60	47.76	31.60	-
171.00	78	-0.12	0.22	29.59	27.73	40.56	43.14	30.70	-
170.00	79	-0.02	0.19	32.15	28.81	43.17	41.87	31.00	-
169.00	80	-0.02	-0.01	32.11	28.36	42.85	41.45	31.20	-
168.00	81	-0.07	-0.01	32.71	27.21	42.55	39.76	30.90	-
167.00	82	0.03	-0.10	30.94	26.64	40.83	40.73	31.40	-
166.00	83	0.04	-0.03	30.15	27.62	40.49	41.86	32.10	-
165.00	84	0.02	0.00	30.00	27.27	40.54	42.27	30.90	-
164.00	85	-0.03	0.09	31.55	27.67	41.97	41.25	30.70	-
163.00	86	-0.02	0.05	32.46	27.89	42.79	40.67	31.30	-
162.00	87	-0.05	0.09	34.25	27.98	44.23	39.25	32.30	-
161.00	88	-0.20	-0.02	35.96	24.82	43.61	34.69	30.90	-
160.00	89	-0.04	-0.10	34.85	23.19	41.86	33.64	30.30	-
159.00	90	-0.03	-0.01	34.94	22.70	41.67	33.01	30.00	-
158.00	91	0.01	0.06	35.68	23.90	42.72	33.36	30.60	-
157.00	92	-0.02	0.02	36.19	23.52	43.16	33.02	30.30	-
156.00	93	-0.03	0.13	38.28	24.63	45.91	32.76	30.50	-
155.00	94	-0.02	0.04	38.94	24.77	46.16	32.46	31.00	-
154.00	95	0.08	0.23	41.53	28.09	50.14	34.08	30.80	-
153.00	96	0.11	0.02	40.49	29.80	50.27	35.36	31.10	-
152.00	97	0.04	0.00	39.98	30.36	50.20	37.21	31.10	-
151.00	98	0.04	-0.14	37.80	29.08	47.69	37.57	30.90	-
150.00	99	0.04	0.07	38.11	30.50	48.81	38.67	30.40	-
149.00	100	0.04	0.07	38.45	31.85	49.92	39.64	31.00	-
148.00	101	0.04	-0.01	37.78	32.17	49.62	40.41	29.90	-
147.00	102	0.05	0.00	37.15	32.71	49.50	41.37	30.40	-
146.00	104	0.01	0.07	37.90	33.74	50.74	41.67	30.80	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0084

DMS BRK003-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC003

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 29/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 14:30

Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
144.00	105	-0.06	0.00	38.74	33.14	50.96	40.54	29.50	-
143.00	106	-0.11	0.04	40.70	32.58	52.13	38.68	30.30	-
142.00	107	-0.07	0.08	42.49	32.59	53.79	37.83	29.80	-
141.00	108	0.01	-0.01	43.29	32.84	53.55	37.84	31.20	-
140.00	109	-0.01	0.11	43.54	34.29	55.42	38.23	29.50	-
139.00	110	-0.24	0.21	49.09	35.21	60.41	35.65	31.30	-
138.00	111	-0.26	-0.11	52.08	31.30	60.80	31.08	30.70	-
137.00	112	-0.19	-0.27	52.78	25.60	58.59	25.92	29.40	-
136.00	113	0.00	-0.01	51.81	25.92	57.93	26.58	30.40	-
135.00	114	-0.02	-0.04	51.79	25.07	57.53	25.83	29.30	-
134.00	115	-0.01	-0.15	50.76	22.68	55.59	24.07	30.40	-
132.00	117	-0.13	0.09	53.41	23.30	58.33	23.48	29.60	-
131.00	118	-0.03	-0.01	53.92	22.88	58.58	23.00	30.20	-
130.00	119	0.06	-0.10	52.27	21.66	56.58	22.51	30.70	-
129.00	120	0.02	0.05	52.25	22.65	56.95	23.43	30.60	0.30
128.00	121	0.10	0.06	50.82	24.01	56.20	25.29	30.60	-
127.00	122	0.00	0.08	56.77	24.02	56.16	25.32	30.60	-
126.00	123	-0.01	0.20	51.80	27.41	58.61	27.89	29.80	-
125.00	124	0.06	0.18	51.50	30.62	60.01	30.90	30.10	-
124.00	125	-0.26	0.07	56.22	31.08	64.24	28.94	30.70	-
123.00	126	-0.08	-0.05	57.47	30.01	64.83	27.57	29.20	-
122.00	127	0.07	0.01	56.22	30.33	63.88	28.35	29.80	-
121.00	128	0.09	0.06	54.92	31.64	63.38	29.95	29.70	-
120.00	129	-0.10	0.01	56.67	31.52	64.84	29.09	29.90	-
119.00	130	0.01	0.02	56.62	31.62	64.94	29.34	29.70	-
118.00	131	-0.08	-0.08	57.50	30.11	64.91	27.64	30.20	-
117.00	132	-0.02	0.01	57.84	30.14	65.22	27.53	30.00	-
116.00	133	0.06	0.02	56.78	30.49	64.45	28.24	30.60	-
115.00	134	0.03	-0.04	56.07	29.95	63.57	28.11	29.70	-
114.00	135	-0.01	-0.03	56.04	29.35	63.27	27.64	30.00	-
113.00	136	0.02	-0.06	55.37	28.90	62.31	27.30	29.90	-
112.00	137	0.07	-0.07	53.81	27.70	60.56	27.32	30.60	-
111.00	138	0.03	-0.01	53.29	27.86	60.13	27.60	30.70	-
110.00	139	0.07	0.02	52.20	28.19	59.33	28.37	30.20	-
109.00	140	0.04	-0.04	51.27	27.70	58.28	28.38	29.30	-
108.00	141	-0.17	-0.18	52.93	23.74	58.01	24.15	29.90	-
107.00	142	-0.06	0.19	54.88	26.62	61.00	25.87	29.30	-
106.00	143	-0.14	0.38	59.38	32.08	67.49	28.38	30.10	-
105.00	144	-0.07	0.01	60.59	31.62	68.44	27.71	30.30	-
104.00	145	0.03	-0.25	58.33	28.10	64.75	25.72	28.90	-
103.00	146	-0.20	0.03	61.78	27.07	67.46	23.66	29.90	-
102.00	147	-0.16	0.18	65.59	28.60	71.54	23.71	30.10	-
101.00	148	0.21	0.18	63.78	33.33	71.96	27.59	29.60	-
100.00	149	0.34	-0.01	58.20	35.20	68.02	31.15	30.40	-
99.00	150	0.06	-0.06	56.76	34.64	66.50	31.39	30.90	-
98.00	151	-0.04	0.01	57.49	34.45	67.02	30.93	29.70	-
97.00	152	-0.02	-0.09	57.15	32.94	65.97	29.96	29.90	-
96.00	153	0.02	-0.02	56.71	32.69	65.46	29.96	29.90	-
95.00	154	0.02	-0.04	56.09	32.18	64.67	29.85	29.90	-
94.00	155	0.01	0.12	56.96	34.02	66.35	30.85	29.70	-
93.00	156	-0.03	0.16	58.64	36.32	68.98	31.78	28.90	-
92.00	157	-0.01	0.11	59.74	37.91	70.75	32.40	29.40	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0085

DMS BRK003-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC003
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 29/04/2021
Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Observações: Direção revisada P+
101°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
91.00	158	0.05	0.05	59.54	30.21	71.25	33.36	29.10	-
90.00	159	-0.01	-0.02	59.47	30.81	71.01	33.13	31.00	-
89.00	160	0.04	-0.11	57.78	37.69	68.99	33.11	30.80	0.30
88.00	161	-0.01	-0.14	56.70	35.49	66.89	32.04	29.60	-
87.00	162	-0.09	-0.18	55.82	32.06	64.37	29.87	29.10	-
86.00	163	-0.22	-0.14	57.23	27.71	63.58	25.84	28.70	-
85.00	164	-0.20	-0.06	59.12	24.81	64.03	22.60	29.60	-
84.00	165	-0.12	0.03	60.92	23.56	65.32	21.14	30.20	-
83.00	166	-0.04	0.11	62.84	24.49	67.45	21.29	30.10	-
82.00	167	-0.04	0.16	65.33	26.03	70.32	21.72	29.30	-
81.00	168	-0.15	0.07	68.16	25.14	72.65	20.24	29.10	-
80.00	169	-0.01	-0.01	68.17	24.84	72.56	20.02	29.60	-
79.00	170	0.10	-0.01	66.74	25.77	71.54	21.11	29.80	-
78.00	171	0.07	0.06	66.34	27.39	71.78	22.44	29.50	-
77.00	172	0.00	0.15	67.96	26.36	74.06	23.35	29.40	-
76.00	173	0.06	0.08	68.14	31.10	74.90	24.53	29.40	-
75.00	174	0.05	0.03	67.77	30.12	75.00	25.36	29.20	-
74.00	175	0.11	-0.01	66.26	30.31	74.18	26.69	29.60	-
73.00	176	0.10	-0.06	64.29	33.87	72.66	27.78	30.10	-
72.00	177	-0.07	-0.06	64.57	30.38	72.23	26.64	29.70	-
71.00	178	-0.14	-0.01	60.23	30.65	72.83	24.77	29.80	-
70.00	179	-0.04	0.00	66.71	30.01	73.15	24.22	29.90	-
69.00	180	0.07	0.06	66.73	31.52	73.80	25.29	29.30	-
68.00	181	0.10	0.01	66.77	32.99	73.98	26.64	29.90	-
67.00	182	0.00	0.01	65.79	33.10	73.65	26.70	29.00	-
66.00	183	-0.04	0.05	66.95	33.10	74.72	26.30	29.50	-
65.00	184	-0.13	0.09	69.64	30.96	76.88	25.06	29.10	-
64.00	185	-0.17	0.10	73.00	31.56	79.53	23.35	29.70	-
63.00	186	-0.05	-0.04	73.08	30.37	79.14	22.56	30.10	-
62.00	187	-0.10	0.04	74.81	29.61	80.46	21.60	29.80	-
61.00	188	-0.11	0.12	77.64	29.70	83.13	20.93	29.20	-
60.00	189	-0.06	-0.04	77.66	28.42	82.70	20.10	29.20	-
59.00	190	-0.10	-0.01	78.68	26.98	83.18	18.92	29.70	-
58.00	191	-0.09	-0.07	78.59	24.99	82.47	17.64	28.80	-
57.00	192	-0.04	-0.07	78.04	23.76	81.58	16.93	29.10	-
56.00	193	0.04	0.00	77.63	24.30	81.35	17.38	29.40	-
55.00	194	0.17	-0.02	75.50	26.47	80.00	19.32	29.10	-
54.00	195	0.24	-0.04	72.57	29.51	78.34	22.13	29.20	-
53.00	196	0.24	-0.08	69.05	30.14	76.15	24.96	29.10	-
52.00	197	0.18	-0.07	66.21	33.80	74.34	27.04	29.10	-
51.00	198	0.05	-0.04	65.16	34.17	73.57	27.67	28.90	-
50.00	199	-0.04	-0.02	65.27	33.49	73.36	27.16	29.60	-
49.00	200	-0.07	-0.05	65.11	31.96	72.53	26.14	29.80	-
48.00	201	-0.00	-0.04	64.94	30.72	71.83	25.31	29.00	-
47.00	202	0.01	0.03	65.18	31.15	72.24	25.54	29.10	-
46.00	203	0.02	0.09	66.43	32.25	73.84	25.89	29.20	-
45.00	204	-0.01	0.10	67.96	32.94	75.52	25.89	29.90	-
44.00	205	0.03	0.11	69.38	34.45	77.46	26.41	29.30	-
43.00	206	0.07	0.10	70.28	36.38	79.14	27.37	28.90	-
42.00	207	0.08	0.04	70.40	37.54	79.79	28.07	29.40	-
41.00	208	-0.05	0.02	71.03	36.94	80.06	27.48	30.10	-
40.00	209	-0.08	-0.03	71.26	35.47	79.60	26.46	29.00	0.53



