



Candeias, 30 de abril de 2020

À Agência Nacional de Mineração
À Gerência Regional do Estado da Bahia (“ANM/BA”)
À Ilma. Sra. Claudia Martinez Maia
Avenida Ulisses Guimarães, 650 – Centro Administrativo, Área Federal
CEP 41.213-000 – Salvador, Bahia

Ref.: Notificação 15/2018 - PMM/CMOS - ANM/BA e Ofício 2.836/2018 (“NOTIFICAÇÃO” e “OFÍCIO”)
Processo/DNPM n.º 48407 - 972.516/2018 – 49
Processo de Concessão de Lavra ANM n.º 000.648/1967
Resolução ANM n.º 28/2020

DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. (“Dow” ou “EMPRESA”), pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o nº 60.435.351/0001-57, titular do processo minerário em referência (“Direito Minerário”), por meio de seu representante legal abaixo assinado, vem, respeitosamente, à presença de V.sa., em atenção à NOTIFICAÇÃO em epígrafe e às tratativas mantidas junto à esta Agência, **requerer a prorrogação do prazo para entrega dos resultados da análise geomecânica com parâmetros reais de amostragem do solo e subsolo, que seriam obtidos por meio de amostragem realizada por atividade de perfuração, tendo em vista o contexto emergencial e excepcional provocado pela pandemia do Coronavírus (COVID-19)**, conforme os motivos a seguir expostos.

Inicialmente, cumpre destacar que a **Dow segue com todos os programas de monitoramento e que o sinkhole permanece estável sem apresentar qualquer alteração geofísica**, de forma que o pedido em questão não interferirá na continuidade do acompanhamento próximo, periódico e preciso que está sendo diligentemente conduzido pela empresa.

Dito isso, cumpre relembrar que em junho de 2018, a Dow recebeu a NOTIFICAÇÃO em epígrafe – reiterada por meio do OFÍCIO acima mencionado – como resultado das ações empreendidas por esta ANM/BA no que tange à análise do fenômeno do *sinkhole* identificado na ilha de Matarandiba, onde está localizada a operação de mineração de salgema desenvolvida pela EMPRESA.



Em 27/03/2019, mediante justificativas técnicas apresentadas, a DOW requereu a dilação de prazo para atendimento de algumas das exigências inicialmente impostas por esta Agência (Doc. 01), especialmente em razão das comprovadas dificuldades em executar as medidas necessárias no tempo solicitado, sempre prezando pela observância dos padrões técnicos, de qualidade e, principalmente segurança.

Com isso, naquela oportunidade, de forma diligente e proativa, a DOW comunicou a esta ANM/BA a previsão/estimativa de datas para conclusão dos trabalhos, visando o atendimento integral das exigências solicitadas por meio da NOTIFICAÇÃO em questão.

Dessa forma, a EMPRESA seguiu com todas as providências necessárias ao atendimento do cronograma inicialmente proposto, de modo que foi possível cumprir com a previsão estabelecida para entrega de parte das informações solicitadas, por meio da apresentação de estudos à esta Agência em 30/05/2019 (Doc. 02) e 17/10/2019 (Doc. 03) – restando pendente apenas a entrega dos resultados referentes à análise das novas amostras do solo, que estavam programados para ser entregues até o final de abril/2020.

No entanto, considerando o atual cenário global quanto à adoção de medidas preventivas fundamentais para o enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional¹ decorrente do COVID-19 em nível federal² e, inclusive, no âmbito do Estado da Bahia³, o adiamento de quaisquer ações para perfuração se faz necessário e, mais do que isso, torna-se indispensável, para salvaguardar a saúde e o bem-estar dos funcionários, colaboradores e dos moradores da Vila de Matarandiba.

A premissa de proteção às pessoas sempre foi e é, de fato, a preocupação primordial da DOW no desempenho de todas as suas atividades, conforme vem demonstrando a este órgão e demais autoridades envolvidas ao longo de todo o processo de investigação das causas do sinkhole. Além disso, mantém-se intacta a diretriz de manutenção da relação de transparência entre as partes interessadas.

¹ Em 03 de janeiro de 2020 foi emitida Declaração de Emergência em Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) pela Organização Mundial da Saúde ("OMS") e, em complemento, no dia 11 de março de 2020, a OMS emitiu nova declaração pública no sentido de que a disseminação do novo Coronavírus caracteriza um estado de pandemia.

² Lei n.º 13.979/2020 que dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do Coronavírus responsável pelo surto de 2019, regulamentada pelos Decretos Federais n.º 10.282/2020 e 10.288/2020 que definem os serviços públicos e atividades essenciais.

³ Decreto Estadual n.º 19.549/2020, o qual declara Situação de Emergência em todo o território baiano em virtude do desastre classificado e codificado como Doença Infecciosa Viral - COBRADE 1.5.1.1.0, conforme Instrução Normativa do Ministério da Integração Nacional nº 02, de 20 de dezembro de 2016, para fins de prevenção e enfrentamento à COVID-19.



Diante disso, a DOW está monitorando continuamente as informações atualizadas a respeito da situação relacionada ao COVID-19, especialmente em âmbito estadual⁴. Nesse sentido, vale mencionar o Decreto Estadual n.º 19.549/2020, publicado em 18/03/2020 pelo Governo da Bahia, que estabeleceu medidas de prevenção, controle e contenção de riscos, danos e agravos à saúde pública a fim de evitar a disseminação da doença.

Dentre tais medidas destaca-se a suspensão da circulação de transportes rodoviários públicos e particulares – o que, por si só já dificulta a conclusão do atendimento à exigência da NOTIFICAÇÃO em questão pela restrição do trânsito dos funcionários e encaminhamento das amostras aos laboratórios.

Fundamental destacar que as medidas para o atendimento dos itens da NOTIFICAÇÃO mobilizará mais de 100 pessoas que precisarão circular pela ilha – cuja condição geográfica por si só já possui suas particularidades de limitação de acesso a hospitais e medicamentos – dificultando a implementação da medida de isolamento social incessantemente recomendada pelas autoridades neste momento e expondo a comunidade, prestadores de serviço e funcionários EMPRESA ao risco de contaminação!

Ressalta-se que o Decreto Estadual mencionado acima prevê, em seu artigo 2º, a autorização de mobilização de todos os órgãos estaduais, no âmbito de suas competências, para envidar esforços no intuito de apoiar as ações de resposta ao desastre, reabilitação do cenário e reconstrução.

Dessa maneira, em linha com posicionamentos emitidos por outros órgãos federais e estaduais (a exemplo do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – “IBAMA”⁵ e do próprio Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – “INEMA”⁶) a ANM, editou a Resolução ANM n.º 28/2020 – por meio da qual determinou:

Art. 1º Suspender de 20 de março até o dia 04 de maio de 2020 os prazos processuais e materiais dos Administrados nos seguintes casos:

I - Apresentação de defesas, provas, impugnações e recursos interpostos pelos administrados nos processos de autuação, constituição e cobrança das receitas da Compensação Financeira pela Exploração Mineral - CFEM, da Taxa Anual por Hectare - TAH, da Taxa da vistoria e das multas;

⁴ Como política interna, sempre prezando pela segurança de seus funcionários, a Dow recomendou que todos os trabalhos sejam realizados de casa pelos funcionários cujas funções assim os permitam, bem como o adiamento de todas as viagens, reuniões e treinamentos que não sejam essenciais/inadiáveis, até que seja dada orientação diversa diante do acompanhamento diário de informações a respeito dos avanços do COVID-19 – tal como inúmeras empresas têm feito, inclusive, colaboradores da Dow.

⁵ Instrução Normativa n.º 19/2020 e Portarias n.º 826/2020 e 827/2020.

⁶ Portaria n.º 20.286/2020



II - Apresentação de defesas, impugnações e recursos nos processos administrativos minerários;

III - Cumprimento de exigências;

IV - Apresentação de relatórios parciais e finais de pesquisa, requerimento de prorrogação do Alvará de Pesquisa, requerimento de concessão de lavra, requerimentos de prorrogação de guia de utilização, registro de licença, PLG e registro de extração, comunicação do início ou reinício dos trabalhos de pesquisa, e requerimento de imissão de posse na jazida e nas demais hipóteses de prazos previstos no Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, no Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, e na Portaria nº 155, de 12 de maio de 2016, que aprovou a Nacional de Mineração - ANM.

(grifo não original)

Ainda que o artigo supracitado preveja a retomada dos prazos em 04/05/2020 (próxima segunda-feira) reitera-se que a excepcional suspensão momentânea das medidas para continuidade dos trabalhos de terraplanagem, estabilização da plataforma, bem como de perfuração e análises laboratoriais das amostras a serem coletadas, que dependerão de trabalhos de terceiros – cujo processo de contratação somente poderá ser retomado após este período e dependerá da capacidade e disponibilidade a ser definida pelas partes contratadas – certamente terá reflexos no cronograma até então considerado pela Dow ⁷.

Sendo assim, tão logo o quadro de pandemia seja estabilizado, os prazos serão oportunamente revistos e prontamente informados a esta ANM para reconsideração e adequação de acordo com a viabilidade do desenvolvimento e conclusão dos trabalhos, levando em consideração não somente a suspensão do prazo em razão da pandemia, como também as condições externas alheias à ingerência da Dow com relação à disponibilidade dos terceiros para execução imediata dos trabalhos suspensos.

Diante de todo o exposto, requer-se a prorrogação do prazo visando o atendimento completo e satisfatórios às exigências desta ANM/BA, com a designação de novo prazo oportunamente, tão logo cessada a situação de calamidade pública em que o país atualmente se encontra.

⁷ Importante destacar que adicionalmente às dificuldades em prosseguir com as ações para obtenção das amostras em razão da pandemia, houve atraso na emissão da Autorização de Supressão de Vegetação (“ASV”) emitida pelo INEMA, de modo que o próprio órgão ambiental já emitiu posicionamento favorável à prorrogação do prazo inicialmente previsto para obtenção de novas amostras do solo (Doc. 04) – fator que também deverá ser levado em consideração para fixação de novo prazo.



Por fim, a Dow reitera que continuará seguindo as recomendações da OMS e dos Governos federal e estadual na medida em que gerencia diariamente suas atividades, bem como aproveita a oportunidade para elevar seus votos de estima e consideração por esta ANM/BA e permanece à disposição para o que se fizer necessário.

Em caso de dúvidas ou esclarecimentos adicionais, favor contatar a Eng^a. Vania Cordeiro, telefone: 3649-5058, vmiralvacordeiropinto@dow.com.

Atenciosamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Fabricio", with a large, stylized loop at the end.

Fabricio Luiz da Cruz Martines

Líder de Atuação Responsável

Responsável Legal

DOC. 1



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM
Superintendência - BA 15.29 21 - 27/03/2019

Juntada: 48407-001072/2019 - 46
Processo: 972518/2018
NUP: 0009707.00021675/2019-48

Candeias, 27 de março de 2019

Assunto: PRORROGAÇÃO DE PRAZO PARA NOTIFICAÇÃO 15/2018



48407-001072/2019 - 46

Ao
Ilustríssima Senhora
Cláudia Martinez Maia
Gerente Regional da Agência da ANM/Bahia
Avenida Ulisses Guimarães, 650 - Centro Administrativo, Área Federal
CEP 41.213-000 - Salvador, Bahia.

Ref.: Notificação 15/2018 - PMM/CMOS - ANM/BA e Ofício 2.836/2018
Processo / DNPM n.º 48407 - 972.516/2018 - 49
Processo Concessão de Lavra ANM nº 000.648/1967

Senhora Gerente,

DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. ("Dow"), pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o nº 60.435.351/0001-57, titular do processo minerário em referência ("Direito Minerário"), vem, em razão da Notificação nº 15/2018 – PMM/CMOS e Ofício n.º 2.836/2018 ("Documentos"), expor e requerer o que se segue:

1. O Direito Minerário foi objeto de vistoria realizada em 13/06/2018 em ação conjunta da Gerência Regional da Agência Nacional de Mineração do Estado da Bahia ("ANM/BA"), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais ("CPRM"), Defesa Civil do Estado da Bahia ("SUDEC") e Coordenação de Fiscalização e Licenciamento Ambiental da Prefeitura de Vera Cruz para apresentar as respostas e informações técnicas solicitadas pela ANM/BA, em observância aos prazos especificados nos Documentos.
2. A Notificação nº 15/2018 enumera, em itens "1" a "13", as informações, documentos e providências a serem adotadas pela Dow para fins de cumprimento das determinações da ANM/BA e o Ofício n.º 2.836/2018 reitera parte dos pedidos já formulados na Notificação nº 15/2018 ("Anexo 1").



3. A Dow já satisfaz parte das exigências formuladas pela ANM/BA após o recebimento dos Documentos.

4. Para fins de cumprimento dos itens 04, 05 e 11 da Notificação nº 15/2018, reiterados no Ofício nº 2.836/2018, a Dow vem informar que, apesar de estar adotando todas as providências para atender às exigências da ANM, será necessário tomar medidas adicionais, as quais dependem de fatores alheios à Dow, para que as referidas exigências sejam satisfeitas.

5. Especificamente, a realização de atividades de perfuração com observância aos requisitos técnicos aptos a atender aos padrões de qualidade e segurança da operação que são esperados pela Dow demandará mais tempo do que o fornecido pela ANM/BA, visto que a contratação de empresas especializadas neste serviço no Brasil depende da disponibilidade de maquinário adequado. No entanto, as empresas nacionais contatadas pela Dow não têm disponibilidade para executar os serviços em atenção ao prazo da ANM/BA.

6. Como alternativa, a Dow optou por contratar os serviços de sonda de perfuração do exterior, o que demandará a importação da sonda. Essa medida demorará um prazo de tempo maior do que o estabelecido pela ANM/BA para satisfação das exigências em razão da demora com a própria contratação do maquinário e, ainda, com as providências necessárias para o desembaraço do equipamento.

7. Além disso, a execução da perfuração demanda a realização de serviços de terraplanagem para que a instalação de sonda de perfuração seja realizada de forma segura. Essa etapa está programada para ser realizada durante o período chuvoso, o que poderá impactar o prazo de conclusão dos trabalhos.

8. Por essas razões, o cronograma dos trabalhos a serem realizados pela Dow foi revisto, de forma que os seus prazos sejam aderentes à realidade da execução de cada uma das etapas que serão necessárias para que as exigências da ANM/BA sejam satisfatoriamente cumpridas, observando-se os padrões técnicos, de segurança e qualidade, além dos custos a serem suportados pela Dow com as medidas a serem tomadas. O cronograma passível de ser cumprido pela Dow é o seguinte:



1. Entrega dos estudos geofísicos, a serem realizados mediante o emprego de técnica de reflexão sísmica profunda pelo uso de equipamento denominado "Fonte AWD com sistema de acionamento hidráulico", atingindo em torno de 1200m de profundidade na área das instalações administrativas, barragem e cercanias do local onde ocorreu a erosão (*sinkhole*) e na área da comunidade de Matarandiba. Previsão de conclusão: maio/2019;
 2. Entrega dos estudos de possíveis causas naturais para a erosão (*sinkhole*). Previsão de conclusão: outubro/2019;
 3. Entrega dos resultados da análise geomecânica com parâmetros reais do solo e subsolo, obtidos através da amostragem realizada durante as atividades de perfuração. Previsão de conclusão: abril/2020.
9. Diante desse cenário, a Dow apresenta pedido tempestivo de prorrogação de prazo das exigências formuladas pela ANM/BA nos Documentos para compreender os prazos sugeridos acima.

Termos em que,
Pede deferimento.

Salvador/BA, 27 de março de 2019.

DIEGO ARANGO

Diretor Industrial e Representante Legal

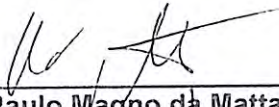
SUPERINTENDÊNCIA DNPM/BA**NOTIFICAÇÃO N.º 15/2018 – PMM/CMOS – ANM/BA**Processo/DNPM: **000.648/1967**Empresa: **DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA**Município: **Vera Cruz UF: BA**Substancial: **SAL-GEMA**Data da Vistoria: **13/06/2018.**

Tendo em vista vistoria realizada na área correspondente ao processo epigrafo, em operação conjunta com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Proteção e Defesa Civil do Estado (SUDEC) e Coordenação de Fiscalização e Licenciamento Ambiental da Prefeitura de Vera Cruz, fica esta empresa **NOTIFICADA**, dentro dos prazos estabelecidos, a cumprir as notificações relacionadas, sob pena das sanções previstas no Código de Mineração e Legislações Complementares:

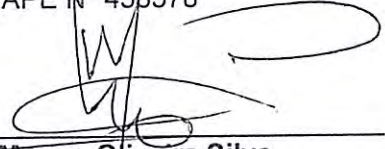
1. Interditar o acesso de toda a área no mínimo a uma faixa de distância de 150 metros no eixo maior da erosão e outra faixa de 50 metros no seu eixo transversal, com cercas físicas e vigilância efetiva, com sinalização de advertência em toda área. Atendimento imediato;
2. Apresentar o mapa georreferenciado de todos os poços perfurados, ativos e inativos, com seus respectivos perfis litológicos, incluindo seus dados cronológicos e dados de produção. Neste mapa considerar, dentre outros, a localização da planta de beneficiamento da empresa e da Vila de Matarandiba. Atendimento em 60 dias;
3. Apresentar mapa georreferenciado de toda a área explorada (as inativas) e em exploração (ativas), considerando a localização do empreendimento e da vila de Matarandiba. Atendimento em 30 dias;
4. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliar as causas da erosão verificada na vistoria com suas devidas conclusões. Atendimento 90 dias;
5. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliação de riscos na área de ocupação humana da vila de Matarandiba. Atendimento 90 dias;
6. Apresentar os dados das intervenções antrópicas realizadas pelo empreendimento mineiro, com ênfase nas lagoas e barragens. Atendimento em 60 dias;
7. Apresentar um plano de ação para avaliação detalhada das causas que originaram a erosão observada na vistoria. Atendimento em 30;
8. Apresentar, com os respectivos laudos, o estudo de modelagem da estabilização dos maciços da área colapsada. Atendimento em 30 dias;
9. Implementar programa de monitoramento relativo à estabilidade dos maciços, envolvendo as áreas do empreendimento e da vila de Matarandiba;
10. Implementar programa de comunicação e conscientização de riscos junto a comunidade da vila de Matarandiba. Atendimento imediato;
11. Elaborar mapa de risco após a conclusão de estudos a serem realizados;
12. Permitir o acesso e colaborar com o fornecimento de dados e cooperação técnica à equipe de estudo independente liderada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM;
13. Atender, de acordo com o caso específico, todas as normas reguladoras de mineração relativas às NRM 05;

NOTA IMPORTANTE: O cumprimento das exigências descritas acima deve ser protocolizado na SUPERINTENDÊNCIA ANM/BA, parecer do técnico responsável e documentação fotográfica (se for o caso), no prazo acima estabelecido, **sob pena das sanções previstas no Código de Mineração – C.M. (Decreto Nº 227/1967), Regulamento do Código de Mineração – R.C.M. (Decreto Nº 69.234/1968) e Legislações Complementares.**

Técnico (s) responsável (is) pela vistoria:



Paulo Magno da Matta
Geólogo ANM/BA
SIAPE Nº 453578




Carlos Magno Oliveira Silva
Técnico em Recursos Minerais ANM/BA
SIAPE Nº 1530559

Estou de pleno acordo com as Condições acima citadas e assumo de imediato o compromisso de tomar as providências supracitadas.

Ciente, em 19 de junho de 2018

Representante da Empresa:



Fabricio da Cruz Martines

**DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE
PRODUTOS QUIMICOS LTDA
RG 2573746-X**



Departamento Nacional de Produção Mineral

Ministério de Minas e Energia

OFÍCIO n.º 2.836/2018,

Salvador, 14/10/2018

REF.: DNPM n.º 972.516/2018

Do Superintendente do DNPM/BA

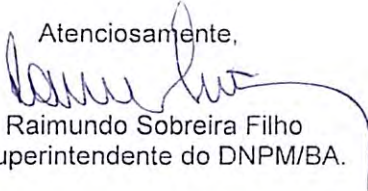
Assunto: reiteração das notificações n. 15/2018 – PMM/CMOS – ANM/BA

A Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda

Visando instruir melhor a análise dos autos referentes ao cumprimento das notificações formuladas em referência, efetivadas após vistoria conjunta ocorrida no dia 13/06/2018 na área atingida pela erosão, na planta de beneficiamento da empresa titular e na comunidade da vila de Matarandiba, se ver necessário reiterar o cumprimento das notificações citadas abaixo no prazo de 120 dias, sob pena de aplicação das sanções previstas em lei:

- Retificar a implementação da interdição do acesso à cratera mantendo a faixa de 30 metros no sentido transversal ao eixo da cratera, porém, ampliando a faixa no sentido longitudinal ao eixo da cratera para 60 metros. Apresentar planta com imagem em escala detalhada indicando essa retificação;
- Reiterar as notificações de números 4, 5, 8 e 11, prorrogando seu prazo para mais cento e vinte (120) dias, quando deverão ser apresentados os estudos geofísicos com seus respectivos laudos, indicando a causa do abatimento do maciço, acompanhado de uma avaliação de riscos para a região, envolvendo a vila de Matarandiba e a sede da empresa, além do estudo de modelagem da estabilização dos maciços da área colapsada;
- Apresentar em mapa gerreferenciado dos furos de sonda para captação de água subterrânea utilizada no processo de extração mineral (dissolução subterrânea), além dos seus respectivos perfis litológicos;
- Apresentar anotação de responsabilidade técnica (ART) pelos trabalhos técnicos apresentados e pelos trabalhos pendentes de apresentação quando esses forem protocolados no DNPM/ANM, de forma que haja um responsável técnico legalmente habilitado para responder todas as questões levantadas pelo DNPM/ANM e demais instituições de controle.

Atenciosamente,


Raimundo Sobreira Filho
Superintendente do DNPM/BA.

Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda
Avenida das Nações Unidas, - 14171,
Condomínio Rochavérá, Edifício Diamond Tower
Santo Amaro
4794000 - SÃO PAULO/SP

Avenida Ulisses Guimarães, 650 - Centro Administrativo, Área Federal - CEP 41.213-000 - Salvador, Bahia
Fone (071) 3444-5500; Fax (071) 3444-5540 - <http://www.dnpm.gov.br>

CPRM



SUPERINTENDÊNCIA DNPM/BA

NOTIFICAÇÃO N.º 15/2018 – PMM/CMOS – ANM/BA

Processo/DNPM: 060.648/1967

Empresa: DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA

Município: Vera Cruz UF: BA

Substancial: SAL-GENIA

Data da Vistoria: 13/06/2018.

Tendo em vista vistoria realizada na área correspondente ao processo epigraçado, em operação conjunta com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Proteção e Defesa Civil do Estado (SUDEC) e Coordenação de Fiscalização e Licenciamento Ambiental da Prefeitura de Vera Cruz, fica esta empresa **NOTIFICADA**, dentro dos prazos estabelecidos, a cumprir as notificações relacionadas, sob pena das sanções previstas no Código de Mineração e Legislações Complementares:

1. Interditar o acesso de toda a área no mínimo a uma faixa de distância de 150 metros no eixo maior da erosão e outra faixa de 50 metros no seu eixo transversal, com cercas físicas e vigilância efetiva, com sinalização de advertência em toda área. Atendimento imediato;
2. Apresentar o mapa georreferenciado de todos os poços perfurados, ativos e inativos, com seus respectivos perfis litológicos, incluindo seus dados cronológicos e dados de produção. Neste mapa considerar, dentre outros, a localização da planta de beneficiamento da empresa e da Vila de Matarandiba. Atendimento em 60 dias;
3. Apresentar mapa georreferenciado de toda a área explorada (as inativas) e em exploração (ativas), considerando a localização do empreendimento e da vila de Matarandiba. Atendimento em 30 dias;
4. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliar as causas da erosão verificada na vistoria com suas devidas conclusões. Atendimento 90 dias;
5. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliação de riscos na área de ocupação humana da vila de Matarandiba. Atendimento 90 dias;
6. Apresentar os dados das intervenções antrópicas realizadas pelo empreendimento mineiro, com ênfase nas lagoas e barragens. Atendimento em 60 dias;
7. Apresentar um plano de ação para avaliação detalhada das causas que originaram a erosão observada na vistoria. Atendimento em 30;
8. Apresentar, com os respectivos laudos, o estudo de modelagem da estabilização dos maciços da área colapsada. Atendimento em 30 dias;
9. Implementar programa de monitoramento relativo à estabilidade dos maciços, envolvendo as áreas do empreendimento e da vila de Matarandiba;
10. Implementar programa de comunicação e conscientização de riscos junto a comunidade da vila de Matarandiba. Atendimento imediato;
11. Elaborar mapa de risco após a conclusão de estudos a serem realizados;
12. Permitir o acesso e colaborar com o fornecimento de dados e cooperação técnica à equipe de estudo independente liderada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM;
13. Atender, de acordo com o caso específico, todas as normas reguladoras de mineração relativas às NRM 05;

 **Correios** REGISTRADO URGENTE
registered priority

PESO (kg)
weight

Recebedor

AR MP

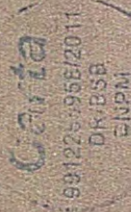
Assinatura

Doc.

JT 79844107 4 BR



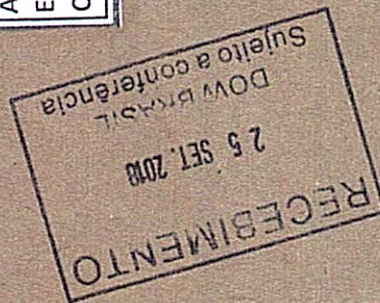
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL



OFÍCIO Nº 2836/2018

À

DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA
AVENIDA DAS NAÇÕES UNIDAS Nº 14171 – CONDOMÍNIO ROCHAVERA
EDIFÍCIO DIAMONT TOWER – SANTO AMARO
CEP: 4794000 – SÃO PAULO/SP



DOC. 2

Candeias, 30 de maio de 2019

AGENCIAL NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM
Superintendência - BA 15.48.04 - 30/05/2019**Juntada: 48062.002902/2019-09****Processo: 972516/2018****NUP: 48062.002902/2019-09****Assunto: CUMPRIMENTO DE OFÍCIO 2836/2018**

48062 002902/2019-09

A

Ilustríssima Sra. Cláudia Martinez Maia
Gerente Regional da Superintendência da Agência Nacional de Mineração
Avenida Ulisses Guimarães, 650 - Centro Administrativo, Aracaju
CEP 41.213-000 - Salvador, Bahia.

OFÍCIO Nº 2.836/2018 ("Ofício")
PROCESSO / DNPM Nº 48407 – 972.516/2018-49
PROCESSO DE CONCESSÃO DE LAVRA ANM Nº 000.648/1967

DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. ("DOW"/"EMPRESA"), pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o nº 60.435.351/0001-57, titular do processo minerário em referência, vem, por seu representante legal abaixo subscrito, à presença de V.Sa, apresentar estudos geofísicos atualizados, em atendimento ao quanto requerido por esta ANM e considerando o contexto abaixo exposto.

Tendo em vista as solicitações e prazos determinados na Notificação emitida em 19/06/2018, os quais foram posteriormente reiterados por meio do Ofício em epígrafe, a Dow protocolou no último dia 27/03/2019 requerimento para prorrogação dos prazos inicialmente estabelecidos por esta ANM.

Isto porque, conforme esclarecido pela EMPRESA por meio do referido requerimento, o cronograma inicialmente previsto para realização dos trabalhos e conclusão dos documentos técnicos requeridos teve que ser revisto para que fossem observados os requisitos técnicos aptos a atender aos padrões de qualidade e segurança da operação – o que demandaria mais tempo do quanto estabelecido pela ANM/BA, visto que a contratação de empresas especializadas para a realização dos trabalhos (perfuração e terraplanagem) dependeria da disponibilidade de maquinário adequado.

Dessa forma, verificou-se que as empresas nacionais contatadas pela Dow não tinham disponibilidade para executar os serviços em atendimento aos prazos estabelecidos pela ANM/BA e como alternativa, a Dow optou por contratar os serviços de sonda de perfuração no exterior. Portanto, a importação dos equipamentos necessários e providências relacionadas para efetiva execução dos trabalhos impactou no atendimento aos prazos pré-estabelecidos por este d. órgão.

Diante de tais circunstâncias, a Dow informou prontamente a necessidade de readequação dos prazos inicialmente previstos para a execução de cada uma das etapas que seriam necessárias visando que todas as exigências



da ANM/BA sejam satisfatoriamente cumpridas, observando-se os padrões técnicos, de segurança e qualidade, além dos custos a serem suportados pela EMPRESA com as medidas a serem tomadas.

Sendo assim, naquela oportunidade, a Dow indicou quais seriam os prazos factíveis para atendimento integral das solicitações elaboradas por esta ANM, dentre os quais destaca-se:

"Entrega de estudos geofísicos a serem realizados mediante o emprego de técnica de reflexão sísmica profunda pelo uso de equipamento denominado "Fonte AWD com sistema de acionamento hidráulico", atingindo em torno de 1200m de profundidade na área das instalações administrativas, barragem e cercanias do local onde ocorreu a erosão (sinkhole) e na área da comunidade de Matarandiba. Previsão de conclusão: maio/2019."

Dessa forma, considerando o contexto já esclarecido pela Dow à ANM quanto à necessidade de prorrogação dos prazos pré-estabelecidos por meio da Notificação em epígrafe e Ofício relacionado – seja por meio de peticionamento, seja em reunião presencial junto ao órgão – **a Dow apresenta nessa oportunidade os estudos geofísicos elaborados com a metodologia AWD, em atendimento ao prazo previsto pela EMPRESA e previamente informado à esta ANM,** demonstrando sua mais completa boa-fé, diligência e proatividade, prezando pela manutenção de relação de transparência junto a este órgão regulador.

Sendo o que cumpria para o momento, a Dow aproveita o ensejo para renovar seus protestos de elevada estima e consideração e informar que está prosseguindo com as providências para apresentação dos demais documentos técnicos nos prazos previstos, permanecendo à inteira disposição para fornecer quaisquer esclarecimentos e informações adicionais que se julguem necessários.

Atenciosamente,

FABRÍCIO DA CRUZ MARTINES
DIRETOR DE SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE
RESPONSÁVEL LEGAL

RELATÓRIO DE SÍSMICA AWD

Investigação Geofísica do Subsolo na Área da Empresa DOW QUÍMICA Brasil e na Vila, na Ilha de Matarandiba, (Município de Vera Cruz – BA), Empregando o Método Sísmico de Reflexão Utilizando Como Fonte Sísmica o AWD (Accelerated Weight Drop).



Contratante: Empresa DOW QUÍMICA.

Consultor: Dr. Marco Antônio Barsottelli Botelho
Graduado em Geologia/UFPA
Doutor em *Geofísica Aplicada*/UFBA
mabarsottelli@gmail.com

Salvador, 25 de Maio de 2019

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1- OBJETIVOS | 03 |
| 2- FERRAMENTAS GEOFÍSICAS | 03 |
| 3- INTRODUÇÃO | 03 |
| 4- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS..... | 04 |
| 5- EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO DOS DADOS | 06 |
| 6- OS DADOS REGISTRADOS COM A FONTE AWD | 12 |
| 7- PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS | 13 |
| 8- INTERPRETAÇÃO DAS SEÇÕES AWD | 15 |
| 9- O SISTEMA SERCEL DE AQUISIÇÃO SÍSMICA | 23 |
| 10- CONCLUSÕES | 27 |

- 1) **OBJETIVOS:** Foram realizados cinco (5) levantamentos sísmicos terrestres com dimensão variando de 235 a 185 metros de extensão, sendo quatro (4) dentro das dependências da empresa DOW e uma (1) na própria vila de Matarandiba, no Município de Vera Cruz (BA). Estes levantamentos tem o propósito de investigar a influência em sub superfície da cratera que surgiu em abril de 2018 (data ainda não precisa) investigando o terreno que circunda o *Sinkhole* a procura de estruturas que possam estar associadas a este fenômeno, como falhas, fraturas ou vazios subterrâneos que possam vir a causar outros colapsos. As demais áreas foram investigadas também a procura destes possíveis vazios que possam vir a causar outros colapsos ou *Sinkholes*. As imagens obtidas pela sísmica de reflexão ajudarão na análise sobre o risco geológico que este evento pode representar para a região, tanto em termos da possibilidade de expansão da cratera como também a possibilidade de surgirem outras crateras. A investigação atingirá uma profundidade em torno de um mil e seiscentos (1600) metros (o que equivale ao tempo de reflexão de 900 ms), ultrapassando a camada de sal. Foram realizados os levantamentos de dois (2) perfis nas proximidades do *sinkhole*, um (1) perfil sobre a área administrativa, um (1) perfil nas proximidades da barragem e ainda um (1) perfil na Rua do Porto na Vila de Matarandiba. Todos os perfis foram adquiridos empregando uma fonte sísmica impulsiva denominada AWD (*Accelerated Weight Drop*).
- 2) **FERRAMENTA GEOFÍSICA:** O método geofísico utilizado é a sísmica de reflexão empregando um sismógrafo modelo GEODE fabricado pela empresa SCINTREX e quarenta e oito (48) geofones. O intervalo entre os tiros é o mesmo intervalo entre os geofones, de cinco (5) metros, sendo que cada tiro é gerado ao lado de um geofone. A fonte sísmica empregada é do tipo impulsiva, a fonte AWD (*Accelerated Weight Drop*).
- 3) **INTRODUÇÃO:** As medições sísmicas são bem conhecidas por seu uso na exploração de hidrocarbonetos, mas também podem ser aplicadas para o mapeamento de estruturas subterrâneas mais rasas, como o pacote sedimentar de placers, camadas de carvão, no mapeamento do nível freático, ou mesmo detectar a espessura do manto de intemperismo e a possível presença de matacões dentro do pacote. O método é comparável a um ecobatímetro marinho: as ondas sísmicas são criadas por um impacto na superfície e viajam no subsolo. Como as ondas sonoras, elas são refletidas e refratadas quando atingem o contato entre camadas com diferentes propriedades elásticas no subsolo. Usando o tempo necessário para a onda voltar à superfície e a velocidade de propagação, pode-se determinar a profundidade dos diferentes contatos geológicos. O valor da velocidade de propagação das ondas, bem como as amplitudes dos registros sísmicos, trazem informações sobre o tipo de sedimento ou rocha. Este método é importante não apenas para obter informações estratigráficas e estruturais, em delinear falhas ou outras estruturas, mas também para caracterização física de camadas e, portanto, é muito útil em investigações hidrogeológicas.

Desde a década de 1920, técnicas de reflexão sísmica têm sido usadas para procurar por petróleo e as técnicas de sísmica de refração têm sido usadas em aplicações de engenharia.

- 4) **LOCALIZAÇÃO DA ÁREA:** A área de estudo está localizada na Ilha de Matarandiba, a qual compõe parte do município de Vera Cruz, no estado da Bahia. Os cinco (5) locais de pesquisa foram distribuídos do seguinte modo: duas (2) seções próximas ao *sinkhole* (vide a figura 01), uma (1) seção na área administrativa, uma (1) seção próxima à barragem (vide a figura 02) e, finalmente, uma (1) seção na Rua do Porto da Vila de Matarandiba. Na área da DOW Química Brasil ocorre a exploração de salmoura em rochas evaporíticas situadas a 1300 metros de profundidade. Nesta área surgiu uma cratera de forma elíptica, de dimensões de cerca de 80 m em seu eixo de maior comprimento e 38 metros no eixo menor, atingindo inicialmente uma profundidade aproximada de 45 m. Este fenômeno não tem uma data precisa para seu início, mas estima-se que o surgimento aconteceu em abril de 2018. Estudos geológicos iniciais, apontam a provável explicação para o surgimento da cratera como estando relacionado ao encontro de falhas normais e fraturas que se cruzam sobre o local da atual cratera, e que possivelmente foram reativadas. Ainda assim, pouco se sabe em termos geológicos, sobre a atual distribuição de estruturas em sub superfície no local. A geração de seções sísmicas tem como objetivo ver se há algum vazio com dimensões decamétrica que possa vir a gerar outro *sinkhole*.



FIGURA 01 – Localização da área de estudo, na Ilha de Vera Cruz (BA), próximo ao local onde ocorreu o *sinkhole*, destacando-se por linhas vermelhas o posicionamento das linhas sísmicas, as quais chegam a distar de apenas 80 m da cratera destacada em amarelo.

A primeira etapa desta investigação geofísica com sísmica de reflexão foi

levantar duas linhas sísmicas o mais próximo possível do *sinkhole*, com as linhas posicionadas de modo que chegam a estar a cerca de 80 m da cratera. A primeira linha possui direção NW-SE, enquanto a segunda tem praticamente a direção N-S, o que é mostrado na Figura 1. A partir de medidas com GPS, foram registradas coordenadas geográficas (DATUM de referência SIRGAS 2000) dos pontos iniciais e finais de cada uma das duas linhas sísmicas, assim como mostra a Figura 1. As coordenadas destes pontos também são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 1: Pontos de localização de início e fim das linhas sísmicas levantadas com marreta.

| Ponto | Latitude | Longitude | Observação |
|-------|-----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 13°00'37" | 38°45'30" | Início da Linha Sísmica 1 |
| 2 | 13°00'42" | 38°45'25" | Fim da Linha Sísmica 1 |
| 3 | 13°00'44" | 38°45'27" | Início da Linha Sísmica 2 |
| 4 | 13°00'51" | 38°45'26" | Fim da Linha Sísmica 2 |



FIGURA 02 - Localização das linhas sísmicas 03 e 04 levantadas na área administrativa e nas proximidades da barragem, respectivamente, e seus pontos iniciais e finais com coordenadas geográficas, cujo DATUM de referência SIRGAS 2000.

A segunda etapa desta investigação geofísica com sísmica de reflexão foi o levantamento de duas (2) linhas sísmicas, as linhas 03 e 04, atravessando a área de administração da empresa e próxima à barragem, respectivamente. Vide a Figura 02. A linha 03 possui direção E-W, enquanto a segunda tem a direção N-S, o que pode ser visto na Figura 2.

Tabela 2: Pontos de localização de início e fim das linhas sísmicas levantadas com AWD

| Ponto | Latitude | Longitude | Observação |
|-------|-------------|-------------|--------------------------------|
| 5 | 13°00'43" S | 38°45'34" W | Início da Linha Sísmica AWD 03 |
| 6 | 13°00'43" S | 38°45'26" W | Fim da Linha Sísmica AWD 03 |
| 7 | 13°00'35" S | 38°45'36" W | Início da Linha Sísmica AWD 04 |
| 8 | 13°00'42" S | 38°45'37" W | Fim da Linha Sísmica AWD 04 |

A terceira e última etapa se constituiu no levantamento da linha 05 ao longo da

Rua do Porto dentro da cidade de Matarandiba. Vide a Figura 03.



FIGURA 03 - Localização da linha sísmica 05 levantada na Rua do Porto, dentro da Vila de Matarandiba. Esta linha tem uma direção aproximadamente E-W.

5) EQUIPAMENTOS E AQUISIÇÃO DOS DADOS: O sismógrafo utilizado no levantamento sísmico das quatro (4) primeiras linhas foi o modelo Geode fabricado pela empresa Geometrix, empregando 48 geofones (marca *Geospace*). Como fonte sísmica utilizamos uma fonte AWD (*Accelerated Weight Drop*). Todo o sistema de registro dos sismógrafos, bem como a definição dos parâmetros de aquisição, foi controlado através do software *Geometrics Seismodule Controller*. A figura 4 esquematiza o arranjo entre fonte e geofones para realizar uma aquisição sísmica de reflexão e/ou refração.

PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO:

Os parâmetros básicos de aquisição empregando a marreta ou fonte AWD são:

- Levantamento de receptores fixos e caminhamento de pontos de tiro;
- Número de canais receptores (geofones) totais: 48;
- Número de tiros:
 - Linha 01: 30 tiros.
 - Linha 02: 44 tiros.
 - Linha 03: 37 tiros
 - Linha 04: 46 tiros



FIGURA 04 – Diagrama mostrando os equipamentos e componentes integrados na aquisição de dados sísmicos: geofones interligados a um cabo, fonte (marreta) e computador para armazenamento dos dados.

O emprego da fonte AWD utilizou dois (2) disparos, ou POPs em cada coordenada de tiro, que são somadas para formar um único tiro.

- Distância entre receptores: 5 m;
- Distância entre tiros: 5 m;
- Coordenadas dos receptores: 0 – 235 m
(Linha 1: Ponto 1 ao Ponto 2; Linha 2: Ponto 3 ao Ponto 4; vide Figuras 2 e 3);
- Coordenadas dos tiros:
Linha1: 235 – 15 m; Linha 2: 235 – 20 m;
- Comprimento total de cada linha: 235 m;
- Intervalo de amostragem: 0,25 ms;
- Tempo de registro: 1 s.

A figura 4 ilustra o procedimento utilizado na aquisição dos dados sísmicos de reflexão e na figura 05 podemos ver o módulo sismógrafo geode, onde pode-se ver as suas conexões com o cabo dos geofones (preto), o do trigger (vermelho) e o de conexão do outro módulo (amarelo).

O emprego da fonte sísmica AF-450 *Hammer*, a qual é uma fonte impulsiva do tipo *Accelerated Wave Drop* (AWD), fabricado pela empresa americano USAlliance, com sede na Cidade do Texas, Texas, permitiu a geração de pulsos sísmicos com energia de 8000 Joules, quando usamos uma pressão de 600 psi com o gás nitrogênio. Na verdade, a energia produzida pelo AWD pode variar de 5 a até 100 Kilo Joules, a qual é derivada de uma massa de aço que atua como uma marreta (450 libras no modelo usado neste trabalho) que impacta a base metálica acoplada ao solo. Vide figuras 6 e 7. Este moderno AWD usa um sistema hidráulico para suspender a massa de aço até a posição (mais alta) onde é engatilhado o disparo. Após engatilhar, o cilindro carregado com gás nitrogênio e um sistema de pistão aplicam uma força descendente sobre a massa que atua como marreta. A pressão aplicada sobre a massa pode variar de 500 a 2000 PSI.



FIGURA 05 – Módulo do sismógrafo geode, onde pode-se ver as suas conexões com o cabo dos geofones (preto), o do trigger (vermelho) e o de conexão do outro módulo (amarelo); e ainda, o outro cabo amarelo que (lado oposto) que alimenta o sistema. Observe as pontas de jacaré plugando na bateria (capa azul).



FIGURA 06 – Caminhão Ford 1717 com a fonte sísmica AWD, modelo AF450, acoplada em sua carroceria. Levantamento na Linha 01, situada na estrada próxima ao Sinkhole, onde pode-se ver dois geofones (pontos vermelhos), separados de 5 m, acoplados na estrada. Este levantamento gerou a seção sísmica AWD-01.



FIGURA 7 – Vista da placa metálica acoplada ao solo, sob o peso do sistema AWD mais a carroceria do caminhão, para que a placa não pule ao ser atingida pelo embolo de aço que vai cair em movimento acelerado. Este forte acoplamento com o solo evita que a placa pule e ocorra a geração de Ghost.

Quando ocorre o disparo, a massa é propelida com alta velocidade para baixo até colidir com a placa metálica acoplada ao solo, a qual se mantém em contato com o solo sob o efeito do peso da sistema AWD mais a carroceria do caminhão, gerando assim o pulso sísmico, como resultado do impacto.



FIGURA 08 – Imagem do levantamento na linha 01 onde o terreno encharcado e não compactado dificultou o deslocamento da caminhão Ford 1717 que está acoplado à fonte sísmica AWD. O perfil só conseguiu ser levantado com o apoio de um trator para puxar o caminhão com a fonte sísmica AWD.



FIGURA 09 – Imagem do levantamento na linha 02 mostrando sua porção final na estrada de acesso à sede administrativa da empresa, no trecho que separa o lago represado e o sinkhole.



FIGURA 10 – Imagem do levantamento na linha 03 em sua porção inicial, onde pode-se ver dois dos quarenta e seis (46) geofones instalados em linha reta atravessando a área administrativa da DOW, bem como a fonte AWD AF-450 em posição para executar o terceiro disparo.



FIGURA 11 – Imagem do levantamento na linha 04 ao longo de uma estrada que termina na estação de bombas situada no pé da barragem. Podemos ver a fonte AWD AF-450, já com a plataforma acoplada ao solo e pronta para executar um disparo.



FIGURA 12 – Imagem do levantamento na linha 05 ao longo da Rua do Porto de Artur, situada na Vila de Matarandiba. Emprego-se seis (6) geofones para a captação dos eventos em cada ponto de registro, ao invés de um (1) único geofone.

6) DADOS REGISTRADOS COM FONTE SÍSMICA AWD:

Os levantamentos sísmicos registram os dados no domínio de famílias de tiro comum, registrou-se trinta (30) destas famílias ou CSG (*Common Source Gather*) para a linha AWD-01, e quarenta e quatro (44) CSG para a linha AWD-02. A etapa seguinte é a reorganização dos dados em famílias CDP (ou CMP). A título de ilustração mostra-se nas figuras 13 e 14 exemplos de famílias CDP das linhas 01 e 02, respectivamente.

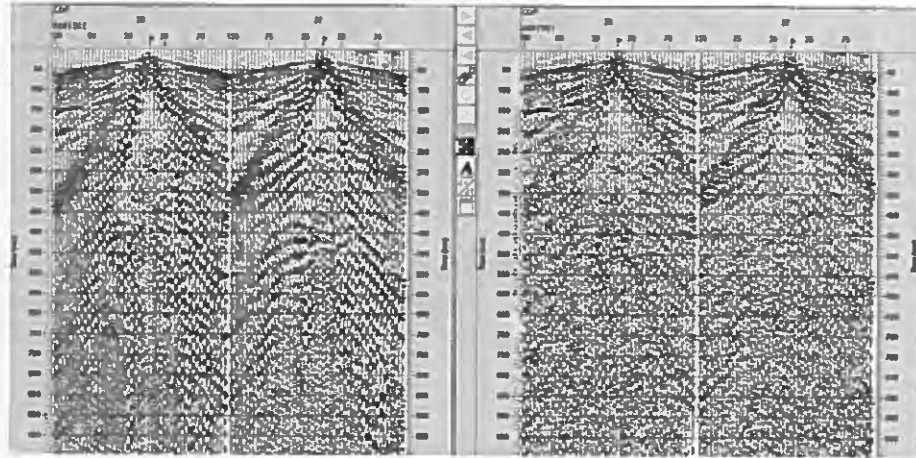


FIGURA 08 –Duas Famílias CDP (*Common Depth Point*) gerado a partir de dados levantados na linha 1, onde o registro dos eventos foi efetuado até o tempo de 1000 m (esquerda). As mesmas duas famílias CDP (também conhecidas por CMP) após sofrerem filtragem passa-banda.