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0086

DMS BRK003-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC003

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 29/04/2021

Data de calibração: 05/07/2021 14:30
Direção revisada P+
101°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
39.00	210	0.03	-0.13	69.00	34.85	77.30	26.80	29.50	+
38.00	211	0.00	-0.21	69.59	33.37	73.59	26.97	29.30	+
37.00	212	-0.06	-0.10	64.59	31.29	71.77	25.85	29.00	+
36.00	213	-0.06	-0.02	64.91	29.89	71.48	24.72	28.90	+
35.00	214	-0.03	0.00	65.14	29.51	71.51	24.37	29.00	+
34.00	215	0.00	0.02	65.42	29.71	71.85	24.43	28.90	+
33.00	216	0.09	0.03	65.33	31.34	72.45	25.63	30.70	+
32.00	217	0.04	0.05	65.90	32.38	73.42	26.17	28.70	+
31.00	218	0.00	0.01	65.05	32.47	73.60	25.18	29.70	+
30.00	219	-0.03	-0.01	66.06	31.86	73.35	25.75	29.50	+
29.00	220	-0.05	-0.04	65.60	30.84	72.48	25.18	29.50	+
28.00	221	0.02	-0.03	64.98	31.03	72.00	25.53	30.60	+
27.00	222	-0.06	0.07	66.63	30.17	73.14	24.36	28.90	+
26.00	223	-0.14	0.00	67.59	27.84	73.19	22.39	28.80	+
25.00	224	-0.10	-0.01	68.08	26.97	72.91	20.96	28.90	+
24.00	225	0.01	0.00	68.02	26.22	72.90	21.08	29.50	+
23.00	226	-0.05	0.04	68.97	25.88	73.59	20.42	30.40	+
22.00	227	0.06	0.08	70.01	27.66	75.06	21.13	29.60	+
21.00	228	0.17	0.04	69.86	30.07	76.05	23.29	28.90	+
20.00	229	0.28	-0.06	67.68	34.60	76.01	27.08	29.10	+
19.00	230	0.05	-0.18	64.43	34.72	73.19	28.32	103.80	0.58
18.00	231	0.05	-0.04	63.62	35.36	72.79	29.07	29.40	+
17.00	232	0.00	0.00	63.63	35.37	72.80	29.07	29.30	+
16.00	233	-0.15	-0.04	63.52	32.69	71.44	27.23	29.90	+
15.00	234	-0.14	-0.09	62.50	29.87	69.27	25.54	30.00	+
14.00	235	-0.02	-0.06	61.53	29.31	68.16	25.47	29.50	+
13.00	236	0.03	0.02	61.82	29.82	68.64	25.75	29.60	+
12.00	237	0.10	0.03	62.07	31.80	69.66	26.98	29.20	+
11.00	238	0.15	0.16	64.28	34.72	73.05	28.38	29.00	+
10.00	239	0.03	0.05	64.99	35.33	73.97	28.53	29.50	+
9.00	240	-0.08	0.04	65.94	34.85	74.21	27.31	30.00	+
8.00	241	-0.02	0.22	69.77	34.30	77.75	26.18	30.20	+
7.00	242	0.01	-0.03	69.29	34.35	77.34	26.37	30.60	+
6.00	243	-0.07	-0.06	68.67	33.94	76.11	25.73	31.30	+
5.00	244	-0.09	0.13	71.11	31.92	77.94	24.18	31.40	+
4.00	245	-0.06	-0.05	70.56	30.47	76.86	23.36	32.20	+
3.00	246	-0.10	-0.17	67.97	28.23	73.60	22.56	32.50	+
2.00	247	-0.08	-0.25	64.04	26.90	69.12	22.10	33.00	+
1.00	248	-0.13	-0.20	61.12	23.05	65.30	20.67	34.30	+
0.00	249	0.01	0.07	62.20	23.49	66.49	20.69	32.40	+



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0087

DMS BRK004-250-0421

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC004

Projeto: Maceió

Avaliado por: C.S.G.

DMS BRK004-250-0421: Deslocamento Norte - Cumulativo

Relatório n.º IN02 - 26/02/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

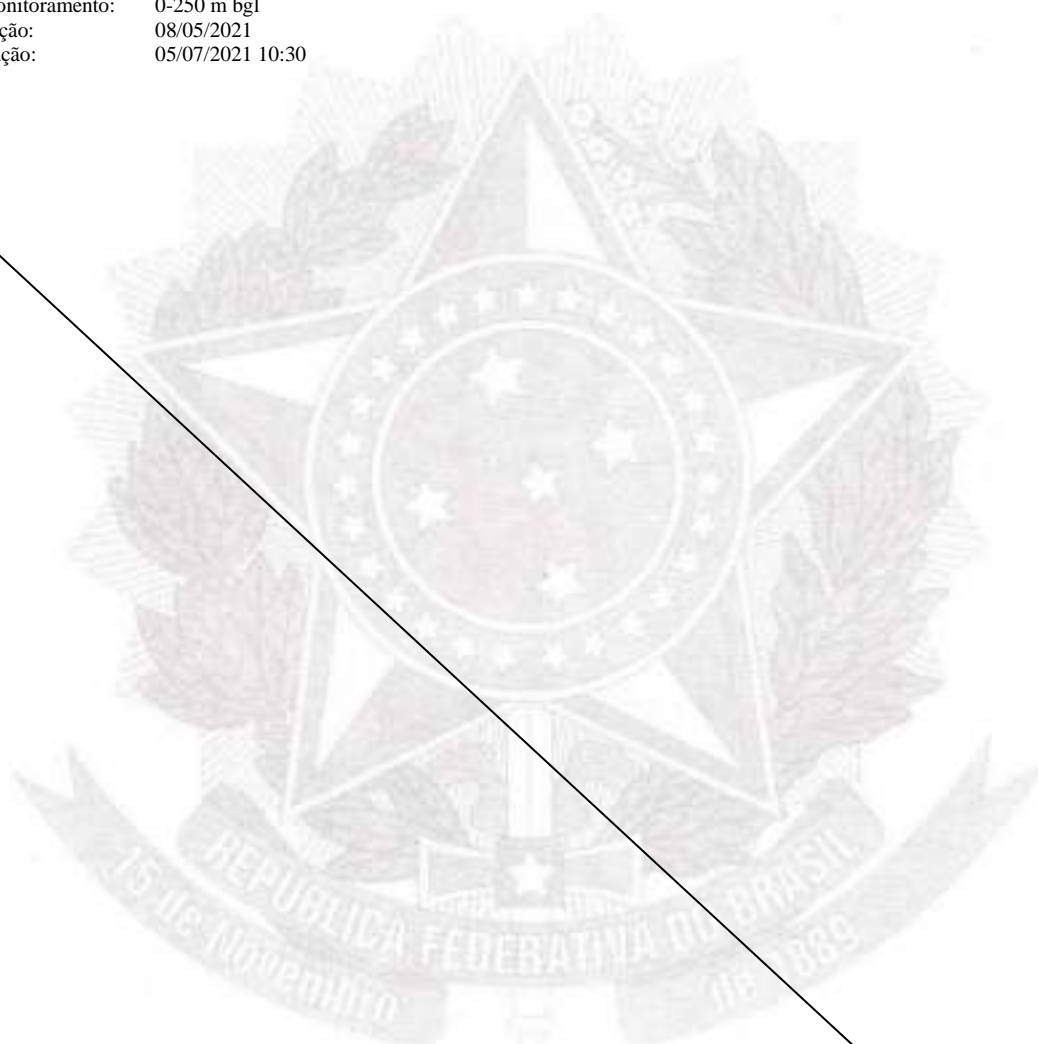
Site: INC004

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 08/05/2021

Data de calibração: 05/07/2021 10:30





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

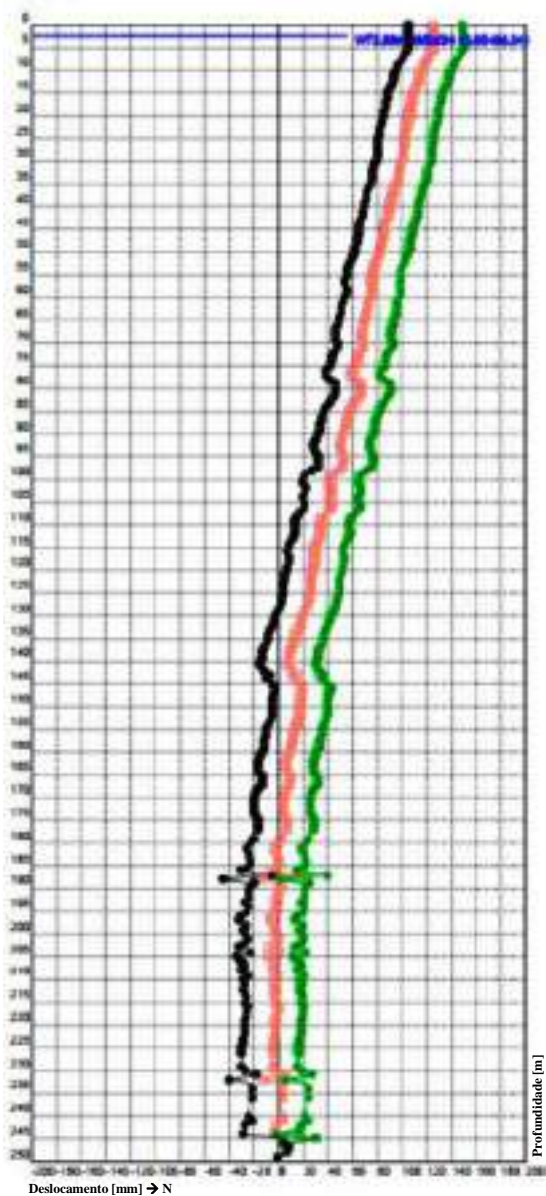
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0088

DMS BRK004-250-0421: Deslocamento Norte - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0089

DMS BRK004-250-0421: Deslocamento Leste - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

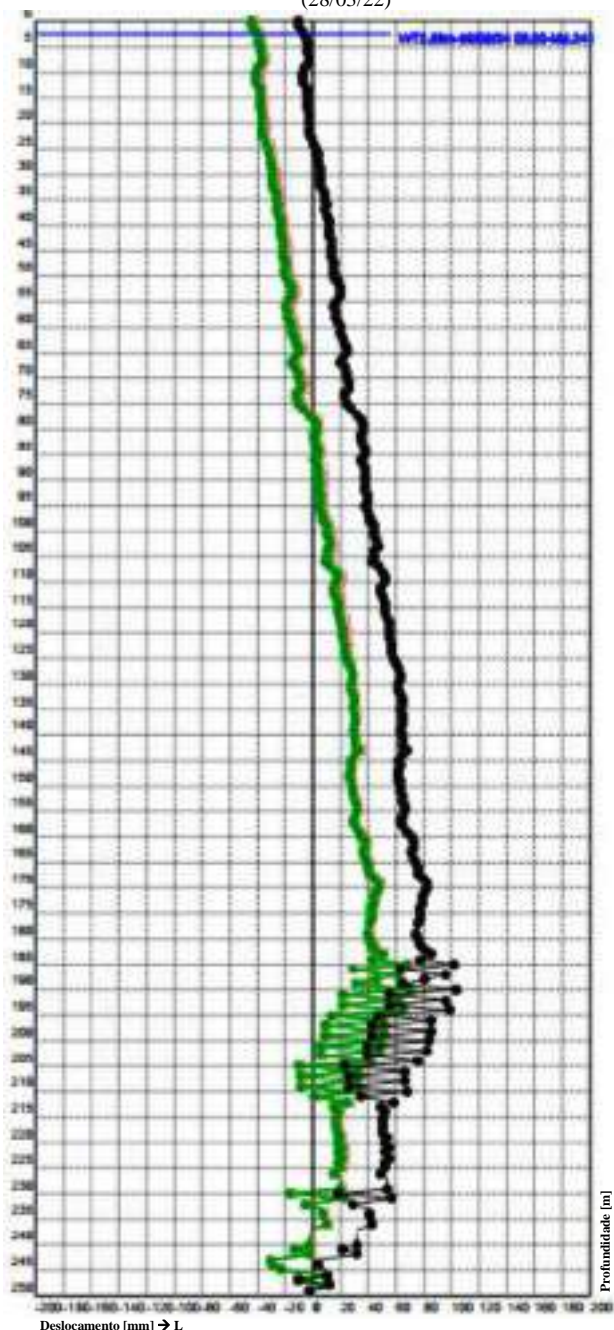
Site: INC004

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 08/05/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Legenda:
01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00 — 17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00 — 03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0090