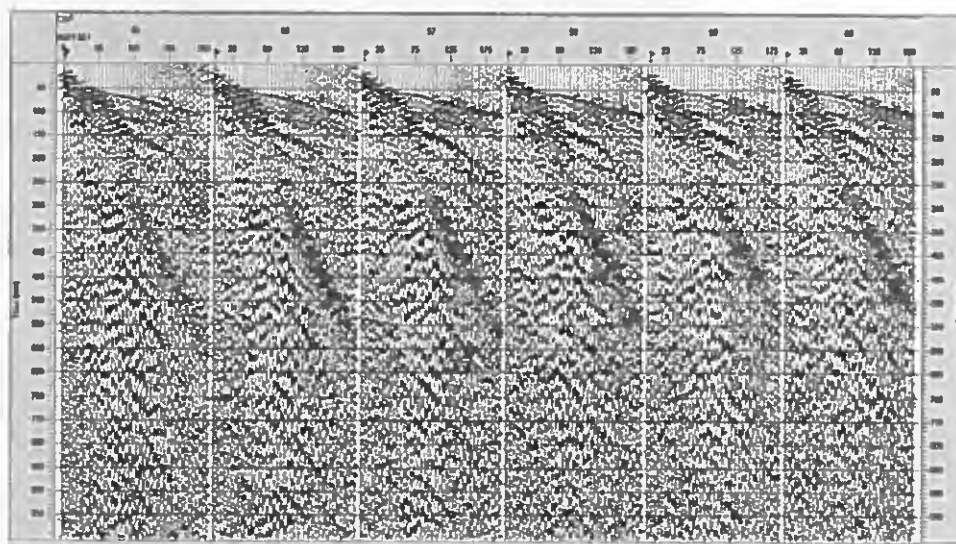


FIGURA 09 –Seis (6) Famílias CDP (*Common Depth Point*) gerado a partir de dados levantados na linha AWD_02, onde o registro dos eventos foi efetuado até o tempo máximo de 1000 m (esquerda).

7) PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS DE REFLEXÃO:

Após o registro das Famílias de Tiro Comum, os dados são processados pelo clássico método CMP com o objetivo de se gerar as Seções Empilhadas para então se realizar a interpretação destes dados. O processamento CMP seguiu o fluxo básico para dados sísmicos de reflexão, o qual se resume nas seguintes etapas:

- Montagem da geometria de aquisição;
- Edição de traços ruidosos e silenciamento de tempos anteriores a onda direta;
- Correção de divergência esférica;
- Filtragem de frequências:
Foi escolhido filtro trapezoidal, cuja rampa foi definida a partir das frequências: 20 Hz, 30 Hz, 150 Hz, 300 Hz.
- Organização em CMP (*Common Mid Point*); (Vide figuras 13 e 14)
- Análise de velocidades; (vide figura 16)
- Correção *normal moveout* (NMO);
- Empilhamento dos traços de diferentes tiros, a partir da coordenada CMP.

Os dados sísmicos coletados nas linhas 01 e 02 apresentam informações relevantes apenas entre as frequências de 20 Hz e 300 Hz. A Figura 15 a seguir, ilustra os gráficos de frequências por amplitude dos dados, antes e após o processamento. As filtragens de frequências trapezoidais aplicadas aos dados, visou atenuar as frequências abaixo dos 20 Hz, e assim reduzir grande parte do ruído superficial e linear conhecido como *ground-roll*, e de atenuar grande parte das frequências acima de 200 Hz, relacionado à ruídos aleatórios.

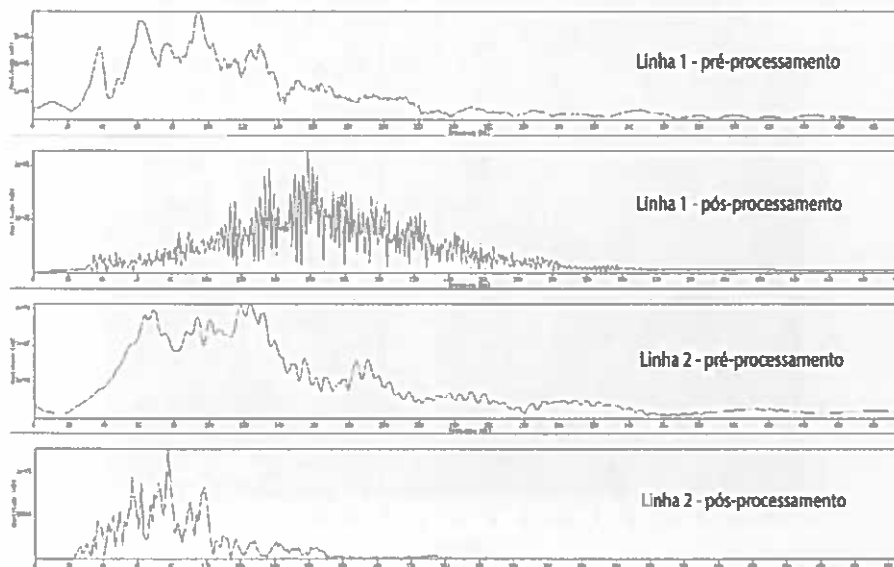


Figura 15 - Espectro de amplitudes por frequências dos dados referentes às duas primeiras linhas sísmicas, antes e após o processamento de filtragem trapezoidal (20,30,150,300).

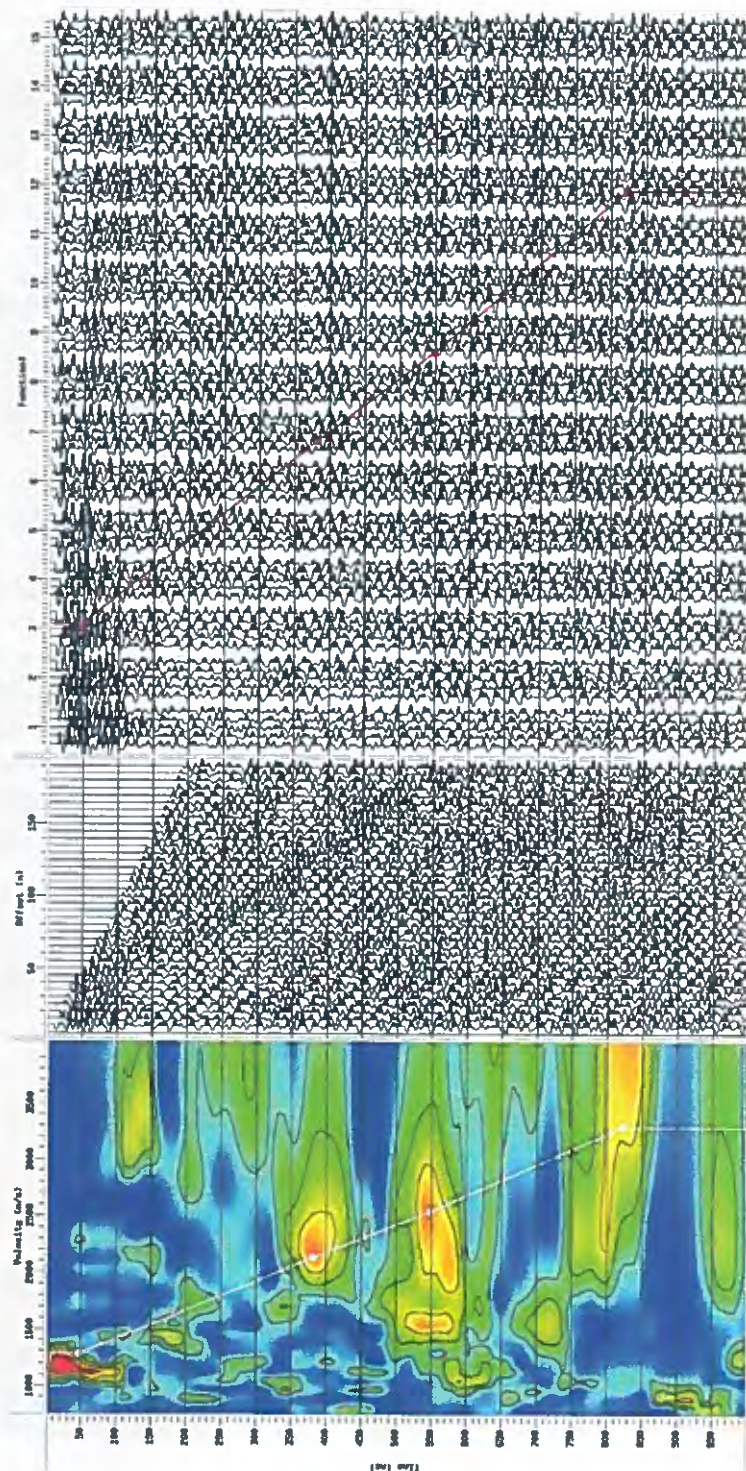


FIGURA 16 – Exemplo de análise de velocidade em um CMP da linha 4 onde pode-se ver a definição do campo de velocidades por meio de um semblance. Neste CMP o campo de velocidade de empilhamento definido foi: (50 ms – 1300 m/s; 380 ms – 2100 m/s; 550 ms – 2500 m/s; 820 ms – 3250 m/s).

8) INTERPRETAÇÕES DAS SEÇÕES GERADAS COM A FONTE AWD:

A seção AWD-01 foi processada a partir 30 famílias de tiro comum geradas com a fonte AWD, o processamento destes dados permitiu obter o campo de velocidades apresentado na Figura 17. O campo das velocidades de empilhamento mostra uma variação de velocidades de 1900 a 2400 m/s ao longo da vertical, e praticamente nenhuma variação lateral de velocidades. O que constitui um primeiro suporte para afirmar que não há exista uma grande estrutura isolada (vazio) nesta área, embora a análise e interpretação das seções empilhadas é que vai esclarecer de vez a existência, ou não, destas estruturas.

Analisando e interpretando a seção empilhada AWD-01, a qual é mostrada na figura 18, podemos ver **que existem refletores horizontais fortes e contínuos nos primeiros 200 ms** (refletores verde musgo, rosa e azul berilo), os quais correspondem a camadas dentro da Formação Sergi, **indicando de maneira segura que não existem estruturas que quebrem a estratificação destas camadas mais rasas, como falhas e vazios, até uma profundidade de 200 metros.** Os refletores nos tempos de 350, 420 e 480 ms (refletores verde escuro, rosa e laranja), são também contínuos e não apresentam descontinuidades associadas a deslocamentos verticais, difrações ou reflexões (em planos de falhas) que possam indicar a presença de falhas, que cortem a seção e venham a prejudicar e/ou perturbar estas camadas situadas dentro da Formação Aliança. Enfim, **abaixo da superfície, existe um pacote de camadas com no mínimo 400 a 500 metros de espessura que não apresentam evidências de cavernas ou falhamentos associados ao fenômeno do Sinkhole.**

Os refletores situados nos tempos de 690 e 740 ms, associados às camadas de anidrita (refletores azul claro e azul escuro) são descontínuos, principalmente o segundo refletor (azul escuro) que é muito descontínuos, sugerindo que existam descontinuidades na camada.

A seção AWD-02 foi processada a partir 44 famílias de tiro comum geradas com a fonte AWD, o processamento destes dados permitiu obter o campo de velocidades apresentado na Figura 19. O campo das velocidades de empilhamento obtido pelo processamento, também mostra uma variação de velocidades entre 1900 e 2400 m/s ao longo da vertical, e praticamente nenhuma variação lateral de velocidades. O que, novamente, nos permite afirmar que não existe uma grande estrutura isolada, seja um vazio ou um sistema de falhas nesta área. A interpretação da seções empilhada AWD-02 permitirá confirmar os indícios fornecidos pelo campo de velocidades, de que as camadas geológicas não foram perturbadas.

A seção AWD-02 é apresentada na Figura 20, onde verificamos a existência de refletores horizontais contínuos muito bem definidos, apresentando fortes amplitudes, na parte mais rasa de seção, até o tempo de 200 ms, o que nos permite interpretar a existência de um pacote não corrompido por vazios ou sistemas de falhas com espessura de 200 metros.

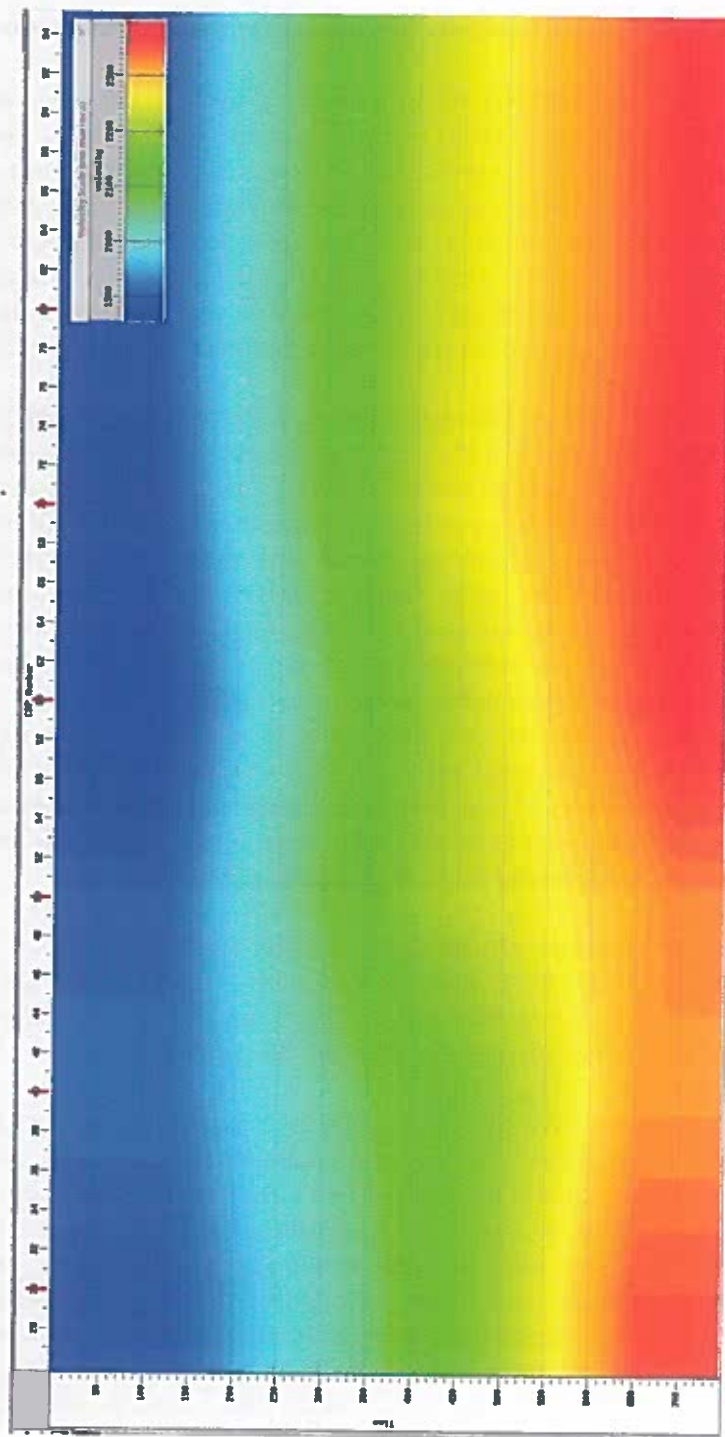


FIGURA 17 - O campo de velocidades de empilhamento resultante do processamento de 30 famílias de tiro comum, levantadas com a fonte AWD, mostra uma variação nas velocidades de 1900 a 2400 m/s ao longo da vertical, e praticamente nenhuma variação lateral de velocidades.

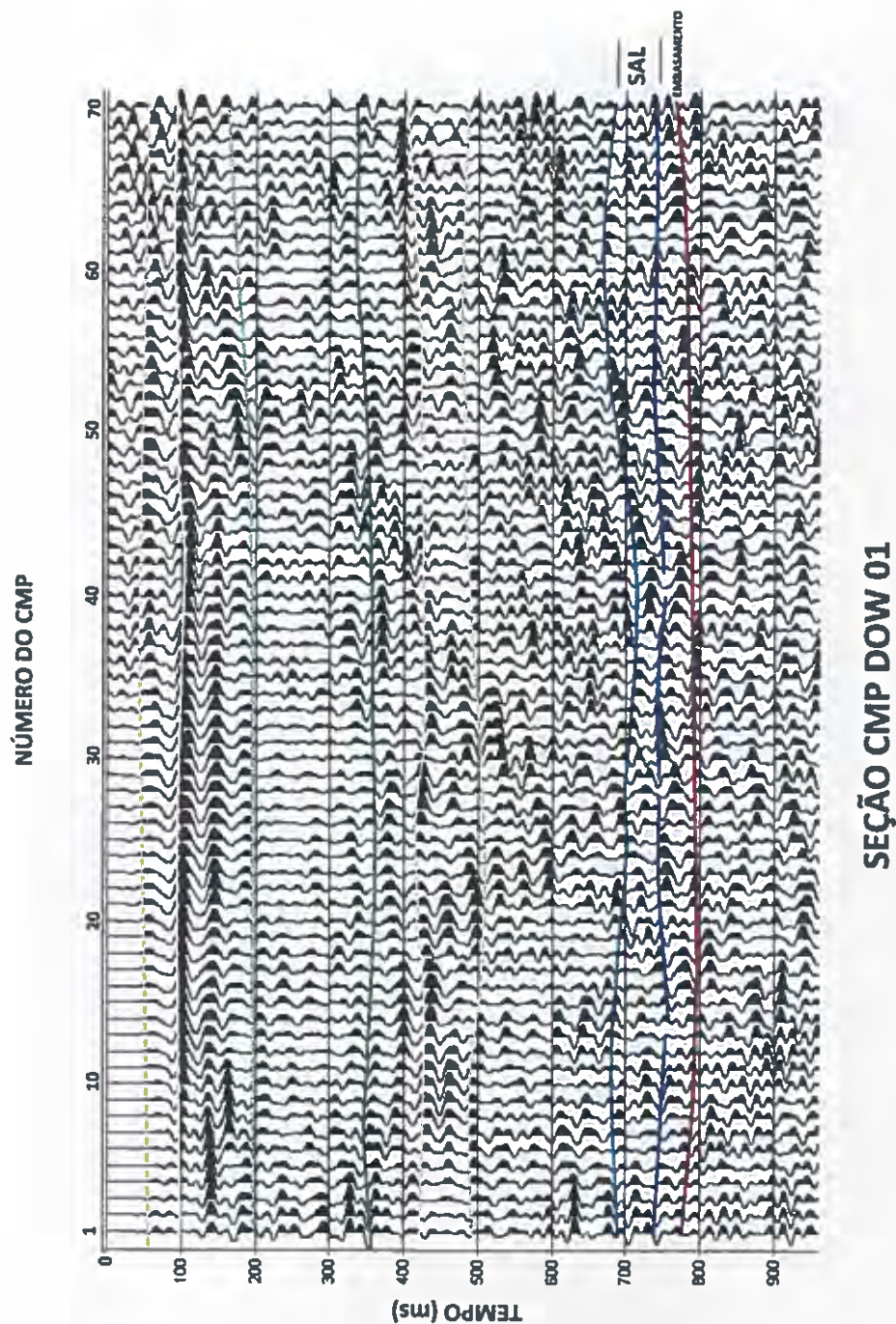


FIGURA 18 – Os refletores mais rasos, até o tempo de 200 ns, são contínuos e apresentam fortes amplitudes, indicando a presença de um pacote de camadas com 200 metros de espessura sem falhas ou vazios. Os refletores entre os tempos de 360, 420 e 480 ms também apresentam uma boa continuidade e não revelam rejeitos e/ou difrações, indicando um pacote de 500 metros de espessura sem processos de falhamentos ou formação de vazios.

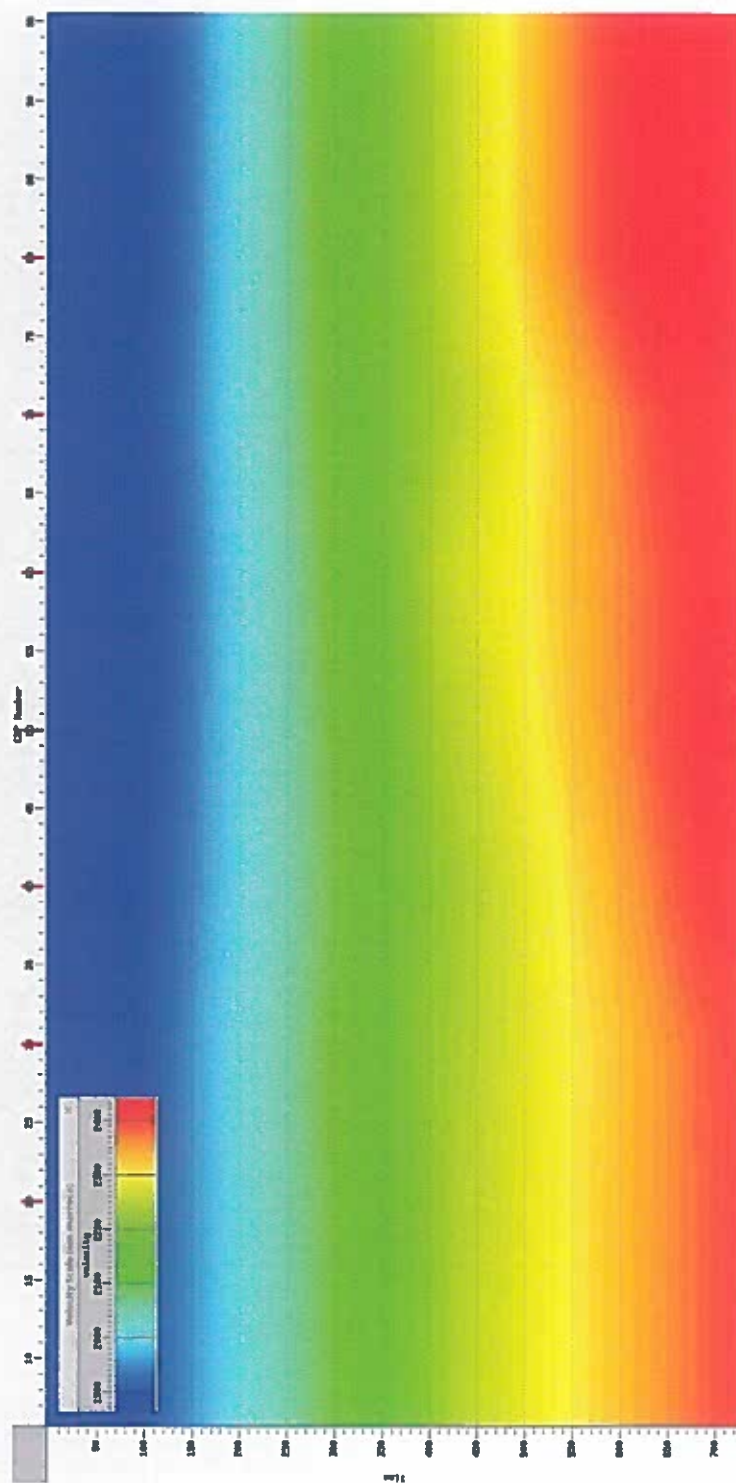


FIGURA 19 - O campo de velocidades de empilhamento resultante do processamento de 44 famílias de tiro comum, levantadas com a fonte AWD, mostra uma variação nas velocidades de 1900 a 2450 m/s ao longo da vertical, e praticamente nenhuma variação lateral de velocidades.

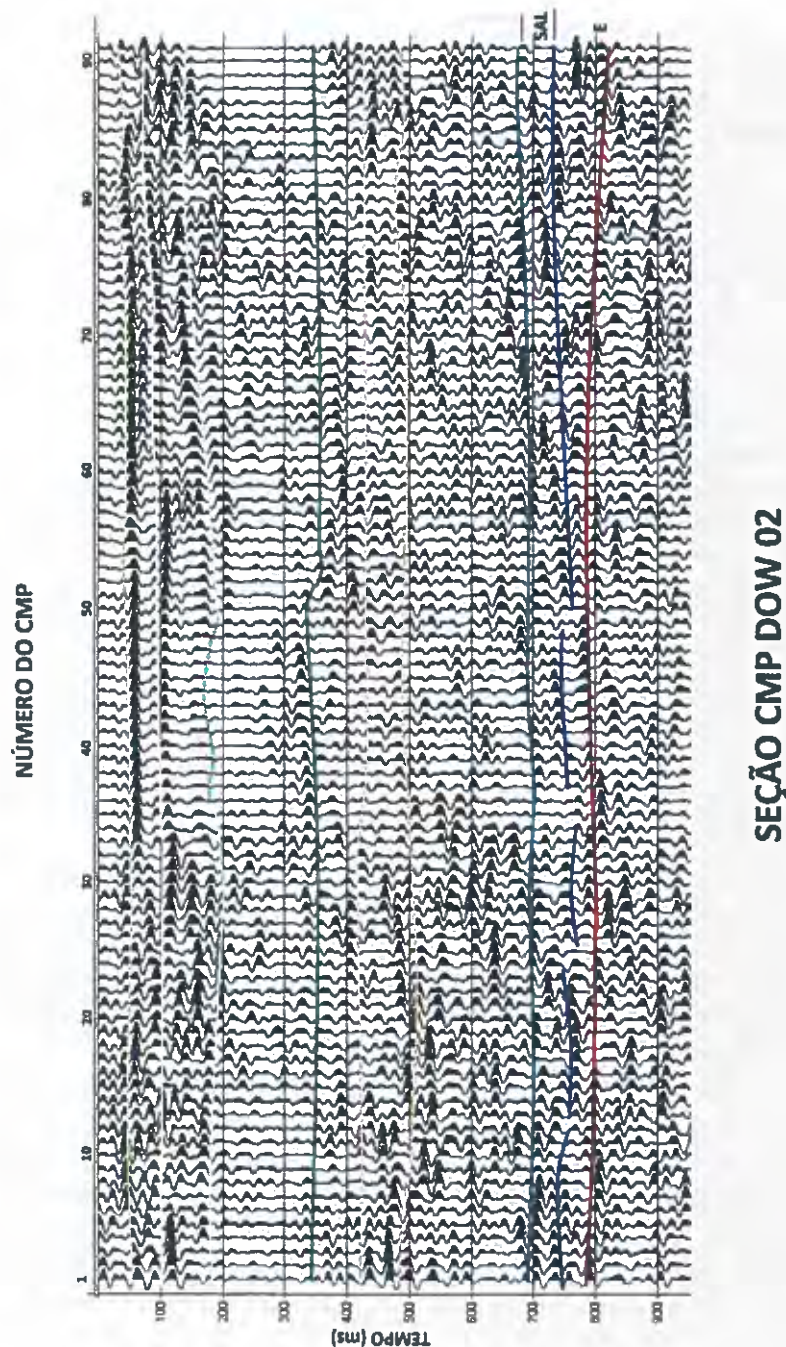


FIGURA 20 – Os refletores mais rasos, até o tempo de 200 ns, são contínuos e apresentam fortes amplitudes, indicando a presença de um pacote de camadas com 200 metros de espessura sem falhas ou vazios. Os refletores entre os tempos de 360, 420 e 480 ms também apresentam uma boa continuidade e não revelam rejeitos e/ou difrações, indicando um pacote de 500 metros de espessura sem processos de geração de falhas ou formação de vazios.

Estes refletores estão associados a camadas internas à Formação Sergi. O refletor situado no tempo 380 ms (verde escuro), provavelmente situado próximo ao Topo da Formação Aliança também apresenta uma boa continuidade, e nos faz estender a espessura deste pacote superficial para 400 metros de espessura.

Não há indicação de cavernas ou sequência de falhas que cortem o pacote sedimentar ao longo da seção sísmica AWD-02, somente ao nível da camada de sal é que vemos o refletor em 690 ms (azul escuro) apresentando nítidas descontinuidades, que podem estar associadas a vazios dentro da camada de sal.

A seção AWD-03, levantada na área administrativa da DOW Brasil, é apresentada na Figura 21, a qual foi levantada por meio de trinta e oito (38) famílias de tiro comum. A seção empilhada mostra a existência de refletores horizontais contínuo em sua parte mais rasa, até o tempo de 200 ms. Os refletores não apresentam amplitudes fortes, porém são contínuos, o que ainda nos permite interpretar a existência de um pacote superficial não corrompido por vazios, estima-se em 200 metros a espessura deste pacote. Estes refletores superficiais estão associados a camadas internas da Formação Sergi. O refletor situado no tempo 380 ms (verde escuro), provavelmente está próximo ao Topo da Formação Aliança, também apresenta uma boa continuidade, embora se possa perceber nele uma pequena descontinuidade, não existem interrupções bruscas e nem fortes difrações associadas a refletores irregulares, que revelem a presença de uma caverna a este nível de aproximadamente 400 m de profundidade.

Os refletores nos tempos de 350 e 420 ms (refletores verde escuro e rosa), são também contínuos, porém apresentam uma descontinuidade associadas a provável plano de falha nestas camadas situadas dentro da Formação Aliança. A despeito desta descontinuidade, não encontramos indícios da presença de zonas de falhas subverticais ou cavernas que possam inferir a formação de *sinkholes*. Os refletores situados nos tempos de 690 e 740 ms, associados às camadas de anidrita (refletores azul claro e azul escuro) são descontínuos, principalmente o segundo refletor (azul escuro) que é muito descontínuo. Associados a estas descontinuidades no pacote de sal, existem indícios de falhas (linhas laranjas) cortando o pacote acima do nível do sal, (vide Figura 21).

A seção AWD-04 foi levantada por meio de quarenta e quatro (44) famílias de tiro comum levantadas ao longo da estrada de terra que dá acesso à base da barragem. Vide a Figura 11. A figura 22 mostra o campo de velocidades obtidos para a Linha 04, a partir de sete (7) *semblances*, tais quais o mostrado na figura 16. Os traços vermelhos no topo do campo de velocidades da linha 04, mostrada na figura 22, indicam a posição das sete análises de velocidade. Interpretando os refletores da seção empilhada obtida para a linha 04, a AWD-04, mostrada na figura 23, verificamos que tal como nas seções AWD-01 e AWD-02 os refletores mais superficiais, horizontais e contínuos, com forte amplitudes, até 200 ms, mostram um piso não perturbado por falhas ou presença de vazios. As informações obtidas são análogas às das linhas AWD-01 e AWD-02. Vide as Figuras 18 e 20.

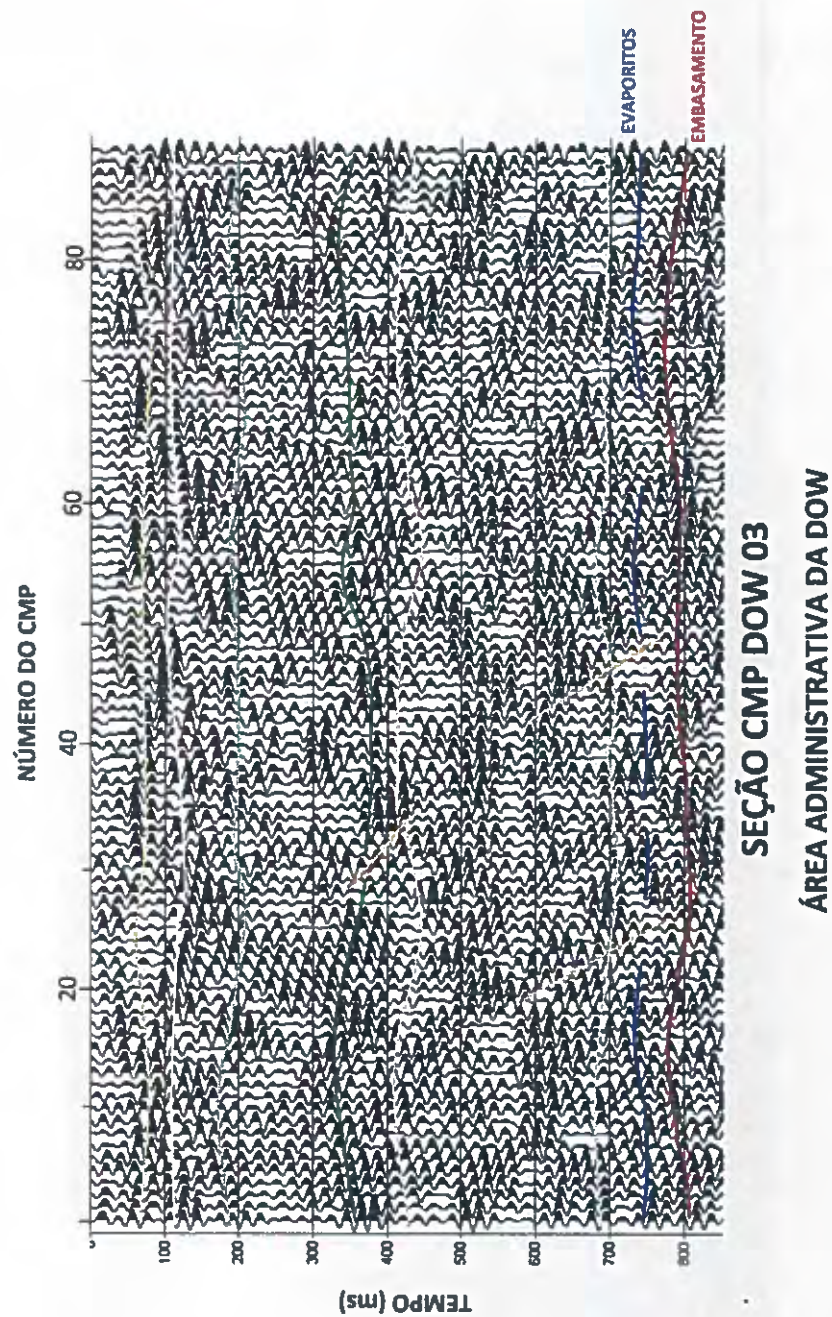


FIGURA 21 – Os refletores mais rasos, até o tempo de 200 ns são contínuos e os refletores nos tempos de 360 e 420 ms também apresentam uma boa continuidade, apresentando uma única suspeita de falha. Os refletores correspondentes ao topo e base da halita (azul claro e escuro) é que apresentam descontinuidades e sugerem estar associados à falhas (linhas laranjas).

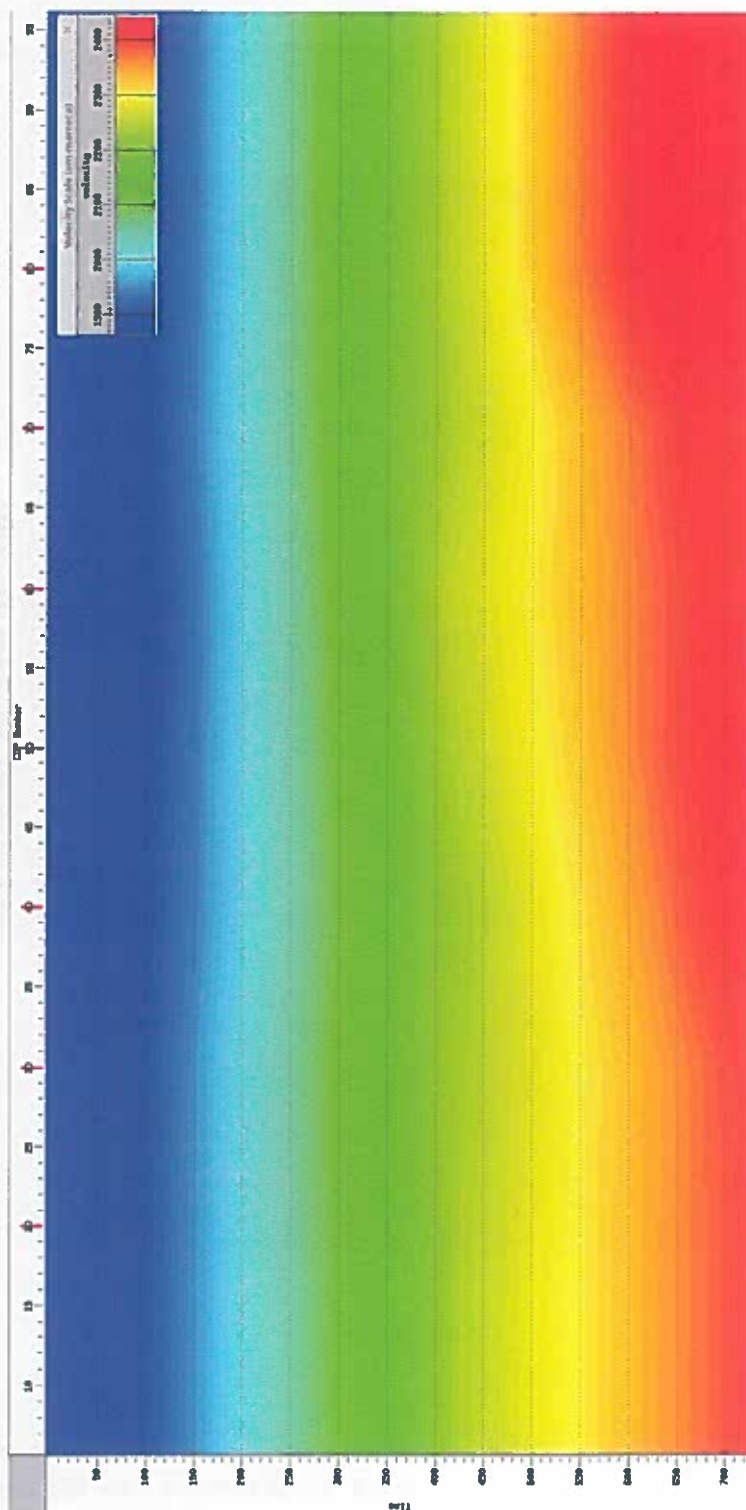
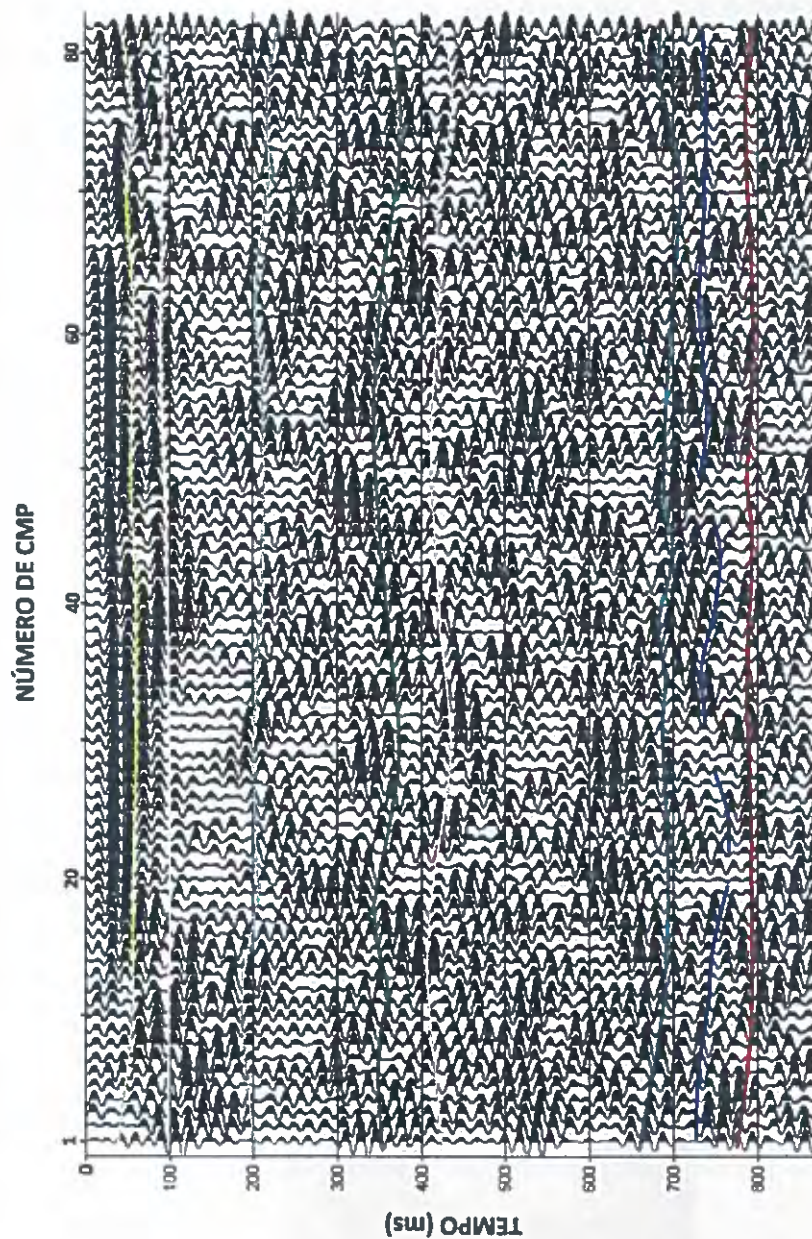


FIGURA 22 - O campo de velocidades de empilhamento da seção AWD-04, resultante do processamento de 44 famílias de tiro comum, levantadas com a fonte AWD, mostra uma variação nas velocidades de 1850 a 2450 m/s ao longo da vertical, e praticamente nenhuma variação lateral de velocidades.



SEÇÃO CMP DOW 04
ESTRADA DE ACESSO A BASE DA BARRAGEM

FIGURA 23 – *Os refletores mais rasos, até o tempo de 200 ms são contínuos e os refletores nos tempos de 360 e 420 ms também apresentam uma boa continuidade. Os refletores correspondentes ao topo e base da halita (azul claro e escuro) apresentam descontinuidades e podem estar associados à falhas.*

9) O SISTEMA SERCEL DE AQUISIÇÃO SÍSMICA:

Em uma tentativa de aumentar a razão sinal ruído e obter seções sísmicas mais nítidas aumentou-se o número de geofones e empregamos um sísmógrafo modelo 428 Lite fabricado pela Sercel. A aquisição dos dados sísmicos da Linha 05 foi realizada na Rua Porto do Artur, na Vila de Matarandiba, empregando estes novos recursos. A figura 12 mostra a aquisição na citada rua em uma noite chuvosa, a figura 24 mostra o arranjo de seis geofones que registram em um mesmo ponto e terão seus registros somados para gerar um único traço sísmico para o ponto (não mais usando um único geofone). A figura 25 mostra o sísmógrafo 428 Lite utilizado no levantamento desta linha.



FIGURA 24 – Arranjo de seis (6) geofones para detectar os sinais refletidos provenientes da subsuperfície e gerar um único traço sísmico.



FIGURA 25 – Sísmógrafo Sercel 428 Lite conectado à caixa (azul abaixo) que recebe a alimentação da bateria, se conectando com os geofones por meio de cabos, a um GPS, a um computador, e a um sistema telemétrico RTM que comunica a fonte ao sísmógrafo.

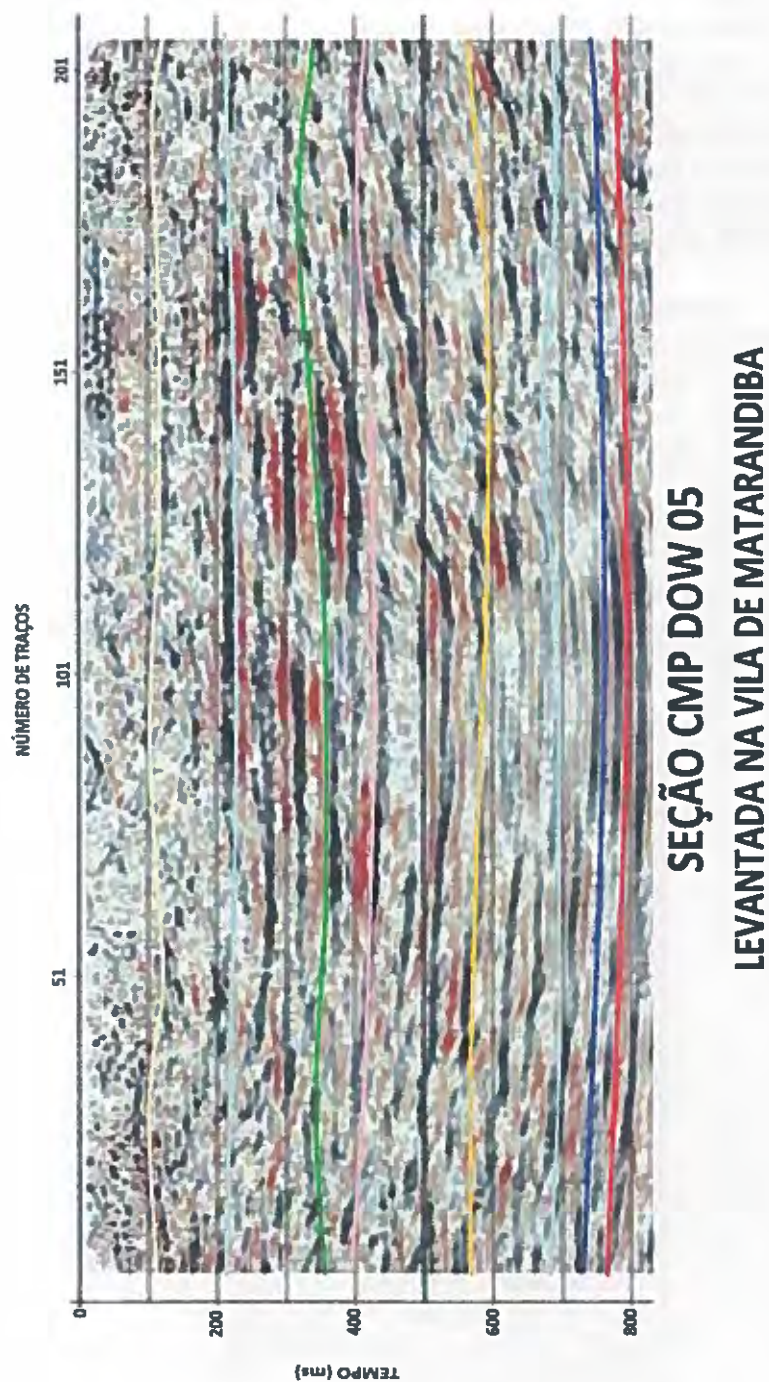


FIGURA 26 – O refletor no tempo de 200 ms é contínuo e revela uma superfície horizontal indicando uma interface não perturbada na profundidade de 250 metros, este comportamento se repete até a profundidade de aproximadamente 800 metros (refletor rosa em torno de 600 ms).