DMS BRK003-250-0421: Deslocamento do módulo - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC004

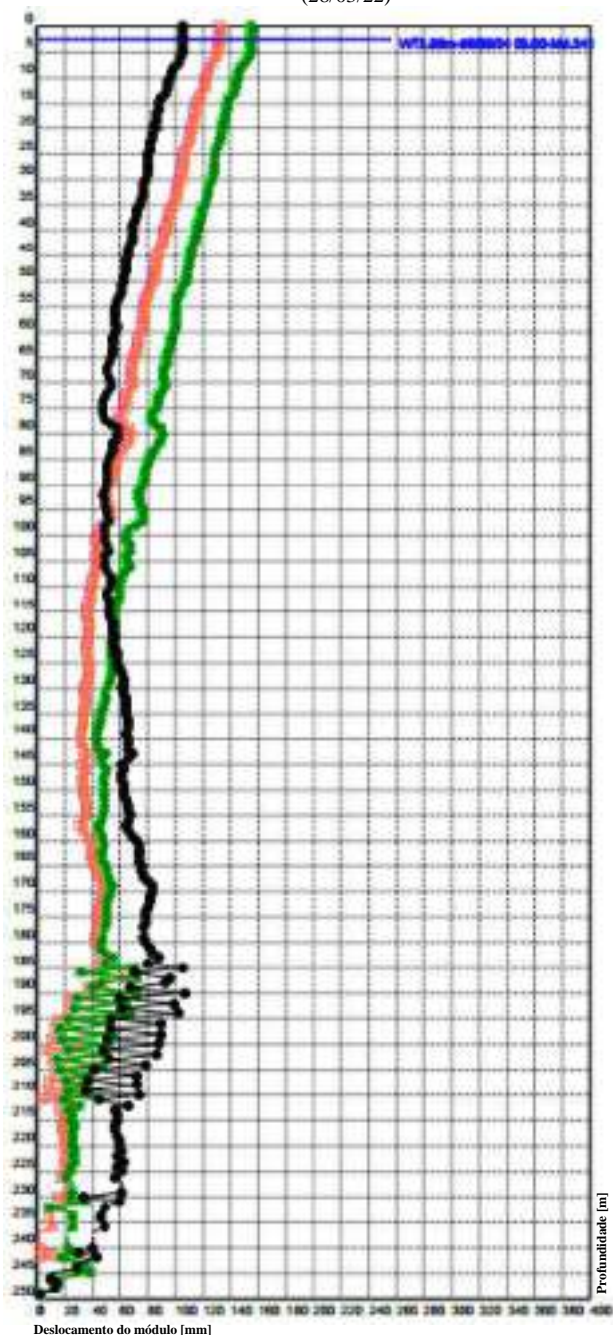
Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 08/05/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

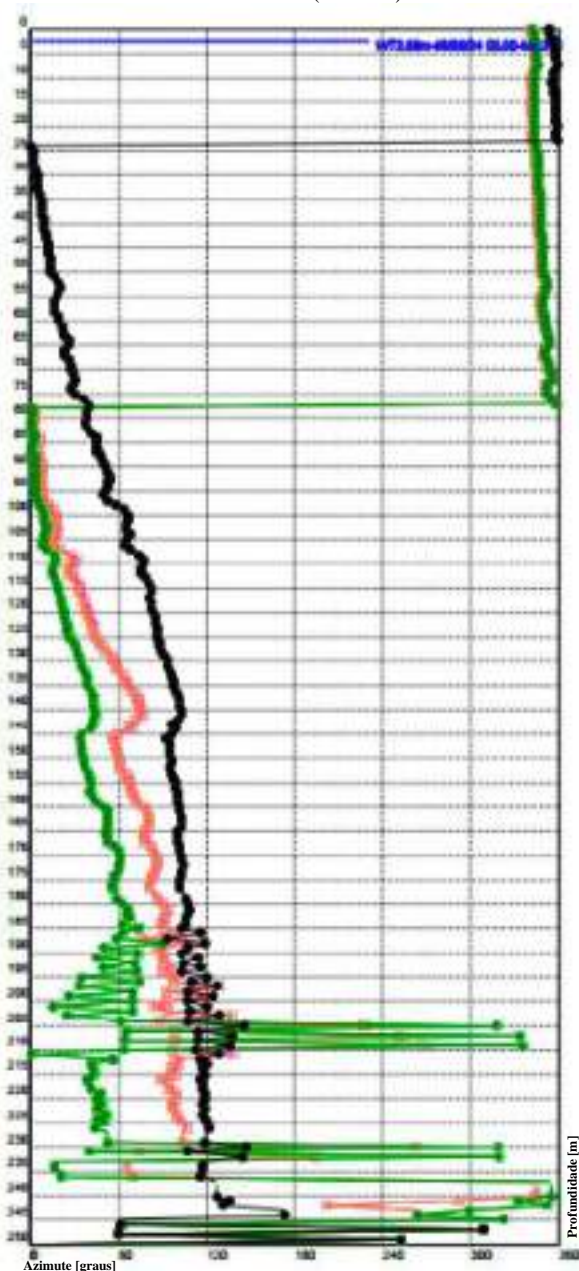
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0091

DMS BRK003-250-0421: Deslocamento Azimutal

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 — 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 — 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

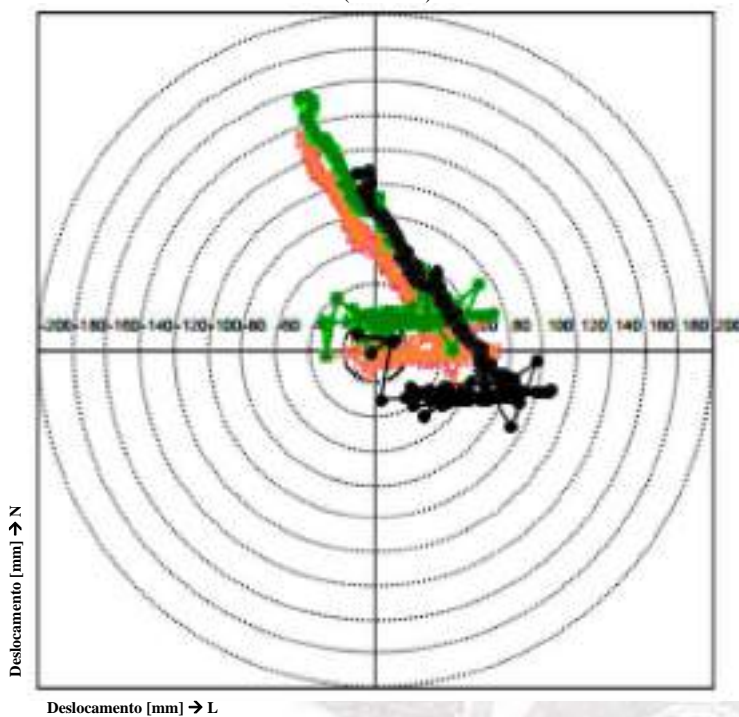
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0092

DMS BRK004-250-0421: Diagrama polar - Cumulativo

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Os valores são classificados por profundidade

Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

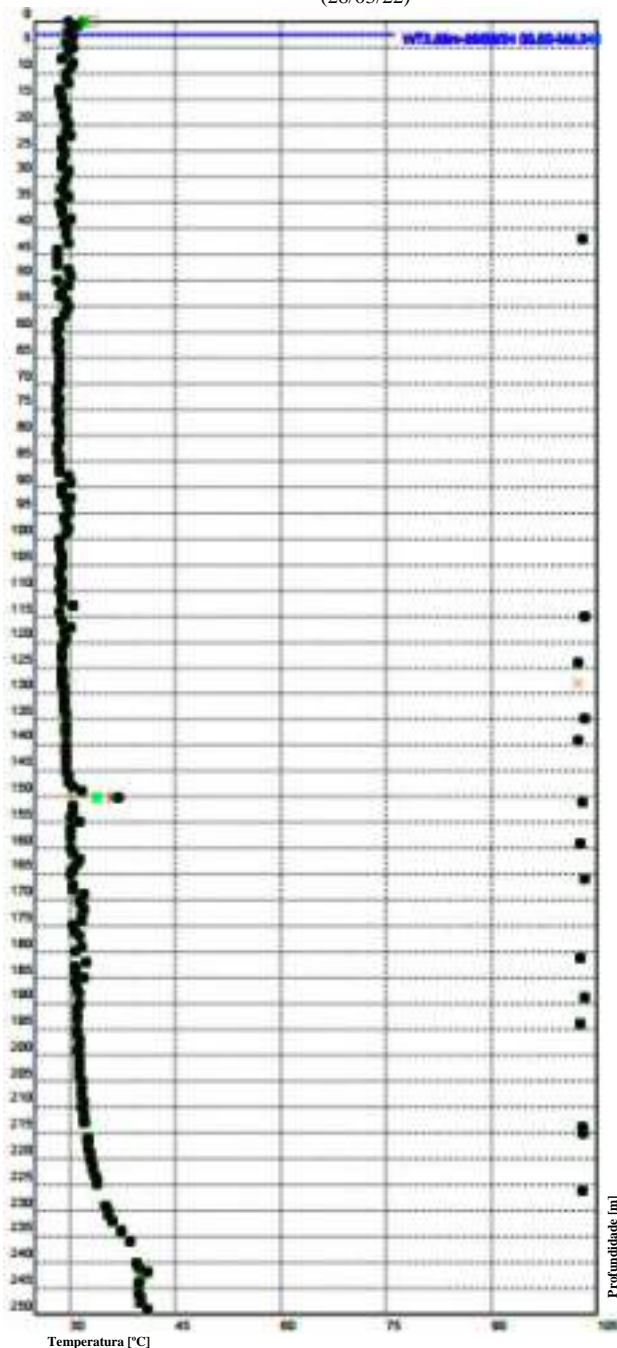
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0093