A geração da Seção AWD 05 (vide a figura 26) necessitou o emprego de mais geofones, num total de trezentos (300), os quais junto com duas caixas de conexão e cabos foram alugados na cidade de Carmópolis (SE). Vide a figura 27. Associado a maior quantidade de geofones utilizou-se um sismógrafo apropriado para prospecção de petróleo, o 428 Lite, fabricado pela Sercel. Na etapa de processamento, além das etapas apresentadas no fluxograma, realizou-se ainda a interpolação dos traços de modo a quadruplicar seu número e apresentar a seção AWD 05 em imagem do tipo *variable density* e não mais no formato *Wigle variable área*, como as seções anteriores. Vide a figura 26.

Interpretando a seção AWD 05 observamos que os eventos mais rasos, como o refletor no tempo de 200 ms é contínuo e revela uma superfície horizontal, indicando uma interface não perturbada na profundidade de 250 metros. Este comportamento se repete até a profundidade de aproximadamente 800 metros (refletor laranja em torno de 600 ms). Existe uma descontinuidade local, entre os traços 115 e 145, entre os tempos de 400 e 600 ms, que pode tratar-se de dobras associadas à falha. Entretanto, não se trata de uma descontinuidade sub vertical que corte todo o pacote e nem de um grande vazio, pois não há difrações associadas a fortes refletores irregulares. Para finalizar, a camada de sal, compreendida entre refletores azuis claro e escuro se apresenta contínua e sem irregularidades. Podemos concluir que não há estruturas que possam vir a gerar um sinkhole.



FIGURA 27 – Conjunto de cabos e geofones necessários ao levantamento da seção AWD 05 com o posicionamento de seis (6) geofones em cada ponto de registro dos dados.

10) CONCLUSÕES:

Este relatório trata da investigação com sísmica de reflexão empregando a fonte AWD na Ilha de Matarandiba com o objetivo de detectar feições geológicas que possam vir a gerar outros sinkholes. Esta fonte sísmica (AWD) permitiu investigar até o nível do embasamento, já abaixo da camada de sal. Interpretando as seções empilhadas AWD-01, AWD-02, AWD-03, AWD-04 e AWD-05 podemos tirar as seguintes conclusões:

- (a) Os campos de velocidades de empilhamento obtidos pelo processamento CDP (CMP) dos registros sísmicos, tanto da linha AWD-01 como da AWD-02, AWD-03 e AWD -04 mostram uma variação de velocidades de 1900 a 2400 (2500) m/s ao longo da vertical, e praticamente nenhuma variação lateral de velocidades. O que nos dá um primeiro suporte para afirmar que não existem grandes estruturas isoladas (vazios) nesta área.
- (b) As três (3) seções AWD-01, AWD-02 e AWD-04 apresentam refletores horizontais fortes e contínuos nos primeiros 200 ms (refletores verde musgo, rosa e verde berilo), os quais correspondem a camadas dentro da Formação Sergi, **indicando de maneira segura que não existem vazios até 200 metros de profundidade.** Não há quebra nas continuidades dos planos de acamamentos (refletores horizontais)
- (c) Os refletores dos tempos de 350 e 420 ms (verde escuro e rosa), associados a base da Formação Sergi e Topo do Aliança, são também contínuos e, embora na seção AWD-03 tenha-se encontrado uma descontinuidade associado a um falhamento, não encontramos feições a presença de refletores irregulares com fortes amplitudes, fortes difrações ou mesmo apagões que possam evidenciar a presença de outros sinkholes. Enfim, abaixo da superfície, **existe um pacote de camadas, com 1000 m de espessura, que não apresentam evidências de cavernas ou falhamentos associados ao fenômeno do Sinkhole.**
- (d) Ao nível da camada de sal, encontramos o refletor em 690 ms (azul escuro), correspondente à base da camada de sal, apresentando nítidas descontinuidades, indicando mudanças dentro na camada de sal (cavernas), as quais estão também associados à falhas, como pode ser visto na seção AWD-03, mostrada na figura 21.
- (e) A seção AWD-05 mostra que os refletores até a profundidade de aproximadamente 800 metros (refletor laranja em torno de 600 ms) são contínuos e revelam estratificações horizontais indicando não haver perturbações (sequência de falhas ou vazios).

(f) A camada de sal na linha AWD 05, compreendida entre refletores azuis claro e escuro, ao contrário das outras áreas, se apresenta contínua e sem irregularidades.

(g) Na seção AWD 05 existe uma descontinuidade local, entre os traços 115 e 145, entre os tempos de 400 e 600 ms, que pode tratar-se de dobras associadas à falha. Entretanto, não se trata de uma descontinuidade sub vertical que corte todo o pacote e nem de um grande vazio, pois não há difrações associadas a fortes refletores irregulares

Finalmente, as seções empilhadas geradas nesta pesquisa **NÃO REVELAM A PRESENÇA de cavernas ou estruturas intensamente fraturadas** sub verticais que revelem a presença e/ou um adiantado processo de formação de um novo *sinkhole*.

Dr. Marco Antônio Barsottelli Botelho

Geólogo e Doutor em Geofísica

Responsável Técnico

(71) 99326-8848

- (f) A camada de sal na linha AWD 05, compreendida entre refletores azuis claro e escuro, ao contrário das outras áreas, se apresenta contínua e sem irregularidades.
- (g) Na seção AWD 05 existe uma descontinuidade local, entre os traços 115 e 145, entre os tempos de 400 e 600 ms, que pode tratar-se de dobras associadas à falha. Entretanto, não se trata de uma descontinuidade sub vertical que corte todo o pacote e nem de um grande vazio, pois não há difrações associadas a fortes refletores irregulares

Finalmente, as seções empilhadas geradas nesta pesquisa **NÃO REVELAM A PRESENÇA** de cavernas ou estruturas intensamente fraturadas sub verticais que revelem a presença e/ou um adiantado processo de formação de um novo *sinkhole*.



Dr. Marco Antonio Barsottelli Botelho

Geólogo e Doutor em Geofísica

Responsável Técnico

(71) 99326-8848



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-BA

ART OBRA / SERVIÇO
Nº BA20180204709

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia

INICIAL

1. Responsável Técnico

MARCO ANTONIO BARSOTTELLI BOTELHO
Título profissional: GEÓLOGO

RNP: 0508562716
Registro: 34273/D

2. Contratante

Contratante: DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA
FAZENDA CABOTO GUARA

CPF/CNPJ: 60.436.351/0019-86
Nº:

Complemento

Bairro: MATARANDIBA

Cidade: VERA CRUZ

UF: BA

CEP: 44470000

País: Brasil

Telefone: (71) 99987-0027

Email: mlobao@dow.com

Contrato: Não especificado

Celebrado em

Valor: R\$ 70.000,00

Tipo de contratante: PESSOA JURIDICA DE DIREITO PRIVADO

Ação Institucional: NENHUMA - NAO OPTANTE

3. Dados da Obra/Serviço

Proprietário: DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA
FAZENDA CABOTO GUARA

CPF/CNPJ: 60.436.351/0019-86
Nº: s/n

Complemento

Bairro: MATARANDIBA

Cidade: VERA CRUZ

UF: BA

CEP: 44470000

Telefone: (71) 99987-0027

Email: mlobao@dow.com

Coordenadas Geográficas: Latitude: 0 Longitude: 0

Data de Início: 07/12/2018

Previsão de término: 31/12/2019

Finalidade: Industrial

4. Atividade Técnica

4 - Consultoria

Quantidade

Unidade

43 - Consultoria > CREA-BA-1025 -> GEOLOGIA - INDUSTRIAS EXTRATIVAS -> MINERAÇÃO ->
#415 - SERVICOS AFINS E CORRELATOS EM MINERACAO

70,00

hh

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

Investigação da subsuperfície com sondagens geofísicas, empregando os métodos do GPR (Radar de Penetração no Solo). Elaboreisbncidade e Sísmica de Reflexão

6. Declarações

- Declaro que estou cumprindo as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5266/2004

7. Entidade da Classe

NENHUMA - NAO OPTANTE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

MARCO ANTONIO BARSOTTELLI BOTELHO - CPF: 088.781.252-34

Local

Cidade

MARCO ANTONIO BARSOTTELLI BOTELHO
DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA -
CNPJ: 60.436.351/0019-86

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea

10. Valor

Valor da ART: R\$ 218,54 Registrada em: 10/12/2018 Valor pago: R\$ 218,54 Nosso Número: 49295454

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <http://crea.ba.sic.com.br/publico/> com a chave: a3a1c
Impresso em: 10/12/2018 às 11:14:14 por: id: 18759203141

www.crea.ba.org.br
Tel: (71) 3453-8960

crea.ba@crea.ba.org.br
Fax: (71) 3453-8686

CREA-BA
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia





DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM
Superintendência - BA 15.29.21 - 27/03/2019

Juntada: 48407-001072/2019 - 46
Processo: 972518/2018
NUP: 0009707.00021675/2019-48

Candeias, 27 de março de 2019

Assunto: PRORROGAÇÃO DE PRAZO PARA NOTIFICAÇÃO 15/2018



48407-001072/2019 - 46

Ao

Ilustríssima Senhora

Cláudia Martinez Maia

Gerente Regional da Agência da ANM/Bahia

Avenida Ulisses Guimarães, 650 - Centro Administrativo, Área Federal

CEP 41.213-000 - Salvador, Bahia.

Ref.: Notificação 15/2018 - PMM/CMOS - ANM/BA e Ofício 2.836/2018

Processo / DNPM n.º 48407 - 972.516/2018 - 49

Processo Concessão de Lavra ANM n.º 000.648/1967

Senhora Gerente,

DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. ("Dow"), pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o nº 60.435.351/0001-57, titular do processo minerário em referência ("Direito Minerário"), vem, em razão da Notificação nº 15/2018 – PMM/CMOS e Ofício n.º 2.836/2018 ("Documentos"), expor e requerer o que se segue:

1. O Direito Minerário foi objeto de vistoria realizada em 13/06/2018 em ação conjunta da Gerência Regional da Agência Nacional de Mineração do Estado da Bahia ("ANM/BA"), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais ("CPRM"), Defesa Civil do Estado da Bahia ("SUDEC") e Coordenação de Fiscalização e Licenciamento Ambiental da Prefeitura de Vera Cruz para apresentar as respostas e informações técnicas solicitadas pela ANM/BA, em observância aos prazos especificados nos Documentos.
2. A Notificação nº 15/2018 enumera, em itens "1" a "13", as informações, documentos e providências a serem adotadas pela Dow para fins de cumprimento das determinações da ANM/BA e o Ofício n.º 2.836/2018 reitera parte dos pedidos já formulados na Notificação nº 15/2018 ("Anexo 1").



3. A Dow já satisfaz parte das exigências formuladas pela ANM/BA após o recebimento dos Documentos.
4. Para fins de cumprimento dos itens 04, 05 e 11 da Notificação nº 15/2018, reiterados no Ofício nº 2.836/2018, a Dow vem informar que, apesar de estar adotando todas as providências para atender às exigências da ANM, será necessário tomar medidas adicionais, as quais dependem de fatores alheios à Dow, para que as referidas exigências sejam satisfeitas.
5. Especificamente, a realização de atividades de perfuração com observância aos requisitos técnicos aptos a atender aos padrões de qualidade e segurança da operação que são esperados pela Dow demandará mais tempo do que o fornecido pela ANM/BA, visto que a contratação de empresas especializadas neste serviço no Brasil depende da disponibilidade de maquinário adequado. No entanto, as empresas nacionais contatadas pela Dow não têm disponibilidade para executar os serviços em atenção ao prazo da ANM/BA.
6. Como alternativa, a Dow optou por contratar os serviços de sonda de perfuração do exterior, o que demandará a importação da sonda. Essa medida demorará um prazo de tempo maior do que o estabelecido pela ANM/BA para satisfação das exigências em razão da demora com a própria contratação do maquinário e, ainda, com as providências necessárias para o desembaraço do equipamento.
7. Além disso, a execução da perfuração demanda a realização de serviços de terraplanagem para que a instalação de sonda de perfuração seja realizada de forma segura. Essa etapa está programada para ser realizada durante o período chuvoso, o que poderá impactar o prazo de conclusão dos trabalhos.
8. Por essas razões, o cronograma dos trabalhos a serem realizados pela Dow foi revisto, de forma que os seus prazos sejam aderentes à realidade da execução de cada uma das etapas que serão necessárias para que as exigências da ANM/BA sejam satisfatoriamente cumpridas, observando-se os padrões técnicos, de segurança e qualidade, além dos custos a serem suportados pela Dow com as medidas a serem tomadas. O cronograma passível de ser cumprido pela Dow é o seguinte:



1. Entrega dos estudos geofísicos, a serem realizados mediante o emprego de técnica de reflexão sísmica profunda pelo uso de equipamento denominado "Fonte AWD com sistema de acionamento hidráulico", atingindo em torno de 1200m de profundidade na área das instalações administrativas, barragem e cercanias do local onde ocorreu a erosão (*sinkhole*) e na área da comunidade de Matarandiba. Previsão de conclusão: maio/2019;
 2. Entrega dos estudos de possíveis causas naturais para a erosão (*sinkhole*). Previsão de conclusão: outubro/2019;
 3. Entrega dos resultados da análise geomecânica com parâmetros reais do solo e subsolo, obtidos através da amostragem realizada durante as atividades de perfuração. Previsão de conclusão: abril/2020.
9. Diante desse cenário, a Dow apresenta pedido tempestivo de prorrogação de prazo das exigências formuladas pela ANM/BA nos Documentos para compreender os prazos sugeridos acima.

Termos em que,
Pede deferimento.

Salvador/BA, 27 de março de 2019.

DIEGO ARANGO
Diretor Industrial e Representante Legal

SUPERINTENDÊNCIA DNPM/BA**NOTIFICAÇÃO N.º 15/2018 – PMM/CMOS – ANM/BA****Processo/DNPM: 000.648/1967****Empresa: DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA****Município: Vera Cruz UF: BA****Substancial: SAL-GEMA****Data da Vistoria: 13/06/2018.**

Tendo em vista vistoria realizada na área correspondente ao processo epigrafoado, em operação conjunta com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Proteção e Defesa Civil do Estado (SUDEC) e Coordenação de Fiscalização e Licenciamento Ambiental da Prefeitura de Vera Cruz, fica esta empresa **NOTIFICADA**, dentro dos prazos estabelecidos, a cumprir as notificações relacionadas, sob pena das sanções previstas no Código de Mineração e Legislações Complementares:

1. Interditar o acesso de toda a área no mínimo a uma faixa de distância de 150 metros no eixo maior da erosão e outra faixa de 50 metros no seu eixo transversal, com cercas físicas e vigilância efetiva, com sinalização de advertência em toda área. Atendimento imediato;
2. Apresentar o mapa georreferenciado de todos os poços perfurados, ativos e inativos, com seus respectivos perfis litológicos, incluindo seus dados cronológicos e dados de produção. Neste mapa considerar, dentre outros, a localização da planta de beneficiamento da empresa e da Vila de Matarandiba. Atendimento em 60 dias;
3. Apresentar mapa georreferenciado de toda a área explotada (as inativas) e em explotação (ativas), considerando a localização do empreendimento e da vila de Matarandiba. Atendimento em 30 dias;
4. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliar as causas da erosão verificada na vistoria com suas devidas conclusões. Atendimento 90 dias;
5. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliação de riscos na área de ocupação humana da vila de Matarandiba. Atendimento 90 dias;
6. Apresentar os dados das intervenções antrópicas realizadas pelo empreendimento mineiro, com ênfase nas lagoas e barragens. Atendimento em 60 dias;
7. Apresentar um plano de ação para avaliação detalhada das causas que originaram a erosão observada na vistoria. Atendimento em 30;
8. Apresentar, com os respectivos laudos, o estudo de modelagem da estabilização dos maciços da área colapsada. Atendimento em 30 dias;
9. Implementar programa de monitoramento relativo à estabilidade dos maciços, envolvendo as áreas do empreendimento e da vila de Matarandiba;
10. Implementar programa de comunicação e conscientização de riscos junto a comunidade da vila de Matarandiba. Atendimento imediato;
11. Elaborar mapa de risco após a conclusão de estudos a serem realizados;
12. Permitir o acesso e colaborar com o fornecimento de dados e cooperação técnica à equipe de estudo independente liderada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM;
13. Atender, de acordo com o caso específico, todas as normas reguladoras de mineração relativas às NRM 05;

DNPM


Departamento Nacional de Produção Mineral

Ministério de Minas e Energia

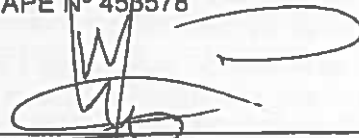


NOTA IMPORTANTE: O cumprimento das exigências descritas acima deve ser protocolizado na SUPERINTENDÊNCIA ANM/BA, parecer do técnico responsável e documentação fotográfica (se for o caso), no prazo acima estabelecido, **sob pena das sanções previstas no Código de Mineração – C.M. (Decreto Nº 227/1967), Regulamento do Código de Mineração – R.C.M. (Decreto Nº 69.234/1968) e Legislações Complementares.**

Técnico (s) responsável (is) pela vistoria:



Paulo Magno da Matta
Geólogo ANM/BA
SIAPE Nº 453578



Carlos Magno Oliveira Silva
Técnico em Recursos Minerais ANM/BA
SIAPE Nº 1530559

Estou de pleno acordo com as Condições acima citadas e assumo de imediato o compromisso de tomar as providências supracitadas.

Ciente, em 19 de junho de 2018

Representante da Empresa:



Fabricio da Cruz Martines

**DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE
PRODUTOS QUIMICOS LTDA**
RG 2573746-X



Departamento Nacional de Produção Mineral

Ministério de Minas e Energia

OFÍCIO n.º 2.836/2018,

Salvador, 14/10/2018

REF.: DNPM n.º 972.516/2018

Do Superintendente do DNPM/BA

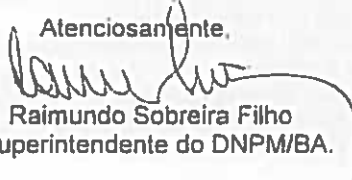
Assunto: reiteração das notificações n. 15/2018 – PMM/CMOS – ANM/BA

A Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda

Visando instruir melhor a análise dos autos referentes ao cumprimento das notificações formuladas em referência, efetivadas após vistoria conjunta ocorrida no dia 13/06/2018 na área atingida pela erosão, na planta de beneficiamento da empresa titular e na comunidade da vila de Matarandiba, se ver necessário reiterar o cumprimento das notificações citadas abaixo no prazo de 120 dias, sob pena de aplicação das sanções previstas em lei:

- Retificar a implementação da interdição do acesso à cratera mantendo a faixa de 30 metros no sentido transversal ao eixo da cratera, porém, ampliando a faixa no sentido longitudinal ao eixo da cratera para 60 metros. Apresentar planta com imagem em escala detalhada indicando essa retificação;
- Reiterar as notificações de números 4, 5, 8 e 11, prorrogando seu prazo para mais cento e vinte (120) dias, quando deverão ser apresentados os estudos geofísicos com seus respectivos laudos, indicando a causa do abatimento do maciço, acompanhado de uma avaliação de riscos para a região, envolvendo a vila de Matarandiba e a sede da empresa, além do estudo de modelagem da estabilização dos maciços da área colapsada;
- Apresentar em mapa gerreferenciado dos furos de sonda para captação de água subterrânea utilizada no processo de extração mineral (dissolução subterrânea), além dos seus respectivos perfis litológicos;
- Apresentar anotação de responsabilidade técnica (ART) pelos trabalhos técnicos apresentados e pelos trabalhos pendentes de apresentação quando esses forem protocolados no DNPM/ANM, de forma que haja um responsável técnico legalmente habilitado para responder todas as questões levantadas pelo DNPM/ANM e demais instituições de controle.

Atenciosamente,


Raimundo Sobreira Filho
Superintendente do DNPM/BA.

Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda
Avenida das Nações Unidas, - 14171,
Condomínio Rochavera, Edifício Diamond Tower
Santo Amaro
4794000 - SÃO PAULO/SP

Avenida Ulisses Guimarães, 650 - Centro Administrativo, Área Federal - CEP 41.213-000 - Salvador, Bahia
Fone (071) 3444-5500; Fax (071) 3444-5540 - <http://www.dnpm.gov.br>

RECEBUE



SUPERINTENDÊNCIA DNPM/BA

NOTIFICAÇÃO N.º 15/2018 – PMM/CMOS – ANM/BA

Processo/DNPM: 000.640/1967

Empresa: DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA

Município: Vera Cruz UF: BA

Substância: SAL-GEMA

Data da Vistoria: 13/03/2018.