DMS BRK004-250-0421: Temperatura

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

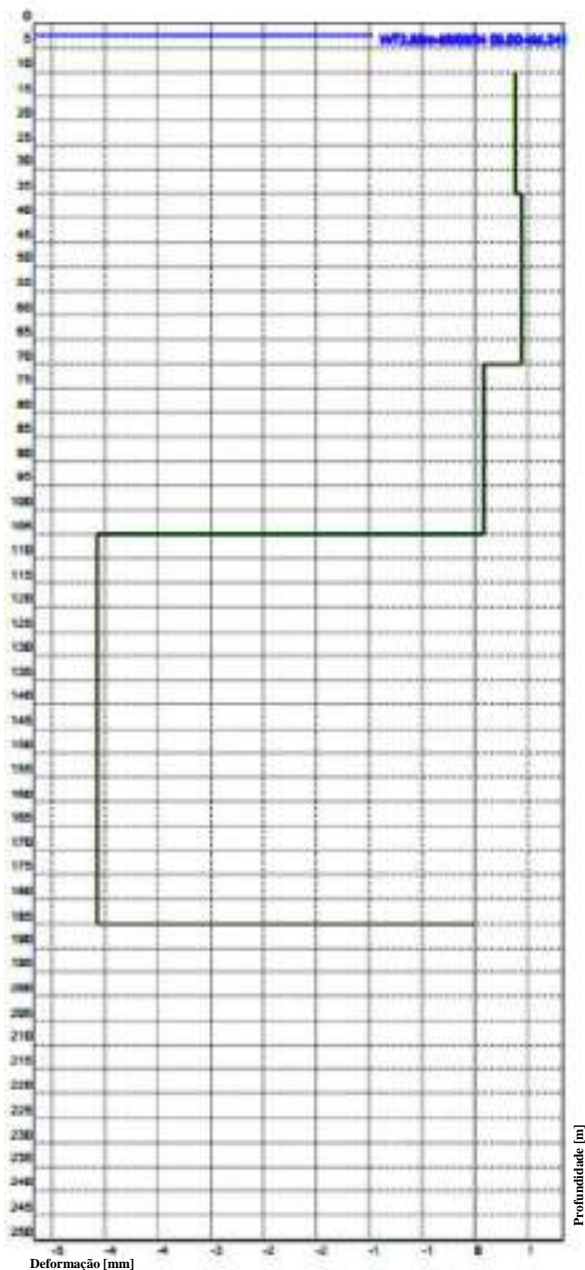
LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0094

DMS BRK004-250-0421: Deformações [mm]

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)



Legenda:

01 de abril de 2024 00:00 24 de março de 2024 00:00
17 de março de 2024 00:00 10 de março de 2024 00:00
03 de março de 2024 00:00



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0095

DMS BRK004-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC004

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 08/05/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
249.00	0	0.01	-0.10	-0.04	-2.05	2.09	251.00	41.10	-
248.00	1	-0.22	0.91	6.89	11.83	13.70	90.78	40.00	-
247.00	2	-0.43	-1.23	9.70	-10.86	13.92	304.71	40.00	-
246.00	3	0.47	1.07	5.00	9.21	10.48	61.50	39.90	-
244.00	5	1.81	-0.79	-28.93	3.44	29.14	173.22	39.90	-
243.00	7	0.32	1.58	-27.77	31.54	42.02	131.30	41.00	-
241.00	8	-0.51	-0.49	-21.00	21.15	29.84	134.88	39.70	-
240.00	9	0.29	0.58	-23.00	32.02	39.99	126.81	39.40	-
236.00	13	-0.02	0.67	-21.22	43.37	48.28	116.07	38.40	-
234.00	15	0.00	-0.15	-21.52	40.04	46.16	117.79	37.20	-
232.00	17	0.94	-0.81	-39.50	28.08	48.93	143.83	36.00	-
231.00	18	-1.10	1.07	-18.33	56.53	59.43	107.96	35.50	-
230.00	19	0.36	-2.25	-27.56	17.82	32.82	147.11	35.30	-
229.00	20	0.27	2.09	-30.19	63.83	61.72	119.28	35.00	-
226.00	23	-0.03	-0.29	-29.99	48.67	57.57	121.54	302.80	-
225.00	24	0.01	0.24	-29.94	52.83	60.72	119.54	33.90	-
224.00	25	-0.08	-0.07	-28.69	51.50	58.95	119.01	33.80	-
223.00	26	0.03	0.20	-28.98	55.13	62.28	117.73	33.60	-
222.00	27	-0.08	-0.18	-27.89	51.90	58.87	118.06	33.30	-
221.00	28	-0.01	0.16	-27.45	54.70	61.21	116.65	33.30	-
220.00	29	0.03	-0.15	-28.02	52.10	59.16	118.27	32.90	-
219.00	30	0.01	0.00	-28.27	53.17	60.22	118.06	33.00	-
218.00	31	-0.11	-0.11	-26.44	51.29	57.70	117.27	32.70	-
217.00	32	-0.01	-0.09	-26.27	50.24	56.09	117.00	32.60	-
216.00	33	-0.11	0.03	-24.34	50.05	56.38	115.58	32.50	-
215.00	34	0.10	0.01	-27.70	50.88	57.02	118.56	103.10	-
214.00	35	-0.07	0.04	-26.81	51.70	58.15	117.24	103.10	-
213.00	36	0.10	-0.15	-28.20	49.03	56.56	119.90	32.10	-
212.00	37	0.01	0.57	-28.78	58.93	65.58	116.03	32.10	-
211.00	38	-0.04	-1.41	-36.78	34.46	43.64	127.86	32.10	-
210.00	39	-0.03	1.00	-28.73	67.58	73.44	113.03	31.80	-
209.00	40	0.08	-2.45	-24.53	24.31	36.25	135.02	32.10	-
208.00	41	0.04	2.38	-30.05	60.11	72.62	114.44	31.70	-
207.00	42	0.05	-2.36	-25.05	24.07	36.74	137.18	31.80	-
206.00	43	-0.24	2.38	-29.89	66.62	73.02	114.17	31.70	-
205.00	44	0.55	-2.44	-33.23	23.01	40.42	145.30	31.70	-
204.00	45	-1.15	2.86	-22.78	75.76	79.11	106.74	31.50	-
203.00	46	0.89	-1.90	-32.33	40.43	51.76	128.66	31.40	-
202.00	47	-0.63	2.34	-27.13	82.33	86.69	108.23	31.40	-
201.00	48	0.35	-2.40	-23.79	40.19	46.70	120.63	31.50	-
200.00	49	-0.44	2.44	-26.87	83.32	87.55	107.87	31.20	-
199.00	50	0.55	-2.29	-29.81	42.26	51.25	124.47	31.10	-
198.00	51	-0.83	2.35	-36.14	85.57	89.48	106.90	31.20	-
197.00	52	0.91	-2.30	-31.85	42.86	53.40	126.62	31.40	-
196.00	53	-0.76	2.27	-30.51	84.54	89.91	109.91	31.10	-
195.00	54	0.38	-2.12	-26.62	47.15	54.14	119.45	31.10	-
194.00	55	-0.95	2.81	-34.19	98.80	101.72	103.76	102.80	-
193.00	56	0.87	-2.32	-27.40	55.72	62.10	116.19	31.10	-
192.00	57	-0.85	2.14	-34.18	95.81	98.81	104.17	31.00	-
191.00	58	0.72	-2.22	-24.72	55.14	60.43	114.15	31.10	-
190.00	59	-0.86	2.65	-22.79	102.84	106.53	102.90	31.20	-
189.00	60	0.45	-2.21	-19.90	64.58	67.59	107.17	103.30	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0096

DMS BRK004-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
188.00	81	1.14	1.28	-45.29	80.64	92.44	119.27	31.20	-
187.00	82	-2.40	0.05	-8.13	95.93	95.13	93.66	30.90	-
186.00	83	1.82	-1.30	-30.33	63.52	70.38	115.52	30.70	-
185.00	84	-1.13	1.67	-24.46	102.75	105.63	103.39	32.10	-
184.00	85	0.42	-1.38	-22.46	77.64	80.82	106.14	30.80	-
183.00	86	-0.10	0.44	-24.07	85.34	88.67	105.75	30.70	-
182.00	87	0.18	-0.28	-24.93	79.62	83.42	107.38	32.30	-
181.00	88	0.14	-0.06	-25.89	77.53	82.00	109.00	102.70	-
180.00	89	-0.11	-0.21	-23.33	75.15	78.69	107.24	30.70	-
179.00	90	-0.14	-0.00	-20.47	74.79	77.55	105.31	31.80	-
177.00	92	-0.21	-0.07	-16.62	75.42	77.23	102.42	31.40	-
176.00	93	-0.06	0.06	-16.17	70.87	78.56	101.88	30.60	-
175.00	94	0.02	0.03	-16.68	77.17	78.95	102.20	30.50	-
174.00	95	0.00	0.01	-17.71	76.86	78.88	102.98	31.70	-
173.00	96	0.03	0.12	-18.17	78.42	80.73	103.74	31.60	-
172.00	97	0.02	0.04	-19.83	78.81	81.27	104.13	31.90	-
171.00	98	-0.05	0.05	-19.67	70.05	82.35	103.76	31.60	-
170.00	99	-0.07	0.07	-18.06	81.05	83.84	103.14	31.30	-
169.00	90	-0.08	-0.02	-17.79	82.11	84.00	102.17	32.10	-
168.00	81	0.04	-0.21	-16.26	78.06	80.32	101.68	30.30	-
167.00	82	-0.02	-0.23	-13.79	75.41	76.65	100.34	30.30	-
166.00	83	0.01	-0.02	-13.62	74.89	76.10	100.23	103.20	-
165.00	84	0.05	-0.02	-14.13	74.01	75.35	100.81	30.20	-
164.00	85	0.14	-0.01	-16.94	72.39	74.15	102.90	30.30	-
163.00	86	0.07	-0.02	-16.82	71.28	73.24	103.28	31.00	-
162.00	87	-0.07	0.01	-16.05	72.17	73.93	102.94	31.40	-
161.00	88	-0.05	0.01	-15.54	72.81	74.45	102.05	30.30	-
160.00	89	0.04	-0.16	-14.10	70.37	71.77	101.33	30.10	-
159.00	90	0.01	-0.19	-11.97	67.88	68.93	100.00	102.60	-
158.00	91	0.11	-0.11	-12.04	65.18	66.28	100.47	30.00	-
157.00	92	0.08	-0.11	-11.68	62.78	63.85	100.54	30.10	-
156.00	93	-0.14	0.02	-10.36	64.77	65.59	98.00	30.10	-
155.00	94	-0.10	0.03	-8.63	60.36	67.06	98.26	31.30	-
154.00	95	-0.05	-0.06	-8.07	66.11	66.60	96.96	30.20	-
153.00	96	0.02	-0.05	-7.65	65.29	65.74	96.69	30.30	-
152.00	97	-0.01	-0.12	-5.85	63.94	64.21	95.23	30.40	-
151.00	98	0.05	-0.02	-6.17	63.00	63.30	95.60	103.80	-
150.00	99	-0.01	-0.01	-6.02	63.05	63.35	95.45	37.10	-
149.00	100	0.01	-0.06	-5.24	62.36	62.58	94.80	31.70	-
148.00	101	0.08	-0.02	-5.73	61.01	61.27	95.37	30.50	-
147.00	102	-0.07	-0.03	-4.98	61.77	61.94	94.24	20.90	-
146.00	103	-0.09	-0.06	-2.79	62.51	62.67	92.55	29.70	-
145.00	104	0.13	0.13	-5.85	61.64	61.92	95.43	29.60	-
144.00	105	-0.03	0.34	-10.74	64.90	65.78	99.40	29.60	-
143.00	106	-0.25	-0.06	-7.86	68.30	68.75	96.57	29.50	-
142.00	107	0.27	0.15	-12.26	65.22	65.30	100.65	29.40	-
141.00	108	0.08	0.11	-14.51	64.73	65.34	102.63	29.40	-
140.00	109	0.01	-0.01	-14.30	64.54	65.10	102.50	29.40	-
139.00	110	0.01	-0.07	-13.24	63.88	65.23	101.71	102.20	-
138.00	111	-0.03	0.01	-13.21	64.41	65.75	101.59	29.40	-
137.00	112	-0.06	-0.05	-12.09	64.95	66.11	100.54	29.40	-
136.00	113	-0.02	-0.11	-10.17	64.59	65.38	98.95	29.40	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0097

DMS BRK004-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM
Site: INC004
Projeto: Maceió
Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl
Data de instalação: 08/05/2021
Data de calibração: 05/07/2021 12:30
Observações: Direção revisada P+ 12°N (28/03/22)

PROFUNDIDADE (m bgl)	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE (mm)	DESLOCAMENTO AO LESTE (mm)	MÓDULO (mm)	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO (mm)
135.00	114	0.02	-0.00	-8.70	63.79	64.39	97.62	103.20	+
134.00	115	-0.01	-0.01	-8.55	63.95	64.52	97.62	29.40	+
133.00	116	-0.00	-0.10	-8.70	64.64	64.66	95.92	29.20	+
132.00	117	0.02	-0.12	-4.72	63.87	64.04	94.22	29.20	+
131.00	118	0.08	-0.05	-4.05	62.30	62.43	93.72	29.10	+
130.00	119	0.00	-0.06	-2.90	62.15	62.22	92.72	29.20	+
129.00	120	-0.06	-0.09	-1.30	63.03	63.06	91.18	29.10	+
128.00	121	0.00	-0.14	1.16	62.71	62.72	88.94	29.00	+
127.00	122	0.00	-0.07	2.23	61.63	61.67	87.93	29.00	+
126.00	123	0.00	-0.04	2.88	60.47	60.54	87.27	29.00	+
125.00	124	0.00	-0.05	3.71	58.86	58.98	86.40	29.00	+
124.00	125	0.00	-0.04	4.34	57.47	57.63	85.68	102.30	+
123.00	126	0.01	0.01	4.20	57.38	57.54	85.81	28.90	+
122.00	127	0.01	-0.03	4.73	56.56	56.75	85.22	28.90	+
121.00	128	0.07	-0.01	5.01	55.33	55.55	84.83	28.90	+
120.00	129	-0.02	-0.08	5.46	55.73	56.11	83.39	29.30	+
119.00	130	0.04	-0.06	7.48	55.03	55.53	82.25	29.50	+
118.00	131	0.03	-0.04	8.19	54.66	55.27	81.48	29.30	-4.28
117.00	132	0.02	-0.02	8.53	54.26	54.93	81.07	30.10	+
116.00	133	0.12	0.07	7.56	52.68	52.82	81.74	28.80	+
115.00	134	0.01	-0.02	7.87	51.88	52.47	81.37	103.20	+
114.00	135	0.01	-0.00	8.88	51.75	52.51	80.27	28.60	+
113.00	136	0.00	-0.13	11.14	50.60	52.10	77.65	30.30	+
112.00	137	0.10	-0.10	13.12	49.65	51.28	75.17	28.80	+
111.00	138	0.02	-0.01	13.27	49.27	51.03	74.92	28.80	+
110.00	139	-0.13	0.01	12.60	51.48	53.01	76.19	28.60	+
109.00	140	-0.08	-0.02	12.70	52.87	54.38	76.40	28.70	+
108.00	141	0.14	-0.08	14.66	50.92	52.90	73.94	28.70	+
107.00	142	0.29	-0.15	18.40	46.75	50.27	68.43	28.60	+
106.00	143	0.22	-0.12	21.59	43.59	48.64	63.60	28.60	+
105.00	144	-0.04	0.05	20.54	44.04	48.80	65.00	28.80	+
104.00	145	-0.09	0.08	18.75	45.02	48.77	67.39	28.70	+
103.00	146	-0.04	-0.19	21.57	46.80	51.63	65.30	28.80	+
102.00	147	0.05	0.01	21.79	46.11	50.96	64.70	28.60	+
101.00	148	0.01	0.17	19.16	44.60	48.54	66.75	28.60	+
100.00	149	-0.02	-0.01	19.19	44.94	48.87	66.88	28.60	+
99.00	150	0.10	-0.08	21.18	43.91	48.75	64.25	29.50	+
98.00	151	0.23	-0.23	26.55	42.03	49.71	57.72	29.60	+
97.00	152	0.19	-0.22	31.54	40.72	51.50	52.24	29.40	+
96.00	153	0.10	0.00	32.50	39.20	50.92	50.34	29.30	+
95.00	154	0.00	0.06	31.57	38.66	49.92	50.76	29.90	+
94.00	155	-0.00	0.05	30.29	39.19	49.54	52.30	29.70	+
93.00	156	-0.02	0.06	29.26	39.10	48.84	53.19	29.40	+
92.00	157	0.01	0.05	28.63	38.50	47.98	53.30	30.20	+
91.00	158	0.02	-0.06	29.75	38.71	48.82	52.46	28.70	+
90.00	159	0.00	-0.10	31.81	38.85	50.21	50.69	28.80	+
89.00	160	0.00	-0.07	33.41	38.70	51.13	49.20	30.10	-4.17
88.00	161	0.04	0.01	33.65	38.02	50.77	48.49	29.70	+
87.00	162	0.13	0.04	34.47	36.89	49.76	46.16	28.50	+
86.00	163	0.04	-0.04	35.44	35.70	50.31	45.21	28.40	+
85.00	164	-0.04	-0.12	36.65	37.62	52.45	45.67	28.60	+
84.00	165	0.03	-0.09	38.13	38.22	53.98	45.07	28.40	+



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0098

DMS BRK004-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC004

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 08/05/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
83.00	166	0.17	-0.04	40.58	36.41	54.51	41.90	28.30	-
82.00	167	0.21	-0.07	43.95	34.54	55.90	38.16	28.30	-
81.00	168	0.04	-0.10	45.68	35.09	57.60	37.53	28.40	-
80.00	169	-0.01	-0.07	46.46	36.10	58.83	37.85	28.40	-
79.00	170	-0.06	0.02	45.36	36.60	58.26	38.87	28.60	-
78.00	171	-0.11	0.26	40.73	34.79	53.57	40.50	28.40	-
77.00	172	0.03	0.26	37.97	31.48	49.31	39.04	28.30	-
76.00	173	0.13	0.15	38.54	27.36	47.27	36.36	28.60	-
75.00	174	0.27	0.05	41.33	23.48	47.54	29.00	28.30	-
74.00	175	0.09	0.02	42.33	22.23	47.81	27.71	28.30	-
73.00	176	-0.02	-0.04	42.52	23.00	48.38	28.41	28.40	-
72.00	177	-0.04	-0.17	43.90	25.77	50.91	30.41	28.30	-
71.00	178	0.14	-0.14	47.26	26.19	54.03	29.00	28.30	-
70.00	179	0.08	0.05	47.99	24.61	53.93	27.15	28.50	-
69.00	180	-0.04	0.10	40.49	23.51	52.10	26.82	28.40	-
68.00	181	0.04	0.10	46.18	21.73	51.03	25.10	28.40	-
67.00	182	0.08	0.11	46.00	19.27	50.42	22.47	28.40	-
66.00	183	0.03	-0.08	47.88	20.19	51.97	22.86	28.50	-
65.00	184	-0.07	-0.17	48.45	23.37	53.79	25.75	28.40	-
64.00	185	0.03	-0.10	49.70	24.54	55.43	26.28	28.40	-
63.00	186	0.14	0.06	51.18	22.36	55.85	23.60	28.30	-
62.00	187	0.04	0.08	51.04	20.77	55.10	22.15	28.50	-
61.00	188	0.05	0.04	51.43	19.64	55.12	21.10	28.20	-
60.00	189	0.14	0.20	53.55	18.82	56.78	19.36	28.20	-
59.00	190	0.07	-0.01	54.66	18.47	57.70	18.67	28.50	-
58.00	191	0.06	0.12	54.60	16.17	57.00	16.48	28.30	-
57.00	192	-0.03	0.05	53.82	15.67	56.02	16.14	28.30	-
56.00	193	0.03	0.00	54.28	15.25	56.38	15.09	29.40	-
55.00	194	-0.02	-0.07	54.57	16.55	57.03	16.87	29.60	-
54.00	195	-0.04	-0.13	54.86	18.85	58.01	18.97	29.00	-
53.00	196	0.05	-0.10	56.39	20.00	59.83	19.52	28.60	-
52.00	197	0.13	-0.01	68.28	16.21	61.38	18.24	28.80	-
51.00	198	0.13	0.08	59.70	17.02	62.08	15.91	29.50	-
50.00	199	0.13	0.08	61.35	14.88	63.12	13.64	28.20	-
49.00	200	0.05	0.04	61.92	13.91	63.46	12.66	30.00	-3.84
48.00	201	0.03	-0.03	62.51	14.27	64.12	12.86	29.90	-
47.00	202	0.03	0.00	62.97	14.04	64.52	12.57	28.10	-
46.00	203	0.06	0.02	63.93	13.42	65.32	11.85	28.30	-
45.00	204	0.03	-0.01	64.46	13.49	65.86	11.82	28.20	-
44.00	205	0.03	-0.01	65.08	13.53	66.47	11.74	28.10	-
43.00	206	0.08	0.02	66.30	12.74	67.51	10.88	29.70	-
42.00	207	0.10	0.03	67.95	11.80	68.97	9.85	182.80	-
41.00	208	0.03	0.02	68.37	11.34	69.30	9.42	29.50	-
40.00	209	0.04	0.02	68.97	10.84	69.82	8.93	29.40	-
39.00	210	0.01	0.00	69.07	10.81	69.91	8.90	29.30	-
38.00	211	0.08	0.06	70.20	9.54	70.84	7.74	30.00	-
37.00	212	0.08	0.02	71.53	8.98	72.06	7.16	29.00	-
36.00	213	0.02	-0.03	71.90	8.45	72.52	7.48	28.70	-
35.00	214	0.09	0.00	73.47	5.18	74.04	7.12	28.50	-
34.00	215	0.13	0.04	75.58	8.19	76.02	6.18	29.80	-
33.00	216	0.06	0.05	76.38	6.46	76.65	4.83	29.30	-
32.00	217	0.00	0.04	76.32	5.78	76.54	4.33	28.70	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 0099

DMS BRK004-250-0421: Tabela de dados - Cumulativos

Relatório n.º 4 - 01/04/2024 00:00

Contratada: BRASKEM

Site: INC004

Projeto: Maceió

Intervalo de monitoramento: 0-250 m bgl

Data de instalação: 08/05/2021

Data de calibração: 05/07/2021 12:30

Observações: Direção revisada P+ 12°N
(28/03/22)

PROFUNDIDADE [m bgl]	ID DO MÓDULO	INCLINAÇÃO [°]	ROTAÇÃO [°]	DESLOCAMENTO AO NORTE [mm]	DESLOCAMENTO AO LESTE [mm]	MÓDULO [mm]	AZIMUTE [°]	TEMPERATURA [°C]	DEFORMAÇÃO [mm]
31.00	218	0.05	0.00	77.19	5.63	77.39	4.17	29.30	-
30.00	219	0.05	-0.01	78.81	5.70	79.01	4.14	29.50	-
29.00	220	0.06	0.03	79.81	5.13	79.98	3.68	29.70	-
28.00	221	0.01	0.09	79.85	3.53	79.93	2.53	29.00	-
27.00	222	0.01	0.02	79.95	3.13	80.02	2.24	29.00	-
26.00	223	0.05	0.00	80.88	2.94	80.94	2.08	29.30	-
25.00	224	-0.02	0.04	80.50	2.23	80.53	1.58	29.30	-
24.00	225	0.04	0.08	81.17	0.84	81.17	0.59	28.90	-
23.00	226	0.09	0.13	82.46	-1.52	82.48	358.95	28.90	-
22.00	227	0.08	0.10	83.69	-3.30	83.76	357.74	30.00	-
21.00	228	0.02	-0.05	84.05	-2.42	84.10	358.35	29.40	-
20.00	229	0.09	-0.03	85.55	-1.89	85.67	358.74	29.90	-
19.00	230	-0.07	0.04	84.52	-2.55	84.56	358.27	29.50	-3.17
18.00	231	0.10	0.01	85.18	-2.70	85.22	358.21	29.20	-
17.00	232	0.04	0.05	85.88	-3.57	85.95	357.65	29.50	-
16.00	233	0.04	0.02	87.50	-3.93	87.59	357.43	29.00	-
15.00	234	0.04	0.01	88.20	-4.08	88.29	357.35	29.00	-
14.00	235	0.09	0.00	89.58	-4.05	89.77	357.41	28.60	-
13.00	236	0.13	0.04	91.95	-4.53	92.07	357.12	28.40	-
12.00	237	0.07	0.12	93.30	-5.89	93.54	355.90	29.80	-
11.00	238	0.00	0.04	93.39	-7.44	93.68	355.45	29.40	-
10.00	239	0.09	-0.02	94.56	-6.54	95.11	355.82	29.60	-
9.00	240	0.10	-0.08	95.50	-5.34	96.65	355.83	30.10	-
8.00	241	0.15	-0.12	98.80	-2.91	98.85	358.32	30.30	-
7.00	242	0.15	-0.03	101.32	-2.19	101.35	358.76	28.80	-
6.00	243	0.15	0.08	104.02	-3.32	104.07	358.17	29.70	-
5.00	244	0.08	0.07	105.54	-4.29	105.63	357.67	30.50	-
4.00	245	0.01	0.03	105.83	-4.83	105.94	357.39	29.60	-
3.00	246	-0.05	0.05	105.13	-5.95	105.30	355.75	30.50	-
2.00	247	-0.02	0.11	105.12	-7.88	105.41	355.71	29.70	-
1.00	248	-0.02	0.15	105.34	-10.56	105.87	354.28	30.60	-
0.00	249	-0.04	0.02	104.79	-10.95	105.35	354.03	29.90	-