Tendo em vista vistoria realizada na área correspondente ao processo epígrafado, em operação conjunta com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Proteção e Defesa Civil do Estado (SUDEC) e Coordenação de Fiscalização e Licenciamento Ambiental da Prefeitura de Vera Cruz, fica esta empresa NOTIFICADA, dentro dos prazos estabelecidos, a cumprir as notificações relacionadas, sob pena das sanções previstas no Código de Mineração e Legislações Complementares:

1. Interditar o acesso de toda a área no mínimo a uma faixa de distância de 150 metros no eixo maior da erosão e outra faixa de 50 metros no seu eixo transversal, com cercas físicas e vigilância efetiva, com sinalização de advertência em toda área. Atendimento imediato;
2. Apresentar o mapa georreferenciado de todos os poços perfurados, ativos e inativos, com seus respectivos perfis litológicos, incluindo seus dados cronológicos e dados de produção. Neste mapa considerar, dentre outros, a localização da planta de beneficiamento da empresa e da Vila de Matarandiba. Atendimento em 60 dias;
3. Apresentar mapa georreferenciado de toda a área explorada (as inativas) e em exploração (ativas), considerando a localização do empreendimento e da vila de Matarandiba. Atendimento em 30 dias;
4. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliar as causas da erosão verificada na vistoria com suas devidas conclusões. Atendimento 90 dias;
5. Apresentar os estudos geofísicos e seus respectivos laudos para avaliação de riscos na área de ocupação humana da vila de Matarandiba. Atendimento 90 dias;
6. Apresentar os dados das intervenções antrópicas realizadas pelo empreendimento mineiro, com ênfase nas lagoas e barragens. Atendimento em 60 dias;
7. Apresentar um plano de ação para avaliação detalhada das causas que originaram a erosão observada na vistoria. Atendimento em 30;
8. Apresentar, com os respectivos laudos, o estudo de modelagem da estabilização dos maciços da área colapsada. Atendimento em 30 dias;
9. Implementar programa de monitoramento relativo à estabilidade dos maciços, envolvendo as áreas do empreendimento e da vila de Matarandiba;
10. Implementar programa de comunicação e conscientização de riscos junto a comunidade da vila de Matarandiba. Atendimento imediato;
11. Elaborar mapa de risco após a conclusão de estudos a serem realizados;
12. Permitir o acesso e colaborar com o fornecimento de dados e cooperação técnica à equipe de estudo independente liderada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM;
13. Atender, de acordo com o caso específico, todas as normas reguladoras de mineração relativas às NRM 05;

| | | |
|---|------|----------------------------|
| Correios REGISTRADO URGENTE <i>registered priority</i> | | PESO (kg) <i>weight</i> |
| Recebido | AR | MP |
| Assinatura | Doc. | |

JT 79844107 4 BR



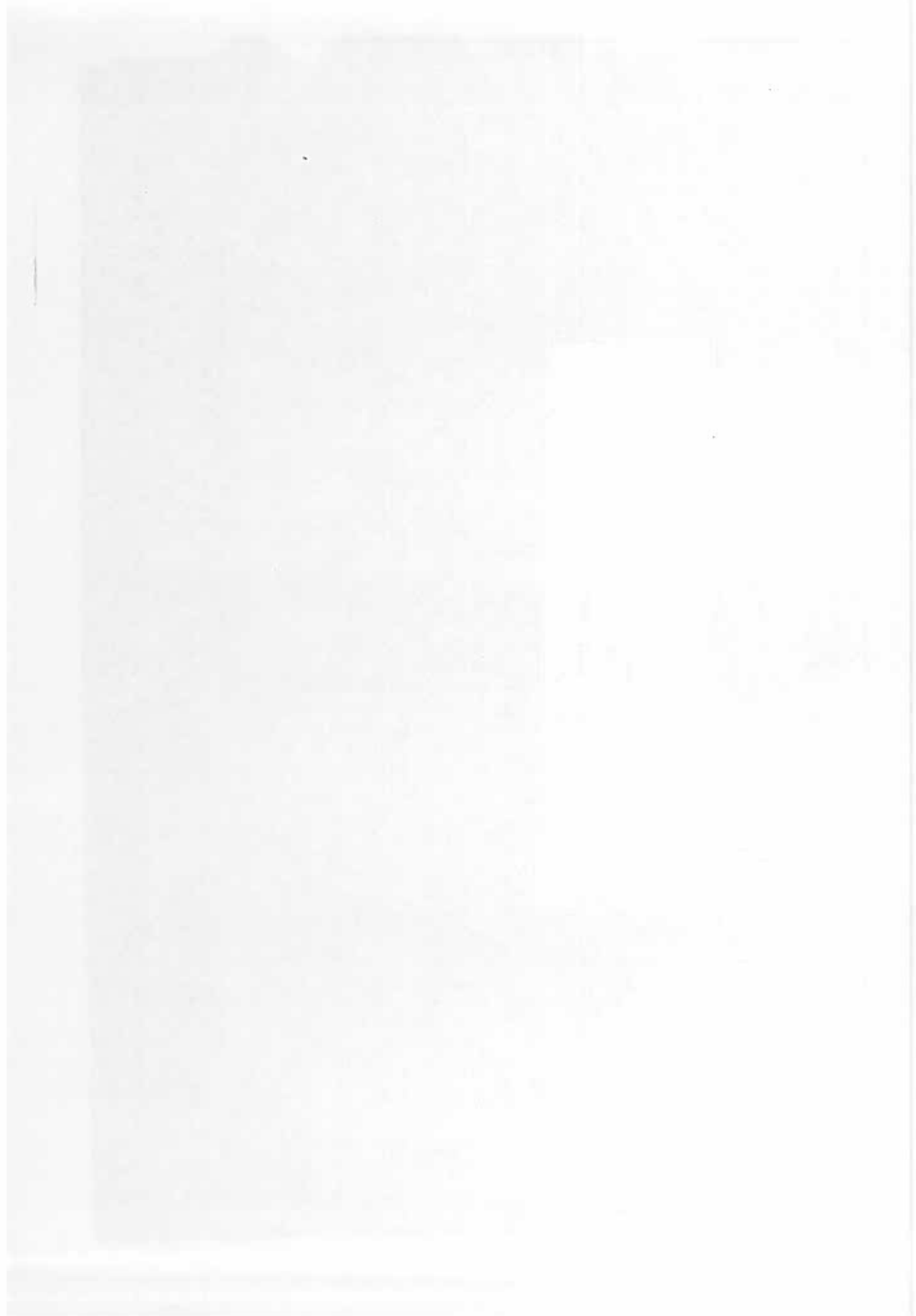

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

Carta
091224195872011
DK-038
CUBPM

OFÍCIO Nº 2836/2018

À
DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA
AVENIDA DAS NAÇÕES UNIDAS Nº 14171 – CONDOMÍNIO ROCHAVERA
EDIFÍCIO DIAMONT TOWER – SANTO AMARO
CEP: 4794000 – SÃO PAULO/SP

RECEBIMENTO
26 SET. 2018
DOW BRASIL
Sujeito a entrega



DOC. 3



Candeias, 17 de outubro de 2019

À

Superintendência da Agência Nacional de Mineração do estado da Bahia ("ANM/BA")
Avenida Ulisses Guimarães, 650 - Centro Administrativo, Área Federal
CEP 41.213-000 - Salvador, Bahia.

**Ref.: PROCESSO DE CONCESSÃO DE LAVRA DNPM Nº 000.648/1967
APRESENTAÇÃO DE ESTUDO COMPLEMENTAR**

DOW BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. ("**DOW**"/ "**EMPRESA**"), pessoa jurídica de direito privado, devidamente qualificada nos autos do processo em epígrafe, vem, por seu representante legal abaixo subscrito, à presença de V.Sa, de forma proativa e diligente, visando manter a relação de total transparência com esta agência reguladora, apresentar novo estudo providenciado pela Dow a respeito das possíveis causas naturais que possam ter contribuído à formação do *sinkhole* ("dolina") identificado no entorno de suas operações minerárias na ilha de Matarandiba.

Em complemento à documentação técnica já apresentada a este órgão anteriormente, a qual vêm sendo diligentemente fornecida pela Dow desde a descoberta do *sinkhole* para fins de auxiliar os órgãos competentes na busca pelas causas originárias, bem como para delimitação dos fatores de riscos e formas de mitigá-los, prezando, sobretudo, pela segurança da comunidade local e do meio ambiente, a Dow compartilha nesta oportunidade os documentos abaixo listados, elaborados pela consultoria Environmental Resources Management ("**ERM**")¹:

1. Versão original em inglês do relatório técnico: "*Technical Memo: Evaluation of Matarandiba Brine Operations Sinkhole Development*" (Doc. 01); e,

¹ <https://www.erm.com/>



2. Tradução para o português da versão original constante do Doc. 1: “*Memorando Técnico: Avaliação do Desenvolvimento de Dolinas nas Operações de Extração de Salmoura em Matarandiba*” (Doc. 02).

Indica-se que os documentos apresentados nessa oportunidade contemplam estudo elaborado pela referida consultoria em atendimento à solicitação feita pela própria EMPRESA em linha com o seu genuíno comprometimento em aprofundar as pesquisas a respeito da formação do *sinkhole* e compreender os diversos fatores que possivelmente cooperaram para tanto.

O estudo ora apresentado teve como escopo a análise detalhada de dados e informações disponíveis sobre as condições geológicas e hidrogeológicas da área para avaliar a probabilidade de uma causa natural à formação de uma dolina na ilha de Matarandiba, concluindo que, condições naturais não podem ser descartadas como possíveis causas ou fatores intensificadores, tais como: presença de materiais calcários próximos à elevação da dolina; presença de dois sistemas de falhas/fraturas com o centro da dolina localizado na intersecção desses dois sistemas; chuvas fortes no momento do dolinamento; entre outros.

Vale dizer que, ainda que tal estudo não tenha sido diretamente solicitado por essa Agência, a Dow junta os documentos mencionados acima nesta oportunidade, prezando pela manutenção da relação de transparência perante a ANM a respeito das medidas que vêm sendo diligentemente tomadas pela EMPRESA no que diz respeito às providências relacionadas ao *sinkhole* – tal como têm atuado desde o início com todas as autoridades envolvidas no caso.

Sendo o que cumpria para o momento, a Dow aproveita o ensejo para renovar seus protestos de elevada estima e consideração por esta ANM e permanece à inteira disposição para fornecer quaisquer esclarecimentos que se julguem necessários.

Atenciosamente,

Fabricio Da Cruz Martines
Dow Brasil Industria e Comércio de Produtos Químicos LTDA.
Responsável legal

Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda

Rodovia Matoim, Rotula 3, Candeias - BA

CEP 43800-000

CNPJ: 60.435.351/0017-14

DOW RESTRICTED - For internal use only

Memorando Técnico



| | |
|-------------------|---|
| Para | Dow Chemical Company Jeff Hertzling, Diretor Técnico—Operações em Cavernas—Armazenamento na Mineração A.P. Beutel Bldg., 332 SH 332 Lake Jackson, TX 77566 |
| Por | ERM |
| Data | 30 de setembro de 2019 |
| Referência | 0514406 |
| Assunto | Avaliação do Desenvolvimento de Dolinas nas Operações de Extração de Salmoura em Matarandiba |

Prezado Jeff,

A Environmental Resources Management (ERM) tem o prazer de enviar esta avaliação das possíveis causas da formação recente de uma dolina próxima à área das operações de mineração de dissolução profunda da Dow na Ilha de Matarandiba, Bahia, Brasil (Figura 1). As causas potenciais incluem a presença de camadas de calcário, fraturas, chuvas fortes, bombeamento em águas rasas ou operações de mineração profunda. Por solicitação da Dow, essa avaliação se concentrou na probabilidade de formação de dolina devido a fatores naturais e bombeamento de águas subterrâneas rasas que poderiam potencialmente acelerar o desenvolvimento natural das dolinas.

Entre as questões colocadas pela Dow, abaixo são apresentadas as mais relevantes:

- Existe alguma evidência de um ambiente cárstico natural dentro da área de interesse?
- As causas naturais, como eventos de chuvas fortes ou padrões de erosão local, associados a condições geológico-estruturais, podem resultar em formações de dolinas na área?
- Existem quaisquer caminhos preferenciais potenciais que poderiam resultar no contato da água doce superficial com solução salina profunda ou outras formações cársticas?
- Os fenômenos cársticos naturais poderiam ser acelerados ou induzidos por atividades como intensificação do bombeamento dos poços de água ou aumento da infiltração na barragem existente perto das zonas de falha?
- Problemas de integridade dos poços rasos podem ter contribuído para a formação da dolina?

Dados, mapas e estudos existentes sobre as condições geológicas e hidrogeológicas da área foram revisados para desenvolver um modelo conceitual do local e avaliar possíveis causas naturais da dolina. Embora não seja possível concluir que fatores naturais contribuíram para a formação da área colapsada, essas condições naturais e fatores rasos poderiam ter contribuído para a formação da dolina. O cenário mais provável não relacionado à mineração profunda requer água subterrânea em movimento rápido ao longo de caminhos preferenciais (fraturas), dissolução

do cimento calcário de arenitos friáveis, seguida pela lavagem de sedimentos e criação de canais de espaços vazios. O fluxo rápido de águas subterrâneas pode ter sido induzido por 40 anos de bombeamento de águas subterrâneas de um poço de água próximo, aumentando a infiltração do reservatório. Chuvas fortes ou um aumento no nível da água do reservatório podem eventualmente provocar o colapso da cobertura de arenito do(s) conduto(s). Várias linhas de evidência que potencialmente apoiam esse cenário são descritas nas seções a seguir.

INTRODUÇÃO E HISTÓRICO DO SITE

A dolina de Matarandiba (“a dolina”) formou-se na superfície do solo entre os dias 04 de Março e 30 de Maio de 2018, de acordo com a comparação feita a partir das imagens de satélite e a descoberta da dolina. Esta revisão incluiu dados disponíveis do local relevantes para a formação de dolinas, bem como literatura acadêmica. Os dados revisados incluíram perfis dos poços, medições do nível de água, dados da qualidade da água, dados de precipitação, resumo dos relatórios de investigações geofísicas, observações por interferometria por radar de abertura sintética (InSAR), levantamento sísmicos passivos, medições de subsidência, levantamentos com drones e estratigrafia local. O Instituto de Geomecânica de Leipzig, Alemanha, realizou anteriormente uma análise geomecânica das potenciais causas relacionadas a mineração de salmoura para a formação de dolina, o qual não será considerado em detalhes neste relatório.

A Figura 51 apresenta a localização da dolina, com representação das profundas de mineração (uma vista ampliada da área próxima à dolina é apresentada na Figura 5). A dolina desenvolveu-se a leste do sistema primário de cavernas conectadas, denominado Sistema Comum de Cavernas (CCS – *Common Cavern System*). O CCS foi gerado em consequência da mineração da formação de sal entre os poços de extração na década de 80. As operações do CCS foram interrompidas devido ao risco de colapso da cobertura e da superfície de subsidência (RE/SPEC 1998). Outras características de interesse incluem o reservatório de água superficial a oeste da dolina e uma série de lineamentos estruturais (características lineares na superfície da Terra que podem ser expressões de estruturas subterrâneas, como falhas ou fraturas) discutidos posteriormente neste relatório.

Não foram identificadas outras cavidades, cavernas e características cársticas na ilha com base em uma revisão das tecnologias de imagens de satélite disponíveis. Os dados do InSAR usados pela Dow para monitorar mudanças na superfície topográfica, é de valor limitado para o mapeamento de dolinas existentes: a baixa resolução espacial é menor do que as dimensões típicas de uma dolina. No entanto, o monitoramento por InSAR diferencial pode medir a deformação em escala de centímetro a milímetro da superfície, permitindo a detecção potencial de precursoras de dolinas. Com maior resolução, detecção eviação da luz (LiDAR – *Light Detection And Ranging*), é mais adequada do que o InSAR para o mapeamento de dolinas existentes, mas não foram coletadas no local, pois não suportam o monitoramento da deformação precursora. (Theron and Engelbrecht 2018).

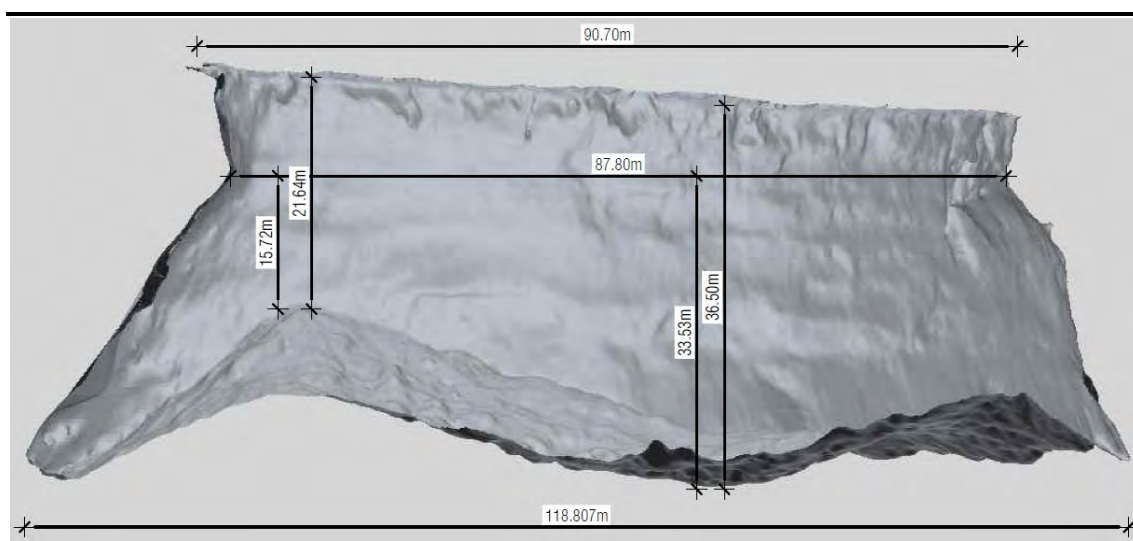
Figura 1: Mapa do Site



GEOMETRIA DA DOLINA

A dolina é caracterizada por sete parâmetros morfométricos principais (Kobal et al 2015), disponíveis a partir da fotogrametria por *drone* realizada pela Dow em junho de 2018 (Figura 2) e revisão das imagens de satélite. Os parâmetros são listados na Tabela 1.

Figura 2: Fotogrametria da dolina feita por *drone*



Fonte: OrtoPixel 2019

Tabela 1: Parâmetros morfométricos da dolina de Matarandiba

| Parâmetro | Medida |
|-------------------------------|----------------|
| Largura do Eixo Maior | 90,70 metros |
| Largura do Eixo Menor | 40,90 metros |
| Profundidade | 36,5 metros |
| Proporção de alongamento (Re) | 2,22, alongado |
| Azimute do Eixo Maior | N 40,52° E |
| Distância da linha de costa | ~500 metros |

De acordo com Basso et al. (2013), dolinas têm quatro grupos de classificação baseado na proporção de alongamento (Re), definida como a proporção entre o eixo maior e o eixo menor: (i) circular e sub-circular ($Re \leq 1.21$); (ii) elíptica ($1.21 < Re \leq 1.65$); (iii) sub-elíptica ($1.65 < Re \leq 1.8$); e (iv) alongada ($Re > 1.8$). A dolina é classificada como alongada com o azimute de eixo maior em N 40.52° E, como apresentado na Tabela 1. Dolinas formadas em leito rochoso pelo colapso de cavernas (conhecidos como dolinas de colapso) tendem a ser mais circulares porque o processo de parada suaviza quaisquer irregularidades no padrão de fratura que levaram à

dissolução da rocha solúvel abaixo (Waltham et al. 2005). A forma alongada dessa dolina sugere que ela pode estar potencialmente associada a uma falha ou fratura, ao invés de um colapso de um amplo espaço vazio.

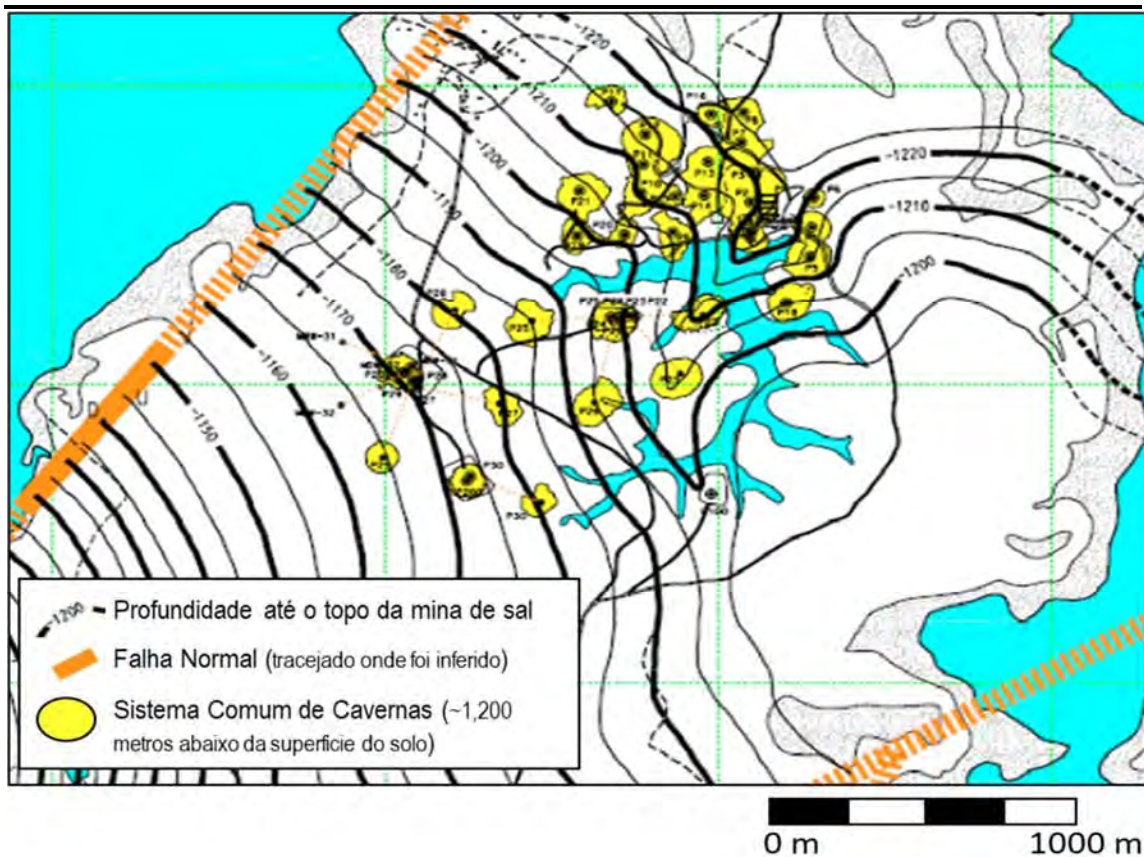
CONFIGURAÇÃO GEOLÓGICA

A estratigrafia do site foi compilada a partir de registros de perfis de perfuração e fontes de literatura da Dow (Fonseca 1966, Da Silva et al. 2007). As informações disponíveis foram revisadas para procurar a presença de rochas suscetíveis à dissolução e formação natural de cavernas. Enquanto a maioria das formações sedimentares acima das camadas de sal extraídas pela Dow é composta de arenitos consolidados, existem unidades de calcário e outras camadas de rochas calcárias nas unidades sedimentares superiores. A Tabela 2 descreve a estratigrafia local com a presença de rochas calcárias.