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP : 55.292-21.0

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 – (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 00100

B. Dados de Eventos Classe A

Símbolo (ID)	Período	Latitude	Longitude	Magnitude (M)	Profundidade (km)	Erro de profundidade (km)	Elipse de Eixo Maior (km)	Ázimute do Eixo Maior da Elipse (°)	Elipse de Eixo Menor (km)	Ázimute do Eixo Menor da Elipse (°)
20140000-0	1/1/24 4:49 AM	-40.84891128	-37.18899631	-1.47	3.80	0.08	0.344	83.26118033	0.007	83.1363
20140000-1	1/1/24 4:55 AM	-40.84891128	-37.18899631	-1.48	3.82	0.08	0.348	79.86348228	0.007	83.1363
20140000-2	1/1/24 4:58 AM	-40.84891128	-37.18899631	-1.49	3.84	0.08	0.352	79.08248728	0.007	83.1363
20140000-3	1/1/24 5:01 AM	-40.84891127	-37.18951188	-1.50	3.86	0.08	0.356	78.30149228	0.007	83.1363
20140000-4	1/1/24 5:04 PM	-40.84891128	-37.18951188	-1.50	3.83	0.08	0.359	79.08449728	0.006	128.976
20140000-5	1/1/24 5:09 AM	-40.848908	-37.18953302	-0.46	1.38	0.07	0.131	87.083337	0.009	154.556
20140000-12	1/1/24 5:58 PM	-40.85023438	-37.18889425	-0.68	0.60	0.08	0.069	29.83111489	0.007	130.008
20140000-40	1/1/24 5:48 PM	-40.84955171	-37.18444461	-2.1	0.65	0.08	0.054	86.90313330	0.002	125.079
20140001-1	1/1/24 5:45 AM	-40.84132688	-37.18815244	-1.73	1.40	0.07	0.180	79.8899173	0.004	138.188
20140004-91	4/1/24 4:58 PM	-40.84540061	-37.18615585	-1.95	0.8	0.03	0.100	242.6767904	0.006	134.053
20140004-91	4/1/24 5:1 PM	-40.84132688	-37.18970995	-0.65	0.71	0.06	0.085	85.8710996	0.005	135.054
20140005-48	5/1/24 5:51 PM	-40.84996528	-37.18440326	-1.72	0.8	0.04	0.085	74.29534672	0.006	144.245
20140005-81	5/1/24 5:51 PM	-40.84996528	-37.18929528	-1.68	0.85	0.02	0.080	71.2251358	0.007	140.20
20140006-40	6/1/24 5:38 AM	-40.84913325	-37.18694975	-2.7	0.60	0.05	0.036	245.8635538	0.005	127.056
20140008-6	7/1/24 12:40 PM	-40.85232452	-37.18620388	-1.17	0.52	0.03	0.040	70.767541	0.007	135.448
20140008-9	7/1/24 12:50 PM	-40.85116888	-37.18814848	-0.59	0.62	0.03	0.056	81.83368446	0.006	140.175
20140008-118	8/1/24 4:55 PM	-40.84978214	-37.18611622	-0.36	0.76	0.06	0.034	44.20509977	0.006	138.392
20140009-128	9/1/24 6:52 PM	-40.83896288	-37.18217183	-0.43	1.84	0.08	0.079	81.50988638	0.009	139.02
20140009-61	9/1/24 6:23 PM	-40.84498664	-37.18869485	-0.34	2.1	0.15	0.140	71.4966216	0.004	138.173
20140101-1	9/1/24 6:18 PM	-40.83008438	-37.18735081	-0.62	1.03	0.09	0.082	8.128364698	0.005	151.938
20140101-49	11/1/24 4:54 AM	-40.84178528	-37.18893828	-0.38	0.62	0.05	0.061	265.8417888	0.008	148.002
20140101-49	11/1/24 5:58 AM	-40.84521672	-37.15117234	-0.38	0.68	0.06	0.117	265.8788855	0.002	141.938
20140101-41	11/1/24 4:58 AM	-40.84070379	-37.15092725	-1.31	0.8	0.06	0.085	81.2381572	0.009	152.179
20140101-64	11/1/24 11:24 PM	-40.83785482	-37.15818271	-1.35	1.48	0.11	0.130	260.877208	0.007	128.858
20140101-66	11/1/24 11:29 PM	-40.84993764	-37.15873328	-1.32	0.88	0.09	0.085	81.3782882	0.001	128.858
20140101-65	11/1/24 11:36 AM	-40.84528188	-37.16111844	-0.49	0.68	0.05	0.076	81.83899888	0.002	128.748
20140101-85	12/1/24 11:48 AM	-40.83084961	-37.14932825	-1.39	0.86	0.06	0.059	88.26415282	0.008	146.139
20140101-89	12/1/24 11:54 PM	-40.84617159	-37.15727918	-1.72	0.93	0.07	0.181	87.36664418	0.001	145.261
20140101-95	12/1/24 11:59 PM	-40.84890388	-37.14549262	-2.09	0.95	0.05	0.045	84.5599111	0.001	134.383
20140101-94	12/1/24 11:58 AM	-40.84873487	-37.18893812	-2.89	0.88	0.08	0.087	88.4841888	0.008	143.289
20140101-94	12/1/24 4:30 PM	-40.84574662	-37.15230489	-1.5	0.71	0.09	0.057	244.8886558	0.001	127.796
20140101-96	12/1/24 11:37 PM	-40.84128835	-37.15348889	-1.62	0.8	0.06	0.084	246.1888848	0.008	138.885
20140101-94	12/1/24 11:38 AM	-40.84575252	-37.15829242	-1.72	1.88	0.08	0.061	71.1266925	0.008	134.283
20140101-91	10/1/24 11:39 AM	-40.8418231	-37.15891411	-0.42	0.78	0.05	0.086	89.03868118	0.008	147.828
Símbolo (ID)	Período	Latitude	Longitude	Magnitude (M)	Profundidade (km)	Erro de profundidade (km)	Elipse de Eixo Maior (km)	Ázimute do Eixo Maior da Elipse (°)	Elipse de Eixo Menor (km)	Ázimute do Eixo Menor da Elipse (°)
20140108-6	18/1/24 6:44 AM	-40.83781838	-37.15880828	-0.48	0.79	0.05	0.081	78.90878882	0.008	145.718
20140108-18	18/1/24 6:25 AM	-40.83817802	-37.14469739	-2.18	0.88	0.08	0.121	86.9887228	0.047	127.07
20140108-19	18/1/24 6:32 PM	-40.84088825	-37.14898581	-0.79	0.64	0.08	0.058	256.7806538	0.009	159.891
20140108-2	17/1/24 5:38 PM	-40.84885249	-37.14888131	-0.63	0.81	0.08	0.059	35.52015177	0.006	159.156
20140108-2	17/1/24 5:31 PM	-40.83888359	-37.14869379	-1.47	1.32	0.1	0.118	78.74548088	0.002	135.515
20140108-7	18/1/24 1:09 AM	-40.84862337	-37.14646481	-1.48	0.91	0.04	0.131	261.3817489	0.002	154.388
20140108-8	18/1/24 4:45 AM	-40.84880712	-37.14568395	-1.19	0.71	0.04	0.054	244.2596238	0.008	158.373
20140108-10	18/1/24 6:17 AM	-40.84741208	-37.15881178	-2	0.86	0.04	0.069	78.08713871	0.006	145.017
20140108-14	18/1/24 6:13 PM	-40.84819755	-37.14688328	-2.13	0.86	0.06	0.084	88.14946578	0.009	133.063
20140108-118	21/1/24 6:18 PM	-40.84880388	-37.15771888	-1.18	0.81	0.04	0.089	87.83898888	0.008	148.058
20140108-12-18	22/1/24 2:42 AM	-40.8458602	-37.15881276	-0.67	0.84	0.04	0.071	87.2863838	0.006	148.648
20140108-15	21/1/24 5:19 AM	-40.84779837	-37.14894017	-0.7	0.89	0.03	0.054	245.7517327	0.009	151.611
20140108-18	21/1/24 2:41 AM	-40.84888288	-37.15871881	-0.69	0.87	0.04	0.078	242.7812882	0.008	155.387
20140108-24	23/1/24 12:46 PM	-40.84880388	-37.14871303	-2.08	0.48	0.03	0.128	244.2388144	0.001	138.514
20140108-1178	23/1/24 6:12 PM	-40.84959965	-37.14511821	-2.18	0.79	0.05	0.058	87.7084782	0.004	140.968
20140108-118	23/1/24 6:18 PM	-40.84634755	-37.14641411	-2	0.73	0.03	0.062	84.88217913	0.005	136.526
20140108-15	24/1/24 4:38 AM	-40.84813878	-37.14712055	-2.13	0.74	0.04	0.058	212.1853112	0.005	147.081
20140108-127	24/1/24 6:42 PM	-40.84759754	-37.14517104	-1.58	0.69	0.03	0.124	245.2844888	0.005	135.71
20140108-15	24/1/24 8:12 PM	-40.84880042	-37.14569485	-1.28	0.52	0.04	0.045	87.8308214	0.002	144.146
20140108-17	24/1/24 5:38 PM	-40.84888899	-37.14588373	-0.65	0.71	0.04	0.076	235.2864489	0.002	139.173
20140108-17-9	27/1/24 12:05 AM	-40.84862216	-37.1458888	-0.68	0.73	0.04	0.103	57.12686617	0.001	141.471
20140108-17-9	27/1/24 4:21 AM	-40.84880842	-37.147988	-0.59	0.85	0.04	0.083	25.83368882	0.004	155.728
20140108-17-42	27/1/24 5:11 PM	-40.84182718	-37.14888888	-1.48	0.73	0.03	0.072	268.4122812	0.008	139.588
20140108-146	27/1/24 7:41 PM	-40.84094618	-37.14891131	-0.58	0.88	0.04	0.079	219.6388848	0.007	165.877
20140108-18	28/1/24 2:05 PM	-40.84815879	-37.14717123	-1.89	0.85	0.04	0.102	87.86709888	0.009	151.888
20140108-19	28/1/24 8:09 AM	-40.84888818	-37.14888811	-0.77	0.89	0.13	0.134	289.6518888	0.002	161.312
20140108-19-15	28/1/24 12:17 PM	-40.84888871	-37.14888888	-1.68	0.88	0.04	0.108	242.420944	0.006	158.948
20140108-19-78	28/1/24 1:08 PM	-40.84888817	-37.14888888	-2.18	0.89	0.03	0.058	89.5888817	0.001	158.889
20140108-141	30/1/24 11:21 AM	-40.84988872	-37.14448885	-0.9	0.45	0.05	0.067	61.4633388	0.008	131.111
20140108-15	30/1/24 11:52 PM	-40.84818884	-37.15288178	-1.18	0.93	0.06	0.078	13.88412684	0.048	138.38
20140108-128	30/1/24 6:34 PM	-40.84712849	-37.14641185	-2.44	0.47	0.05	0.062	136.3445828	0.004	135.818
20140108-129	30/1/24 14:45 PM	-40.84713819	-37.14448872	-2.75	0.71	0.04	0.054	34.8443215	0.005	145.87
20140108-130	30/1/24 8:48 AM	-40.84888884	-37.14888884	-0.7	0.48	0.05	0.101	80.8388811	0.002	138.888



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL
ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA

TRADUTOR PÚBLICO E INTÉRPRETE COMERCIAL - *CERTIFIED PUBLIC TRANSLATOR*

Idioma/Language: Inglês - Português/English - Portuguese

Matricula Jucepe nº 406 • CPF 756.770.758-68

Rua Princesa Isabel nº 206 - Aloisio Pinto - Garanhuns (PE) CEP: 55.292-210

Telefone/Phone/Whatsapp +55 11 9 8784 1006 - (87) 92000-9314 - e-mail: dari.zhbanova@gmail.com (skype: antonio.dari)

TRADUÇÃO Nº Pr-21.361

LIVRO Nº 65

PÁGINA Nº 00101

NADA MAIS constava do referido original, que devolvo ao interessado com esta tradução fiel que conferi, achei conforme e assino, na data abaixo. DOU FÉ. Em 16 de abril de 2024.

Emolumentos de acordo com a lei.



Este documento foi assinado digitalmente por ANTONIO DARI ANTUNES ZHBANOVA.

Para verificar as assinaturas acesse <https://www.qrassinaturas.com.br/>

e informe o código Y2R3-ZD35-M4D2-TSDZ





ID: 5891498

Documento assinado eletronicamente por KAROLLYNE KAREN SANTOS LIRA Mat. 958573-7 em 07/05/2024 às 16:59:04.



PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

AÇÕES DA DEFESA CIVIL FRENTE AO COLAPSO DA CAVIDADE 18

Dezembro, 2023

Maceió - AL



Página 940





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

PREFEITURA DE MACEIÓ

Prefeito de Maceió

João Henrique Holanda Caldas

Secretário Municipal de Governo

José Júnior de Melo

COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Coordenador Municipal de Proteção e Defesa Civil

Abelardo Pedro Nobre Júnior

Coordenadora do Centro Integrado de Monitoramento e Alerta de Defesa Civil

Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima

Equipe Técnica CIMADEC

Eduardo Barcelos Bontempo Filho - Geólogo

Guilherme Henrique da Silva Santos - Engenheiro

CivilHugo Carvalho de Almeida - Meteorologista

Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima - Engenheira Agrimensora

Agentes de Monitoramento CIMADEC

Antônio Rodrigues de Oliveira

Arryson Cardoso da Silva

Fernandja da Silva Campos

Flavia Djulyana Cavalcante

Ramon Alves de Santana

Estagiários de Monitoramento CIMADEC

Kelly Kaline Augustinho dos Santos





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

1 APRESENTAÇÃO

A Defesa Civil de Maceió procede com o monitoramento de toda região abrangida pelo Mapa de Linha de Ações Prioritárias v.5 ininterruptamente, vinte e quatro horas por dia, aos sete dias da semana, trezentos e sessenta e cinco dias do ano.

Ressalta-se que, a rede de monitoramento conta com uma gama de equipamentos que viabilizam dados sobre a movimentação do solo, e vem sendo reforçada ao longo do tempo, se estendendo até regiões nas adjacências do Mapa de Linha de Ações Prioritárias, auxiliando na avaliação e entendimento quanto a possibilidade de evolução do problema.

Nesse sentido, o referido documento apresenta um resumo das atividades de monitoramento e ações executadas/recomendadas, durante o período do pós colapso da cavidade 18, no dia 10 de dezembro de 2023.





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS EVENTOS SÍSMICOS

As atividades de sismologia foram conduzidas utilizando a Plataforma Athena, que permitiu a análise detalhada da localização, magnitude, profundidade e frequência dos eventos registrados. A plataforma incorpora sismógrafos da Rede Braskem e da Rede DCM. A Rede Braskem possui 4 equipamentos em superfície e 6 em profundidade, enquanto a Rede DCM conta com 14 equipamentos em superfície e 12 em profundidade.

No que se refere ao monitoramento da sismologia, é importante ressaltar que desde o dia 10/12/2023 até o momento, não foram registrados eventos microssísmicos revisados manualmente de magnitude positiva acima de 1 ML, contudo, alguns eventos até 0,56 ML, foram registrados (Figura 1). A taxa horária de eventos tem se mantido em nível de normalidade, desde 10.12.2023 às 14.14h, quando foi registrada a última indicação do limiar de observação.

Figura 1 – Disposição dos eventos microssísmicos.





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

Tabela 1 – Características do eventos microssísmicos.

	Time ⬆ (-03)	Position	Depth	Mag. ▼	
	2023-12-10 13:37:55.966	9.6327°S, 35.7444°W 0.3 km from Jardim Alagoas, Alagoas, Brazil	0.45 km	0.56 ML	
	2023-12-10 12:55:20.569	9.6264°S, 35.7662°W 1.0 km from Flechal de Baixo, Alagoas, Brazil	-0.01 km	0.53 ML	
	2023-12-10 10:06:43.499	9.6260°S, 35.7520°W 0.0 km from Vila Santo Amaro, Alagoas, Brazil	0.31 km	0.48 ML	
	2023-12-10 10:28:12.081	9.6337°S, 35.7421°W 0.5 km from Jardim Alagoas, Alagoas, Brazil	-0.10 km	0.43 ML	
	2023-12-23 06:08:15.172	9.6174°S, 35.7491°W 0.4 km from Da Chã de Bebedouro, Alagoas, Brazil	0.04 km	0.20 ML	
	2023-12-10 12:44:52.463	9.6407°S, 35.7590°W 1.1 km from Virgem dos Pobres, Alagoas, Brazil	0.51 km	0.16 ML	

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS EQUIPAMENTOS DGs

Como já era esperado, após o colapso da cavidade 18, perdemos a comunicação com o DG Mina 20, equipamento responsável pela emissão de dados de movimentação do solo na região da cavidade em questão. Entretanto, no dia 11.12.2023 um novo sensor DGNSS foi instalado, por volta das 17.20h. Passadas as 24 horas após a instalação, os dados do novo instrumento, cadastrado com o nome de “RB01”, já estavam sendo disponibilizados de forma online. Estimava-se que era necessário um intervalo de tempo em torno de 10 dias para que a medição fosse considerada confiável. Transcorrido o intervalo de 10 dias após a instalação do novo sensor (“RB01”), os dados pós processados de 1h apresentam:

- Deslocamento vertical acumulado de 37,5 cm do dia 13/12/2023 às 00h até 28/12/2023 às 11:50h;
- Deslocamento vertical de 0,3 cm nas últimas 24 horas, com uma velocidade média para o período de 0,01 cm/h;

Com relação aos demais sensores DGNSS localizados próximos à área da ocorrência (“Mina01”, “Mina04”, “Mina07” e “Mina35”), seus dados apresentam pequenas variações, principalmente na direção Norte-Sul, mas que a tendência de estabilização precisa ser confirmada.

Com o objetivo de obter mais informações sobre o deslocamento nas proximidades da área afetada, um novo sensor DGNSS (“RB02”) foi instalado em



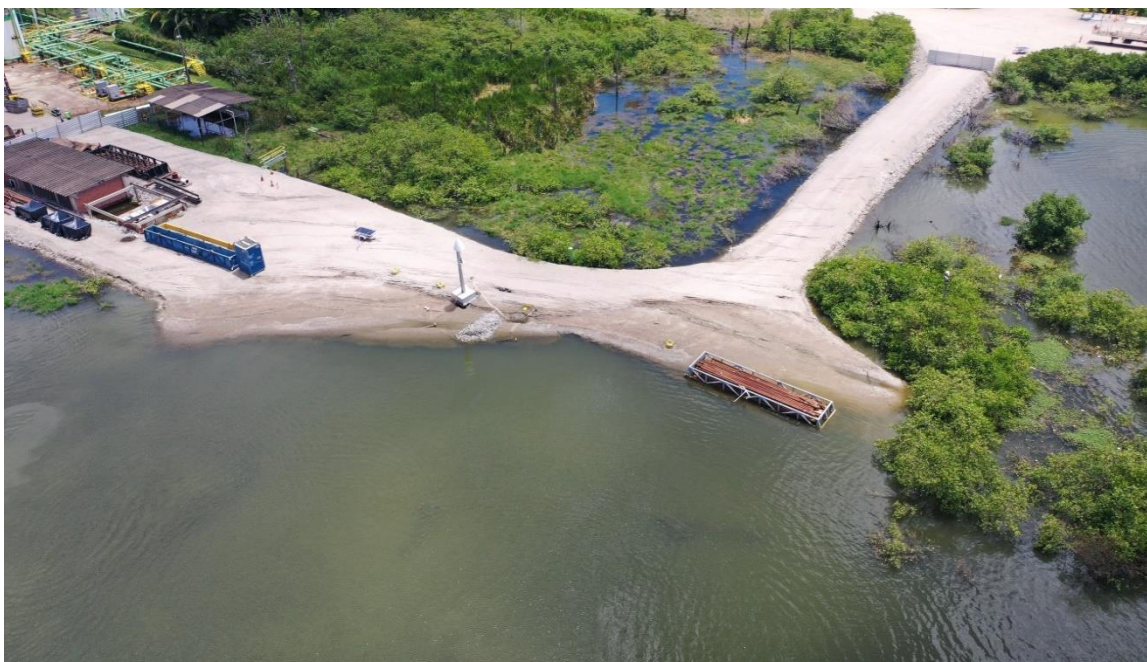
PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ
20/12/2023, porém, assim como o RB01, é necessário um intervalo em torno de 10
idas para que a medição seja considerada confiável.

4 AÇÕES REALIZADAS

Considerando os dados obtidos por meio dos diversos instrumentos instalados na região da cavidade 18 e seu entorno, bem como as demais técnicas de imageamento utilizadas para acompanhamento da movimentação do solo na área em questão, a defesa civil, através do seu corpo técnico, continuou com seu monitoramento através das seguintes ações:

- Voos diários de drone com geração de ortofotomosaico para verificação se houve ou não avanço do evento. Essa é uma ação de monitoramento padrão para verificar possíveis mudanças no cenário com intuito de auxiliar a análise dos demais equipamentos;

Figura 2 - Voo de drone executado no dia 26/12.