Tabela 2: Estratigrafia do Site

| Descrição Litológica | Espessura (metros) |
|---|---|
| Xisto e arenito intercalados, marga (tipicamente 25–75% de carbonato), arenito cimentado com calcita friável, xisto calcário, siltito, e calcilutito (aum tipo de calcário composto predominantemente de argila e/ou silte com grãos de carbonato de tamanho silte). | 10 – 50 (?) |
| Xisto carbonáticos e fossilíferos e siltito, arenito friável, e lentes de micrite (calcários microcristalinos). | 150 – 170 |
| Arenito fino, heterogêneo (mal calssificado), estratigraficamente cruzado em camadas, com conglomerado e pelita (lamito). | 320 – 450 |
| Topo: Micaxisto laminado. Média: Arenito de granulometria fina-média, interbandado com xisto e calcário, Base: Siltito e xisto com calcário, anidrita e <i>gypsum</i> . Sal gema (mais de 60 m de espessura) em alguns locais. Siltstones and shale with limestone, anhydrite, and gypsum. Rock salt (60+ m thick) in some locations. | 25 – 75 150 – 340 300 – 456 profundidade: (1,200–1,300 m) |
| Gnaiss granítico | - |

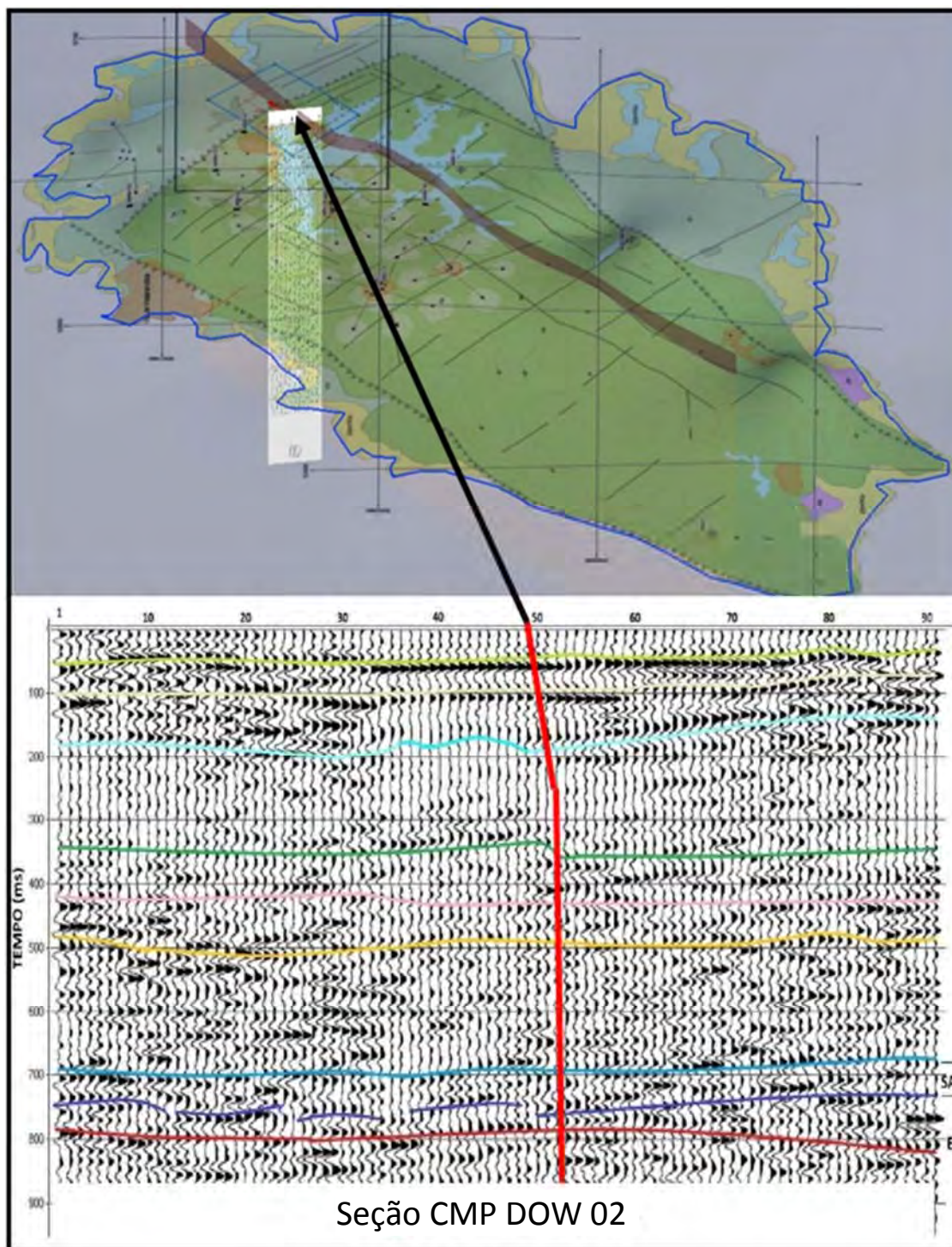
A unidade de extração de sal do Site está a aproximadamente 1.200 metros abaixo da superfície do solo e tem cerca de 60 a 70 metros de espessura. O Relatório do Serviço Geológico do Brasil (Guimarães et al. 2019) inclui uma figura conceitual mostrando domos salinos e diapirismo, onde o diapirismo é um mecanismo que poderia aproximar o sal da superfície. No entanto, as linhas sísmicas do local e os registros de perfis de perfuração indicam que a unidade de sal é um leito plano sem evidência de diapirismo. O topo da unidade de sal foi identificado pela Dow em 1995, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Topografia da superfície de sal

Fonte: DOW 1995

A Ilha de Matarandiba é um *horst* (bloco de falhas delimitado por falhas normais acentuadas) no extremo sul do Rifte Recôncavo. O azimuth dos limites leste e oeste das falhas são mapeados como N48°E e N39°E (Guimarães et al. 2019). Há uma série de lineamentos orientados paralela e ortogonalmente à borda das falhas, como mostrado na Figura 4.

O azimuth do eixo maior da dolina (N 40.52° E) está alinhado com as fraturas primárias e paralelo à borda leste da falha. Há uma série de lineamentos mapeados que se alinham ao eixo maior da dolina e podem ser extrapolados ao longo de seu azimuth para alinhar com uma série de lineamentos mapeados (Guimarães et al. 2019) e pequenos deslocamentos observados em uma pesquisa sísmica realizada perto da dolina (Botelho 2019). A Figura 4 apresenta evidência do lineamento que se alinha com o eixo maior da dolina.

Figura 4: Lineamento alinhado com a Dolina

Mapa adaptado de Guimarães et al. 2019. Linha sísmica de Botelho 2019.

Dolinas são formações típicas de rochas solúveis (e.g., calcário, dolomita e gesso), mas processos e morfologia semelhantes foram descritos em outras rochas, incluindo arenito (que é a litologia primária do *Sítio*, conforme descrito na Tabela 2). O intemperismo por dissolução ou “arenização” no arenito quartzoso podem ocorrer em escalas de tempo superiores a 90.000 anos e é mais comum em áreas geologicamente estáveis há milhões de anos (Mecchia et al. 2019, Wray e Sauro 2017). Dolinas em arenito são mais comumente “pseudo-carstes,” os quais diferem dos sistemas cársticos verdadeiros já que eles são produzidos por drenagem ou colapso através de espaços vazios do tipo conduto, ao invés de dissolução. Se o colapso observado estiver associado a fratura(s), em vez de carbonato ou sal subjacente, a geomorfologia é classificada como fenda pseudo-carste (Halliday 2007).

As unidades de calcário de camada fina não costumam desenvolver cavernas extensas porque tendem a colapsar/desmoronar em escalas menores (Waltham et al. 2005). Entretanto, essas fraturas podem fornecer vias de fluxo primárias para água doce (como precipitação, vazamento do reservatório ou fluxo induzido através do bombeamento) e dissolver unidades de pedra calcária e arenito cimentado friável (Tabela 2). Ao longo de uma fratura permeável, essas unidades podem ser particularmente suscetíveis à dissolução, erosão e formação de cavernas. No entanto, o significado hidrológico da permeabilidade à fratura não pode ser confirmado sem testes adicionais de aquíferos e informações sobre o nível das águas subterrâneas de maior resolução.

HIDROLOGIA

Existem seis poços de abastecimento de água na ilha, Poço de Água de Matarandiba (MWW)-101 até MWW-106 (Figura 5). Os registros de produção desses poços datados de 2013 estavam disponíveis, com bombeamento total e bombeamento do MWW-102 plotados

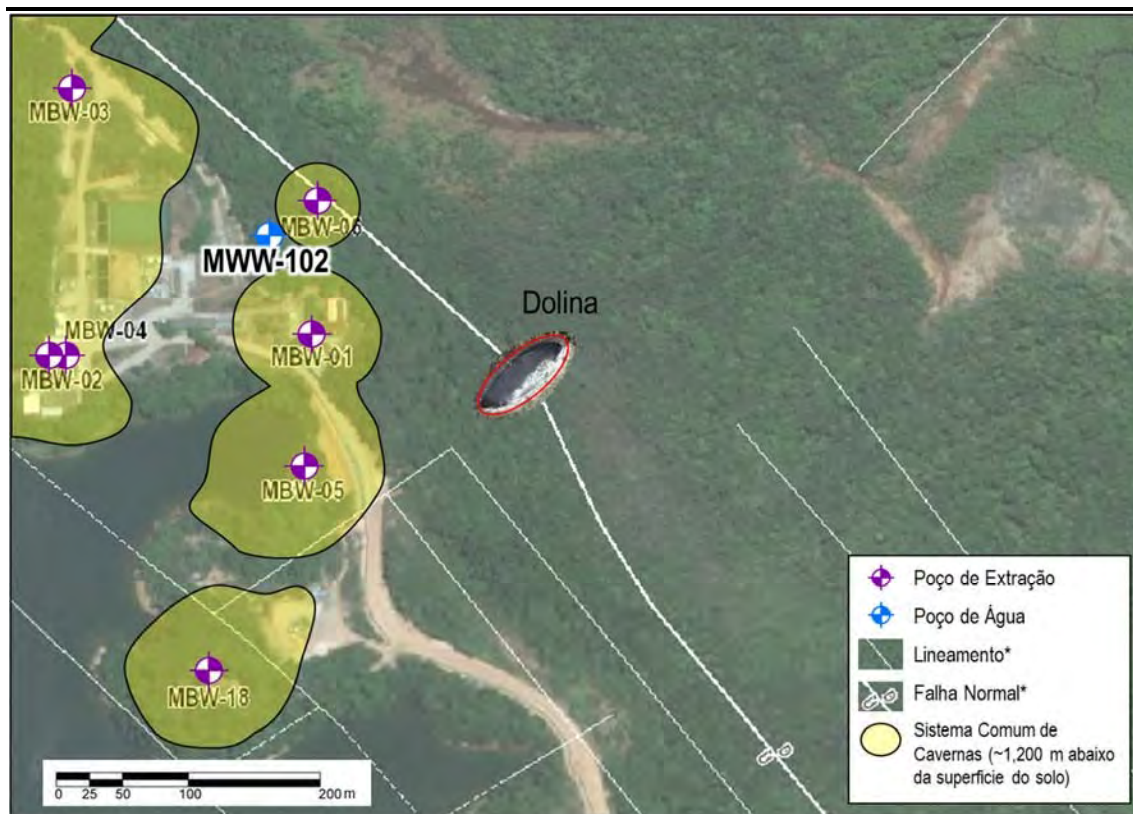
Figura 6. As taxas de produção permaneceram estáveis durante a formação da dolina (observado na barra vertical cinza), mas o bombeamento contínuo por 40 anos diminuiu os níveis de água em toda a ilha (baseado na comparação dos níveis de água estáticos desde 1974 a 2018; Tabela 3 e Figura 7). O rebaixamento do lençol freático associado ao bombeamento do poço de água e o aumento subsequente do estresse efetivo na formação drenada, podem induzir um colapso incipiente se as condições forem favoráveis (Roningen e Burbey 2012). Os níveis de água estáticos dos poços rasos de bombeamento, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Nível de Água Estático nos Poços Rasos de Bombeamento

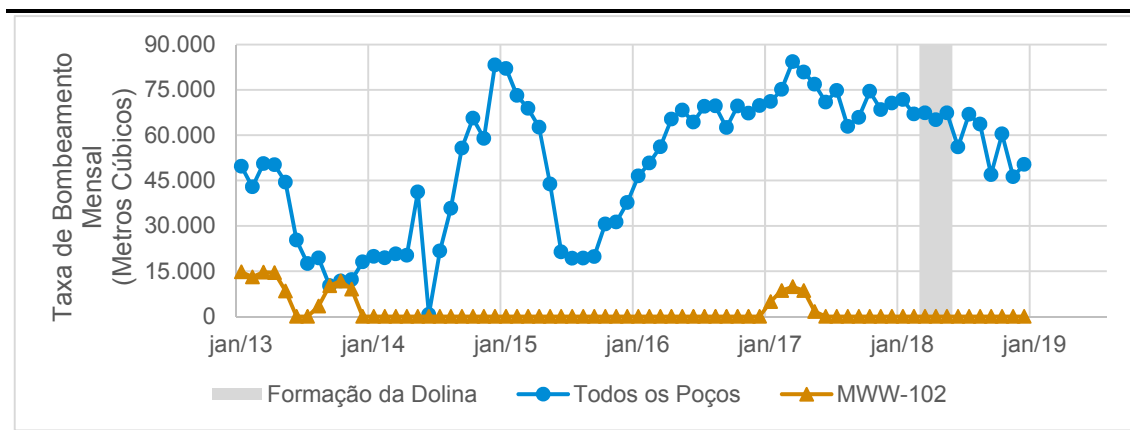
| Poço | Profundidade Total (metros) | Nível de Água Estático (metros) ² | |
|---------|-----------------------------|--|------------|
| | | Da Ficha de Sondagem | Junho 2018 |
| MMW-101 | 151 | 3.35 ¹ | 68.62 |
| MMW-102 | 170 | 10.98 ¹ | 73.87 |
| MMW-103 | 160 | 2.75 ¹ | 67.06 |
| MMW-104 | 160 | 9.19 ¹ | 77.81 |
| MMW-105 | 197 | 43.75 ² | 60.00 |
| MMW-106 | 150 | 64.32 ² | - |

1- Setembro a Dezembro 1974; 2- Junho 1981. 2- metros abaixo do topo do furo

O MWW-102 está aproximadamente 215 metros a nordeste da dolina (Figura 5), com 170 metros de profundidade, e tem nível de água estático de 10,98 metros quando de sua instalação em outubro de 1974 (Figura 7). Atualmente, o nível de água estático no MWW-102 permanece em torno de 70 metros abaixo do topo do furo, sugerindo então que o bombeamento contínuo de águas subterrâneas pode ter causado declínios regionais no nível da água.

Figura 5: Poços e Lineamentos próximos à Dolina

*Lineamento e Falha Normal de Guimarães et al. 2019.

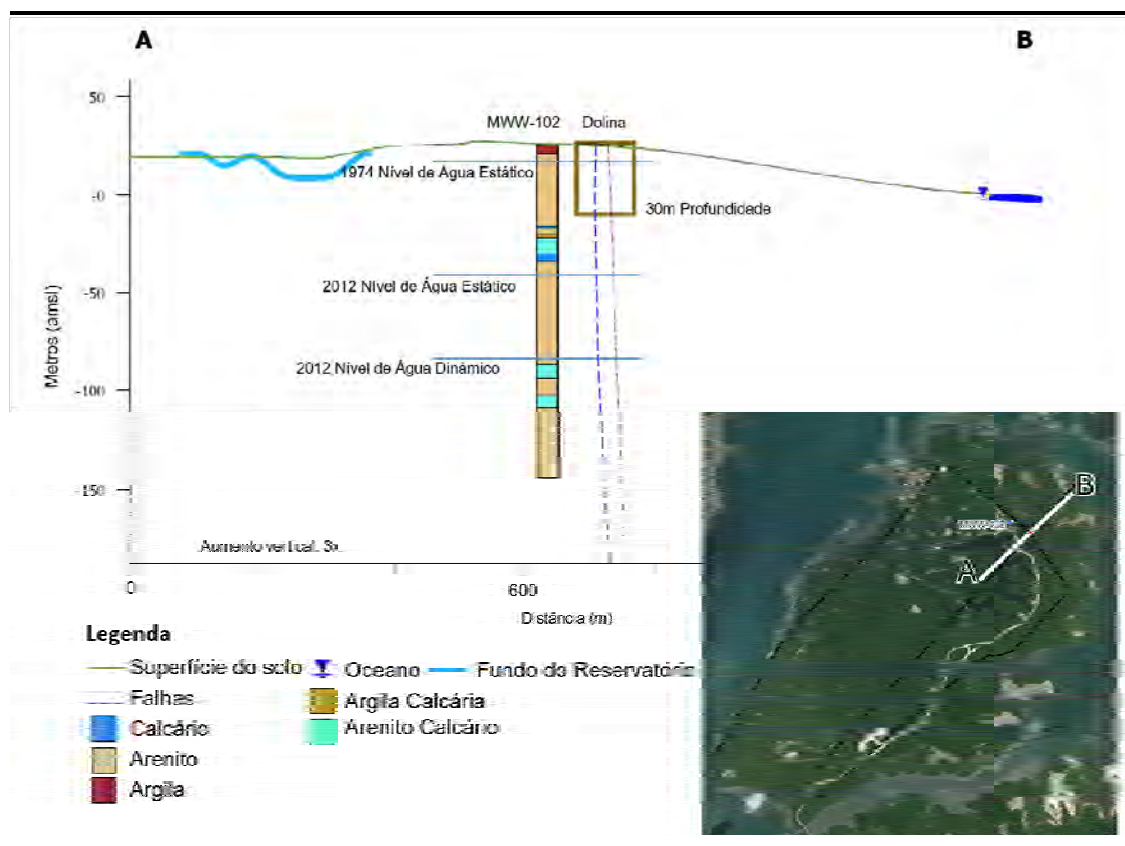
Figura 6: Produção de Água Subterrânea

O perfil do poço MWW-102 mostra camadas/lentes de calcário, argila arenosa calcária, e arenito calcário intercalado rochas calcárias e unidades de rocha basal. Três das entradas/zonas de captação desse poço estão localizadas em camadas/lentes de calcário, de 52,79 a 55,79, 113,01 a 116,01, e 116,61 a 119,61 metros abaixo do topo do poço. A Figura 7 apresenta o perfil litológico do poço em relação à dolina e a proximidade do reservatório superficial de água.

Em 2014, foi observado material granular fino no poço MWW-102, fazendo com que o poço tenha sido colocado fora de serviço até ser limpo e reabilitado em janeiro de 2017 (a taxa de bombeamento do MWW-102 foi plotada na

Figura 6). O material granular fino pode estar associado à camadas friáveis de arenito calcário de granulometria fina que passaram por processos naturais de dissolução do material de cimentação acelerado pelas altas velocidades da água ao redor do poço induzidas pelo bombeamento.

Figura 7: Seção Transversal A-B



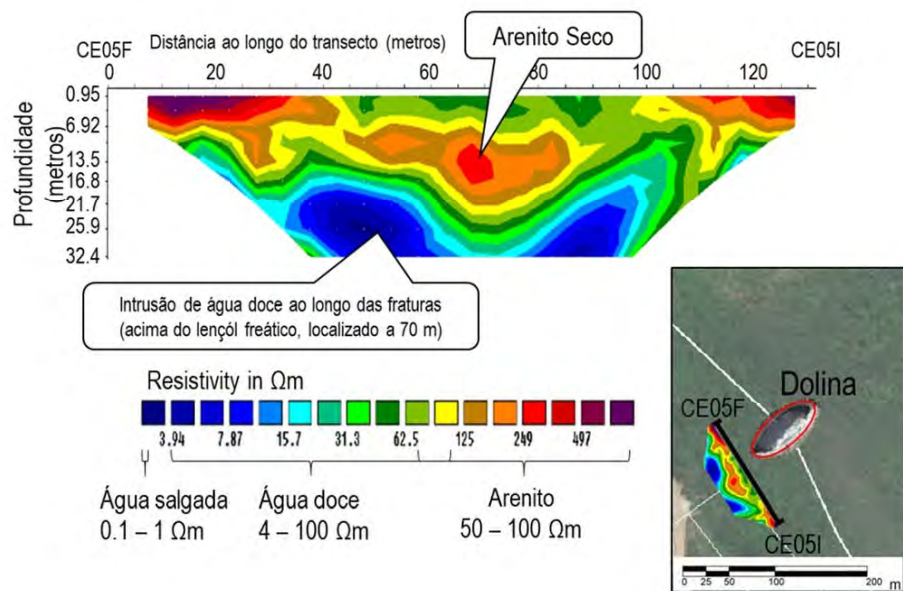
O poço MWW-102 mostraram evidências de mistura com uma maior concentração de cloreto na água após a reabilitação do poço em janeiro de 2017. Concentrações elevadas de cloreto também foram medidas enquanto o poço estava inativo em junho de 2018, logo após a descoberta da dolina (Tabela 4). A concentração de cloreto de sódio diminuiu após o bombeamento, indicando conexão primária ao aquífero transmissivo de água doce sob condições estressantes.

Tabela 4: Concentrações de cloreto observadas no MWW-102

| Data da Observação | NaCl (miligramas por litro) |
|--------------------|-----------------------------|
| 4 Junho 2018 | 8.200 |
| 4 Junho 2018 | 7.330 |
| 5 Junho 2018 | 23.000 |
| 13 Junho 2018 | 38 |

Concentrações mais altas de cloreto podem ser atribuídas à intrusão de água salgada causada pela depressão do lençol freático regional no aquífero rochoso (nível dinâmico da água de 2012 na Figura 7), ou migração ascendente de salmoura de operações de mineração anteriores. A concentração máxima observada no MWW-102 foi de 23.000 miligramas por litro, que foi registrada na Baía de Todos os Santos (Figura 1) (Cirano 2007). Concentrações elevadas de cloreto provenientes de intrusão de água salgada ou salmoura profunda não podem ser confirmadas ou descartadas sem uma análise mais abrangente da qualidade da água.

Como pode ser observado na Figura 8, resultados do ensaio de Resistividade sugerem que a água doce pode estar presente próximo à dolina em profundidades de 20 a 30 metros, baseado nas características de resistividade (Palacky 1987). A maior resistividade identificada no relatório (Botelho 2018) como uma possível concavidade está dentro da faixa esperada para arenito seco. Espera-se que uma cavidade cheia de ar tenha resistividade maior que 1.000 ohm por metros, semelhante ao calcário (Waltham et al. 2005).

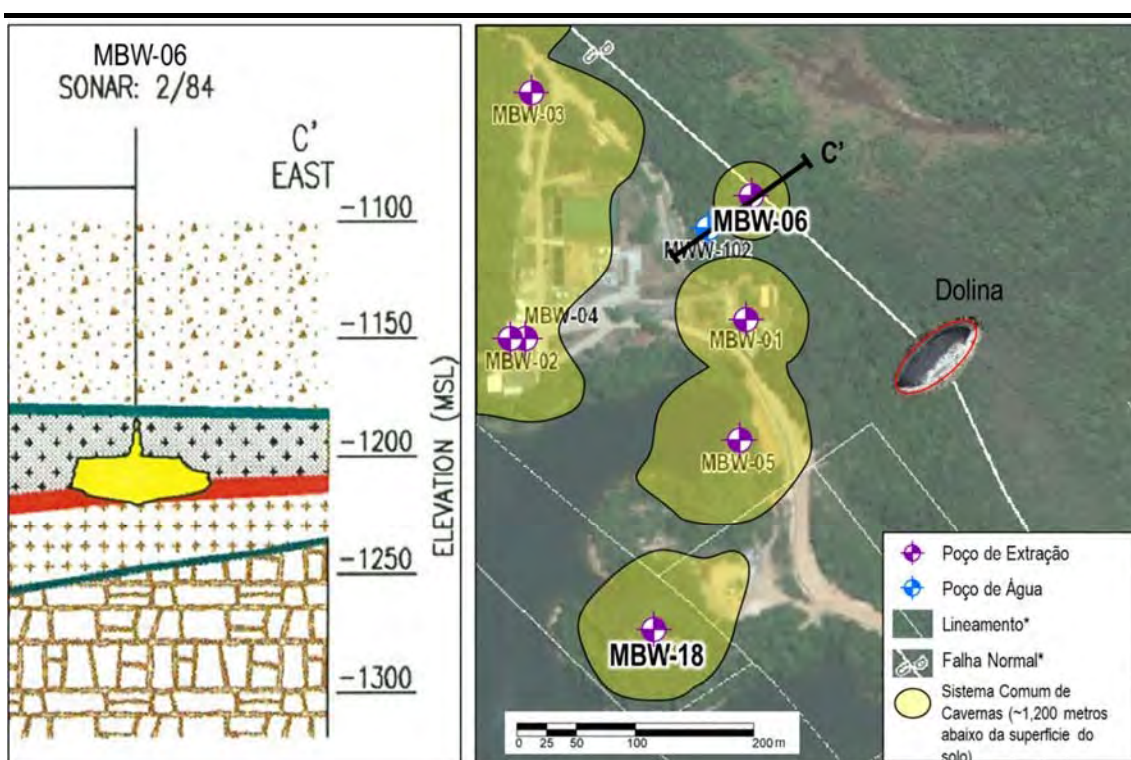
Figura 8: Perfil de Resistividade próximo à dolina

Fonte: Adaptado de Botelho 2018. Interpretado de acordo com Palacky 1987. As linhas brancas no mapa mostram lineamentos e a falha normal mapeada por Guimarães et al. 2019.