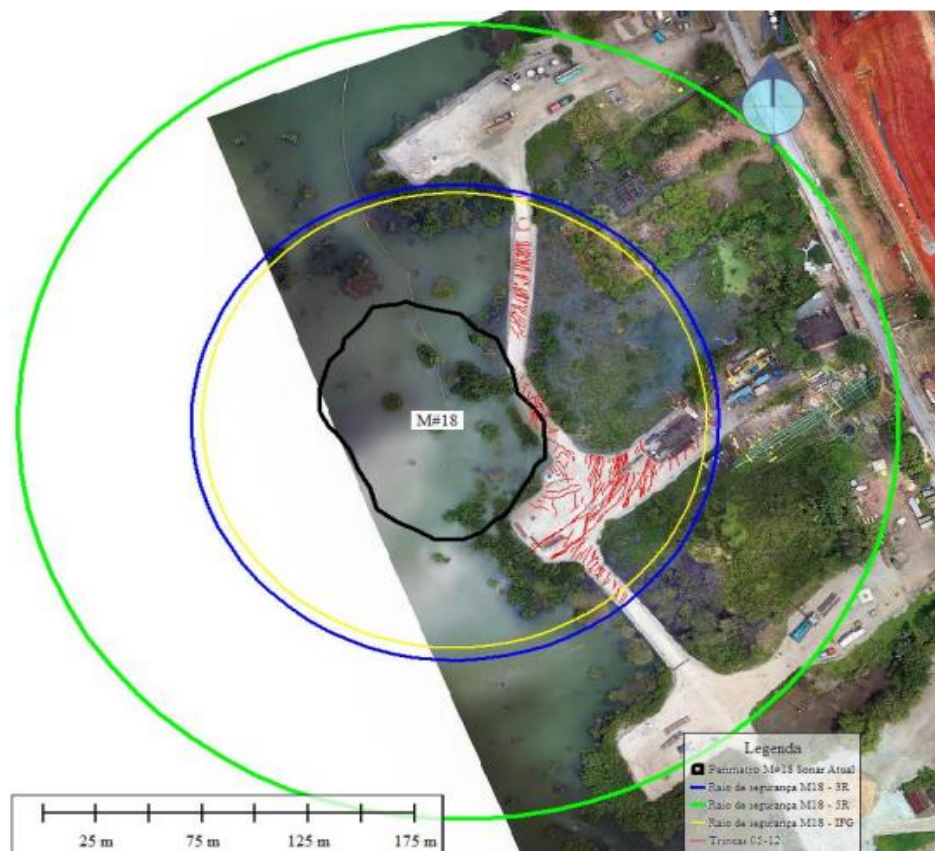


- Foi realizado o levantamento de feições na região, com a finalidade de observar se a ruptura da Mina 18 pode ter ocasionado o aparecimento de novas feições ou aberturas das já existentes;



PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

Figura 3 - Trincas e fissuras mapeadas.



- Foi solicitado a aeronáutica a ativação do No Fly Zone, para uso de UAS (drone). Onde, somente drones da Segurança Pública/Defesa Civil poderiam voar na região;

Figura 4 - “Área quente” do espaço aéreo.

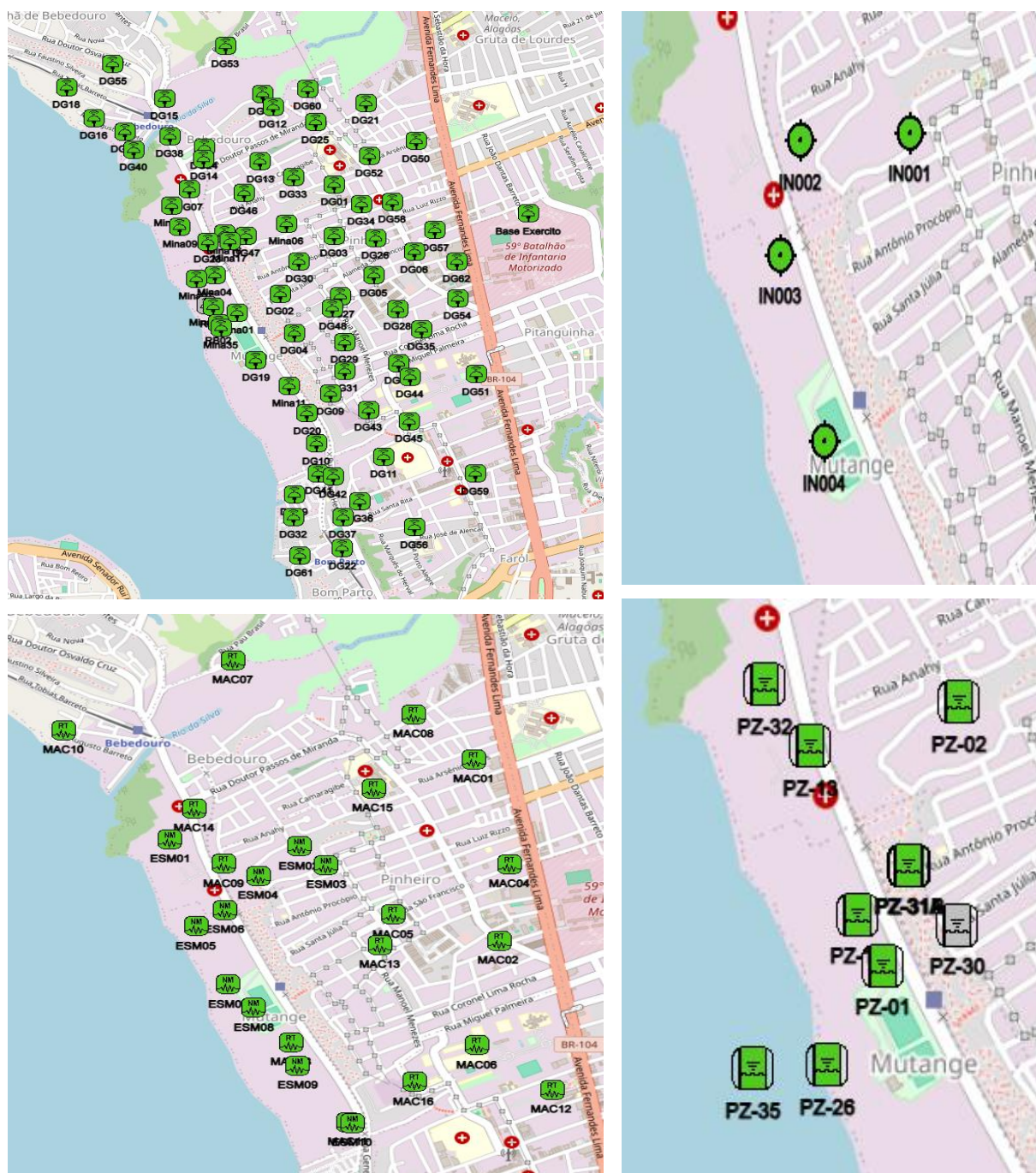




PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

- Monitoramento contínuo pela rede de instrumentos com realização de análises dos dados e do funcionamento dos instrumentos com a finalidade de avaliar possíveis mudanças de comportamento, bem como a produção de relatórios periódicos para a emissão de Notas Técnicas;

Figura 5 - Disposição da instrumentação de monitoramento.





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

- Comunicação periódica a população, com informações que esclareçam as ações que estão sendo realizadas mediante o monitoramento de toda área afetada pelo processo de subsidência e área adjacente, de forma eficiente e clara para combater e não gerar Fake News;

Figura 6 - Entrevista para a Globo News.



- Fechamento das vias próximas ao local do evento e edificações de grande porte, uma vez que o deslocamento horizontal e vertical ainda está ocorrendo, mesmo que sucintamente;



PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

- Foram realizadas inúmeras reuniões, antes e depois do colapso, com a Defesa Civil Nacional e Estadual, MPF, CPRM, IBAMA e os demais órgãos que compõe o gabinete de crise, com o propósito de discutir tecnicamente o colapso da cavidade 18, bem como buscar medidas para a mitigação do risco.

Figura 8 - Reuniões com os entes.



- Foram realizados sobrevoos periódicos sobre a região da cavidade 18, visando uma melhor análise do evento em questão.



PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

Figura 9 – Sobrevoos sobre a região.



- Equipes de plantão 24h, monitorando e analisando os dados recebidos através das plataformas.

Figura 9 – Equipes em campo.





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

5 AÇÕES RECOMENDADAS

1 – A criação e execução de um plano de monitoramento emergencial para as cavidades M#20D, M#21D e M#29D. Essas cavidades além de estarem próximas a mina colapsada, M#18D, se encontram parcialmente e fora da camada de sal. Por estarem localizadas na laguna Mundaú, torna-se inviável o acompanhamento por DGNSS, sendo assim, necessário a avaliação de tais cavidades após a ruptura e colapso da Mina 18.

2 – Com base na recomendação anterior, verificar a possibilidade do preenchimento das cavidades próximas a M#18D com material sólido (backfilling).

3 – Recomendar a Braskem a ampliação da malha de cones de reflexão (cone reflector) para aquisição de dados interferométricos próximo às margens da lagoa. Dessa forma, haverá uma melhor visualização dos dados de deslocamento por interferometria, nas áreas de maior proximidade das minas e da laguna Mundaú.

4 – Estabelecer reuniões quinzenais com a Comissão Técnica do Case Maceió, onde órgãos estaduais e federais devem participar. E haver a integração para compartilhamento de informações e atualizações de monitoramento aos demais órgãos.

5 – Recomendar junto ao Comitê Técnico a atualização dos protocolos de sinkhole e sismo único baseado nos acontecimentos e dados locais, considerando que os protocolos foram criados com base em casos de outras localidades no mundo.

6 – Solicitar junto ao Comitê Técnico a retomada emergencial das discussões para criação do Protocolo por DGNSS, considerando que foi verificado no evento da Cavidade M#18 que o monitoramento desde o início da crise sísmica até a ruptura e colapso se deu através dos dados da rede DGNSS.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Maceió - COMPDEC, informa que segue acompanhando o caso de maneira ininterrupta. Os dados de monitoramento apontam uma diminuição expressiva de movimentação superficial do solo na região correspondente a Mina 18. É importante salientar que essas informações fazem parte de um conjunto de informações que se complementam e que são atualizadas constantemente, em adição a isso as medidas de controle estão sendo tomadas.





PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

Observando todos os fatores já mencionados neste breve relatório, a Defesa Civil de Maceió (DCM), através do Centro Integrado de Monitoramento e Alerta da Defesa Civil (CIMADEC) encontra-se em nível de ALERTA, porém, baseado nos parâmetros para os níveis operacionais utilizado para emissão de alertas, recomenda-se a redução para o nível de **ATENÇÃO**, onde o risco de subsidência e colapso é alto, e não muito alto como no nível anterior.

Sendo o que nos apresentava, ficamos à disposição para prestar quaisquer esclarecimentos.

Maceió/AL, 28 de dezembro de 2023.






PREFEITURA DE MACEIÓ
COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
CENTRO INTEGRADO DE MONITORAMENTO E ALERTA DA DEFESA CIVIL DE MACEIÓ




ABELARDO PEDRO NOBRE JUNIOR

Coordenador Geral Defesa Civil
Mat nº 955904-3



Valdeny Caroline Vasconcelos Lima
Coordenadora CIMADEC
Engenheira Agrimensora
Mat. nº 958534-6



Eduardo Barcelos Bontempo Filho
Técnico CIMADEC
Geólogo
Mat. nº 963880-6



Hugo Carvalho
Técnico CIMADEC
Meteorologista
Mat. nº 958597-4



Guilherme Henrique
Técnico CIMADEC
Engenheiro Civil
Mat. nº 958547-8

Sumário

5891481 - CapaProcesso 1

5891482 - OF. 298 - (SENADO FEDERAL)(ENVIO DE DOCUMENTOS - CPI BRASKEM) 2

5891483 - Anexo 01 - Análise_situacional_-_Assessoria Tecnica 4

5891484 - Anexo 02 - NOTA TECNICA [2] 25

5891485 - Anexo 03 - IfG_ExpJudgement_Sinkhole_M18_FINAL_compressed 28

5891486 - Anexo 04 - IfG_ExpJudgement_Sinkhole_M18_FINAL_(traducao) 68

5891487 - Anexo 05 - 20240315 - Relatório IfG e Proposta de Atualização do Plano de Fechamento 89

5891488 - Anexo 06.1 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr107

5891489 - Anexo 06.2- Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr 190

5891490 - Anexo 06.3 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr273

5891491 - Anexo 06.4 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr356

5891492 - Anexo 06.5 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr439

5891493 - Anexo 06.6 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr522

5891494 - Anexo 06.7 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr605

5891495 - Anexo 06.8 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr688

5891496 - Anexo 06.9 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr771

5891497 - Anexo 06.10 - Protocolo ANM - 15.04.2024_Apresentacao Relatorio Mensal Fechamento de Mina - Mar2024 + tr854

5891498 - Anexo 07 - PÓS COLAPSO MINA 18 (COMPDEC)940