MINERAÇÃO DE SAL PRÓXIMO À DOLINA

Os poços de extração de salmoura próximos à dolina (Poço de Salmoura de Matarandiba [MBW]-1, -5, e -6) estão supostamente interligados. Com base nos dados do sonar coletados entre 1984 e 1996, esses locais não foram considerados parte do CCS (RE / SPEC 1998), mas as cavernas podem ter se expandido desde então através de processos de paradas e dissolução. De acordo com os levantamentos de sonar de 1984, o teto da caverna do MBW-6 havia progredido para cima até a unidade superior de anidrido (Figura 9).

Figura 9: Caverna de dissolução da MBW-6 – levantamento por sonar 1984



Fonte: Seção transversal da RE/SPEC 1998. Linemanetos e Falha Normal mapeado por Guimarães et al. 2019

O antigo poço de salmoura MBW-18 ainda está aberto para monitoramento e está localizado a sudoeste ao longo do azimuth do eixo maior da dolina. Comparando os níveis de fluidos medidos no MBW-18 (2018 nível de fluido a 27.5 metros, aberto a 1.210 metros de profundidade) com o poço de água MWW-102 (2018 nível estático em 73,87 metros, com várias telas de 52 a 170 metros de profundidade) sugere um gradiente hidráulico vertical para cima de aproximadamente 0,041 (sem correção para efeitos de densidade). A perfilagem *wireline* do poço de salmoura da Dow mostra que o dano não progrediu acima de 1.200 metros.

GATILHOS DE DOLINAMENTO

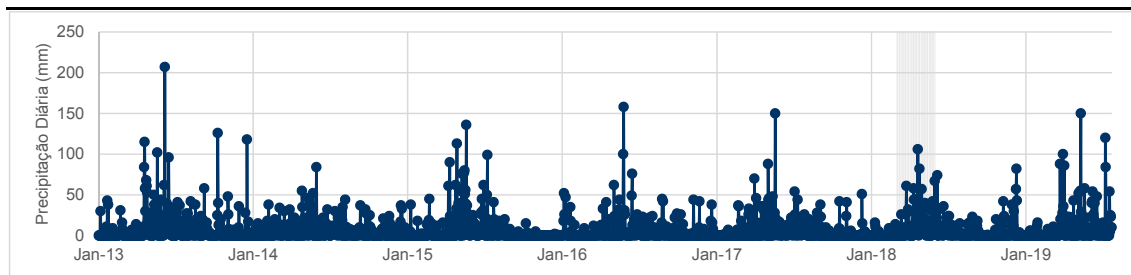
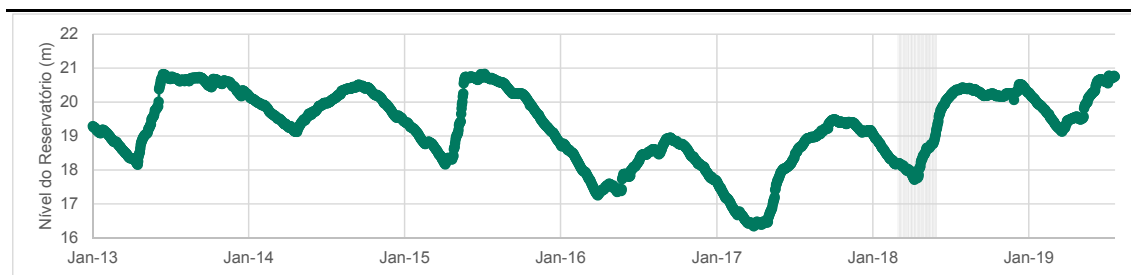
Se existirem cavidades subterrâneas ou espaços vazios do tipo conduto, as dolinas podem ocorrer de forma natural (por exemplo, terremotos) ou por vibrações causadas pelo homem (por exemplo atividades de construção), carregamento/carga na superfície (por exemplo um reservatório de água), entrada de água ou como resultado da desidratação. A chave para desencadear um dolinamento é a presença de um sistema de cavernas ou canais pré-existente.

Nenhum terremoto foi relatado na região em 2018 no catálogo global (USGS 2019). O monitoramento sísmico preventivo em andamento desde 23 de agosto de 2018 localizou mais de 140 eventos sísmicos de micro-terremotos na área de interesse, com uma magnitude máxima de 1,10 (Nanometrics 2019). A maioria desses eventos ocorreram a profundidades estimadas em aproximadamente 1,5 quilômetros, e provavelmente são mais profundos que o CCS. Dificilmente, micro-terremotos de baixa magnitude com hipocentros profundos desencadeiem um dolinamento na superfície devido à atenuação.

Dolinamentos naturais em um cenário geológico favorável são frequentemente desencadeados por eventos de chuva (Parise, Pisano e Venari 2018). As medições diárias de precipitação do período de ocorrência do dolinamento, mostram um único dia com mais de 100 milímetros de precipitação (20 de abril 2018), o que não é anormal para a estação chuvosa local. De acordo com os registros houve pelo menos um evento de precipitação superior a 100 milímetros por ano, com exceção de 2014 (Figura 10).

O nível de água do reservatório superficial variou em 4,5 metros nos últimos 6 anos, com uma variação anual máxima de 3,14 metros em 2017 (

Figura 11). O aumento do nível da água durante o dolinamento é atribuído à variabilidade sazonal normal.

Figura 10: Precipitação diária, 2013–2019**Figura 11: Nível do reservatório superficial de água, 2013–2019**

POSSÍVEL MODELO CONCEITUAL DE DOLINAMENTO NATURAL

A partir da visão geral dos dados fornecidos discutidos acima e uma revisão da literatura sobre ambientes semelhantes, a dissolução de estratos calcíferos rasos ao longo de uma fratura pode ser uma explicação possível para a formação da dolina.

Baseado em várias linhas de evidências que mostram condições favoráveis à formação de dolinas, incluindo:

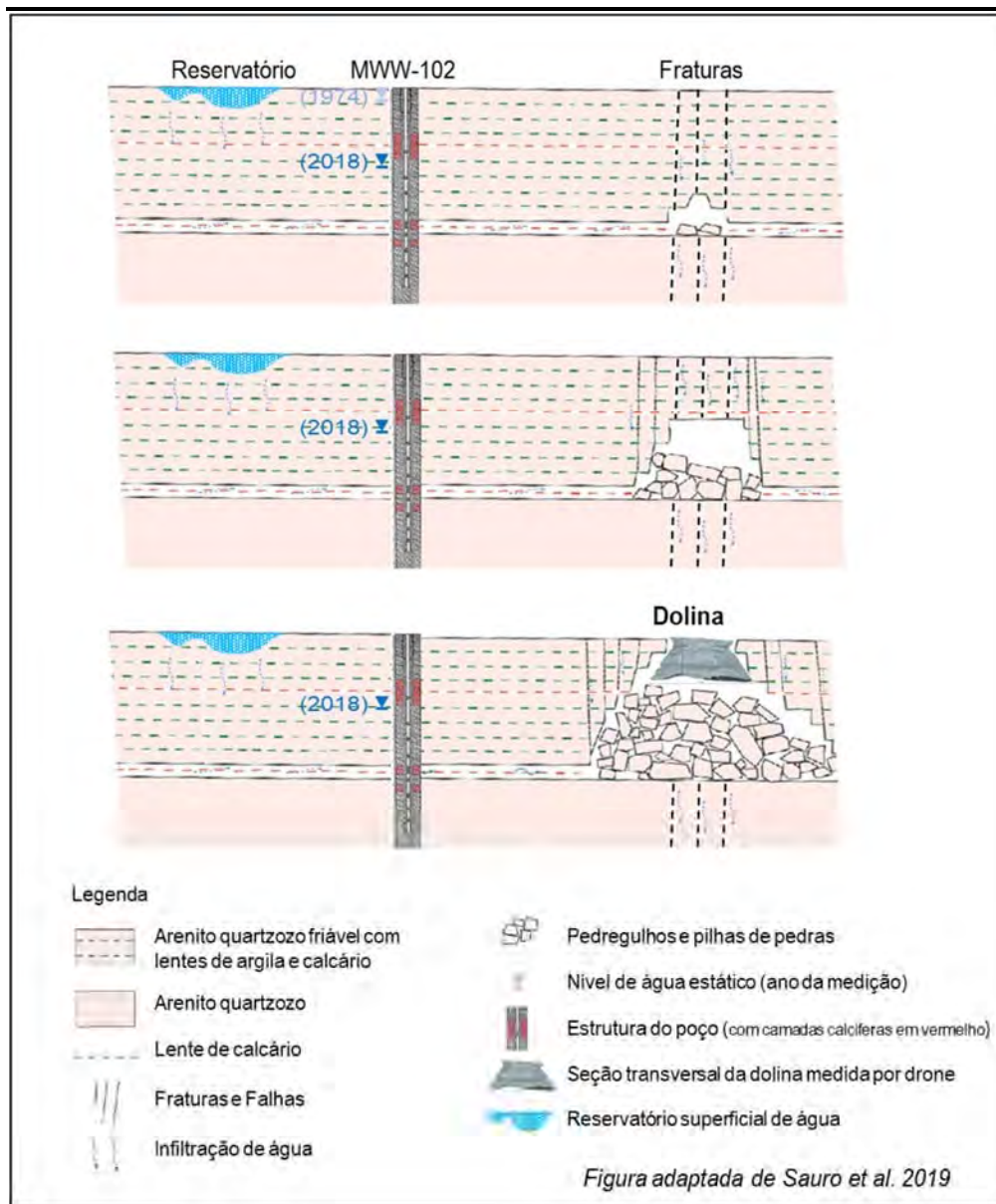
- Estratigrafia do topo rochoso raso que inclui litologia suscetível à dissolução;
- A forma alongada da dolina, alinhada com os lineamentos mapeados; e
- Observações de material granular fino no poço de água MWW-102, que confirma a presença de camadas friáveis de arenito calcário de grão fino e dissolução natural de cimento calcário.

Como a estratigrafia do *Site* não inclui espessuras significativas de calcário puro que poderiam facilitar a rápida dissolução e formação de espaços vazios, seria necessário um mecanismo que envolva a formação de espaços vazios em arenitos friáveis. Essa hipótese requer água subterrânea em movimento rápido (que pode ser induzida por bombeamento em um poço próximo ou induzida por recarga de reservatório e fluxo preferencial ao longo de fraturas) e a presença de arenito friável.

Os fatores hidrogeológicos naturais favoráveis à formação de dolinas aqui incluem o fluxo preferencial de águas subterrâneas ao longo de horizontes de iniciação (por exemplo camadas/lentes de calcário), interseção com sistemas de fraturas intemperizados por infiltração de água e propagação do colapso até a superfície. Processos similares são observados na formação de dolinas em arenito em Sarisariñama na Venezuela (Sauro et al. 2019).

No *Site*, os processos de dissolução natural podem ter sido acelerados ou induzidos pela extração de água subterrânea no aquífero raso no MWW-102, bem como aumento da carga hidráulica do reservatório de água, ao longo da fratura, conforme ilustrado na Figura 12. O bombeamento contínuo de água subterrânea em toda a ilha em conjunto com alta velocidade de entrada de água no poço MWW-102 e a proximidade da fratura, podem ter contribuído para a dissolução do cimento calcário e enfraquecido a integridade dos arenitos na área, levando ao dolinamento.

Outros elementos que contribuíram incluem fluxos de recarga rápida do reservatório, movendo-se através da(s) fratura(s) SW-NE, que podem lavar as partículas mais finas preferencialmente ao longo da fratura; e chuvas intensas, aumentando a tensão efetiva na cobertura, aumentando o peso total por meio da saturação de água.

Figura 12: Modelo conceitual de dissolução superficial de calcário

Embora esse modelo conceitual seja uma possível explicação para o desenvolvimento de uma dolina, essa hipótese pode não explicar completamente como um volume suficientemente grande de areia e calcário poderia ter desenvolvido um espaço vazio em tal profundidade. O volume da dolina é muito grande para ser explicado somente pelo bombeamento de água subterrânea no MWW-102. Grandes volumes de areia fina cimentada com calcário podem ter migrado para espaços abertos próximos no subsolo (fraturas abertas ou outros canais), mas evidências sísmicas (Botelho 2019) sugerem que não foram encontradas características cársticas. No entanto, a pesquisa sísmica pode não ser sensível o suficiente para

localizar características locais que, combinadas, podem resultar em grandes volumes. A probabilidade de causas não relacionadas à mineração profunda do poço usando este modelo conceitual em potencial é discutida abaixo.

PROBABILIDADE DE DOLINAMENTO NATURAL EM MATARANDIBA

A formação natural de dolinas é um processo complexo que envolve vários fatores e condições pré-existentes. É mais provável que dolinas se formem em áreas com características cársticas preexistentes (cavernas ou canais), mais próximas a fraturas ou falhas e / ou próximas a atividades significativas de bombeamento de águas subterrâneas com alto nível de drenagem. Embora não seja possível concluir que possa ocorrer um dolinamento natural no local, sem influência das operações de mineração, a avaliação dos fatores chave descritas anteriormente nos permite estimar a suscetibilidade qualitativa para o desenvolvimento de dolinas no chão.

Um índice de suscetibilidade relativa foi desenvolvido para ajudar a avaliar se há probabilidade de ocorrência natural de dolinas na Ilha de Matarandiba, ou contribuições do bombeamento de água subterrânea nos poços e a água do reservatório superficial. Essa abordagem é baseada em métodos de avaliação de vulnerabilidade das águas subterrâneas (Moraru e Hannigan 2017) que usam uma média ponderada de vários fatores de risco. Cada gatilho ou condição individual recebe um valor que representa sua probabilidade de estar presente no local e a relevância para a formação de dolinas. Valores variam entre 0 (improvável ou irrelevante) e 1 (muito provável e altamente relevante para a formação de dolinas).

Cada índice de probabilidade individual é multiplicado pelo índice de relevância e a média final é representada por uma média normalizada de todas as médias individuais. Esse valor é então categorizado em um índice de suscetibilidade geral que varia de nenhum risco (não suscetível ao dolinamento), e alto risco (muito provável de ocorrer dolinamento).

Por exemplo, se uma área tiver características cársticas conhecidas, como cavernas ou canais naturais, o índice de probabilidade será alto, próximo a 1. O colapso de cavernas é muito provável nas zonas cársticas, portanto, a relevância em termos de desenvolvimento de dolinas é muito alta e, portanto, um peso de 1 seria atribuído à coluna de relevância, resultando em uma alta taxa de suscetibilidade à dolinamento natural. Para Matarandiba; no entanto, não há evidências de condições cársticas existentes, portanto a probabilidade para este item é zero, embora a relevância para o índice de desenvolvimento de sumidouros ainda seja 1. Este resultado terá uma média individual igual a 0 (0 multiplicado por 1).

Características cársticas, se presentes, seriam suficientes para atribuir um alto índice de suscetibilidade. No entanto, se o fator não estiver presente ou for improvável, como é o caso em Matarandiba, outros fatores (como proximidade com falhas) são avaliados. Um local com falhas e fraturas não é necessariamente propenso a dolinamento. No entanto, se houver camadas de calcário e bombeamento significativo de águas subterrâneas e chuvas extremas, a possibilidade de desenvolvimento de

dolinas aumenta. Essa metodologia tenta estimar os efeitos combinados dessas variáveis para gerar um valor geral de suscetibilidade.

Embora os valores atribuídos a cada fator analisado sejam um pouco subjetivos, baseados na avaliação das informações existentes, a matriz pode ser alterada com estimativas alternativas para avaliar a sensibilidade geral do conjunto. A análise pode ser expandida além do escopo dessa avaliação para incluir fatores artificiais relacionados às operações de mineração profunda.

A Tabela 5 apresenta uma avaliação de suscetibilidade dos vários fatores para Matarandiba e a justificativa para cada valor é descrita abaixo:

- Carste/Cavernas existentes: A probabilidade de cavernas naturais próximas à superfície ou canais cársticos na área de Matarandiba é considerada desprezível. Esta característica é altamente relevante pois o risco de dolinamento em terrenos cársticos, onde existem cavernas, é alto.
- Presença de calcário: Descrições estratigráficas mostraram a presença de camadas de calcário, mas com menos de 10 metros de espessura. Foi atribuído uma probabilidade de 0,25 (muito baixa). O calcário é uma rocha solúvel que geralmente forma espaços vazios e cavernas de dissolução que são altamente relevantes para a formação de dolinas.
- Presença de arenito calcário friável: Descrições estratigráficas sugerem espessura adequada dessa litologia perto da dolina em questão. Uma probabilidade de 0,75 (muito provável) foi atribuída. A dissolução da cimentação calcária pode enfraquecer o arenito a ponto de a areia friável se tornar móvel, o que pode ser relevante para a formação de dolinas.
- Proximidade de fraturas/falhas: Existem várias falhas e lineamentos mapeados, além de uma pesquisa sísmica que identifica uma fratura que atravessa a dolina ao longo de seu eixo maior. Uma probabilidade 1 (altamente provável) foi atribuída. Falhas e fraturas podem ter zonas quebradas/rachadas que podem atuar como vias de migração de fluidos, resultando em maior potencial de diluição, o que é altamente relevante para a formação de dolinas acima de canais de espaços vazios.
- Aumento da precipitação: A dolina se formou no início da estação chuvosa. Uma probabilidade de 0,75 (muito alta) foi atribuída. Ocorrência de chuvas fortes são, de certa forma, relevantes pois são conhecidos por desencadear dolinamentos se as condições do subsolo forem suscetíveis ao colapso.
- Proximidade de poços de bombeamento e queda de nível de água: As quedas regionais do nível da água foram medidas em todos os poços, como resultado de décadas de bombeamento. Uma probabilidade de 0,75 (muito alta) foi atribuída. Esse fator é relevante, pois as dolinas geralmente ocorrem quando os lençóis freáticos são rebaixados devido ao bombeamento antropogênico, resultando em aumento da tensão de formação.
- Fluxos verticais de pressão: A área está sob a influência de um reservatório superficial de água, e os níveis de água nos aquíferos rasos são mais altos do que as cargas hidráulicas profundas no sistema de cavernas de dissolução,

resultando em gradientes verticais. Uma probabilidade de 0,75 (muito alta) foi atribuída. Os altos gradientes hidráulicos podem levar a fluxos turbulentos rápidos, favorecendo a erosão e dissolução internas, potencialmente relevantes para a formação de dolinas.

As tabelas abaixo ilustram a avaliação de suscetibilidade de vários fatores discutidos anteriormente, e apresenta a média final e o índice de suscetibilidade para o *Site*.

Índice de Suscetibilidade

| Sem Risco | Muito Baixo | Baixo | Moderado | Alto | Muito Alto |
|-----------|-------------|-------|----------|------|------------|
| 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 |

Tabela 5: Avaliação de Suscetibilidade

| Fator | Avaliação de Probabilidade | Probabilidade de (Valor) | Relevância (Peso) | Média (Peso x Valor) |
|---|----------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| Existência de carstes/cavernas | Improvável | 0 | 1 | 0 |
| Presença de calcário | Moderadamente e Provável | 0.25 | 1 | 0.25 |
| Presença de arenito calcário frível | Provável | 0.75 | 0.5 | 0.375 |
| Proximidade de falhas/fraturas | Muito Provável | 1 | 1 | 1 |
| Aumento da precipitação | Provável | 0.75 | 0.5 | 0.375 |
| Aumento de bombeamento / rebaixamento | Provável | 0.75 | 0.5 | 0.375 |
| Fluxos verticais de pressão | Provável | 0.75 | 0.25 | 0.1875 |
| Média geral de causas naturais (índice de suscetibilidade) (Variação média para cada fator analisado, normalizado) | | | | 54% (Moderado) |

A média final é calculada como a probabilidade vezes a classificação de relevância para cada fator analisado, normalizada (dividida pela classificação máxima possível).

A classificação geral de suscetibilidade do *Site* é de 54%, considerada qualitativamente moderada. Isso indica que causas naturais e fatores superficiais, como o bombeamento de águas subterrâneas, têm uma probabilidade moderada de ser uma possível causa ou contribuinte para o desenvolvimento da dolina.

CONCLUSÕES

A documentação e os dados disponíveis foram revisados para avaliar a probabilidade de uma causa natural para a recente formação de uma dolina em Matarandiba. Baseado nos relatórios existentes, dados e condições locais do *Site*, uma causa puramente natural para o poço é improvável, embora as condições naturais

associadas ao bombeamento e escoamento de águas subterrâneas do reservatório não possam ser descartadas como possíveis causas ou fatores intensificadores.

As principais questões que este relatório visa responder são discutidas abaixo:

Q– Existe alguma evidência de um ambiente cárstico natural dentro da área de interesse?

A– Nenhuma evidência de feições cársticas adicionais foi identificada com base na revisão de documentos existentes, literatura acadêmica, pesquisas na web e revisão detalhada das imagens dos *drones* nas paredes da dolina. No entanto, existem formações descritas como calcário ou calcarenitos e outras rochas sedimentares com calcário friáveis que têm potencial de levar a condições cársticas, especialmente próximos de zonas estruturalmente frágeis como zonas de fraturas e falhas, presentes no local.

Q– As causas naturais, como eventos de chuvas fortes ou padrões de erosão local, associados a condições geológico-estruturais, podem resultar em formações de dolinas na área?

A– Sim, há evidências de fortes chuvas durante o tempo em que se acredita que a dolina tenha se formado. Além disso, a forma alongada da dolina sugere que ele pode estar relacionado a dois sistemas de fratura que se cruzam perto do centro da própria dolina.

Q– Existem quaisquer caminhos preferenciais potenciais que poderiam resultar no contato da água doce superficial com solução salina profunda ou outras formações cársticas?

A– Falhas profundas e Sistemas de Fraturas ocorrem em Matarandiba e são claramente identificadas nas seções sísmicas transversais de décadas atrás. Essas falhas estão mapeadas cortando toda a bacia sedimentar. Há também uma série de lineamentos mapeados e orientados de forma paralela e ortogonal às bordas das falhas, e alinhados com o eixo maior e menor da dolina.

Q– Os fenômenos cársticos naturais poderiam ser acelerados ou induzidos por atividades como intensificação do bombeamento dos poços de água ou aumento da infiltração na barragem existente perto das zonas de falha?

A– A possibilidade da água do reservatório escoar em altas velocidades causando a dissolução de arenito calcário cimentado em zonas friáveis não pode ser excluída. Um método simplificado para avaliar a suscetibilidade da área ao dolinamento natural (ou induzido por operações mais rasas) indica uma probabilidade moderada de formação de dolinas, considerando uma confluência de fatores, incluindo:

- Presença de materiais calcários próximos à elevação da dolina;
- Presença de dois sistemas de falhas/fraturas, com o centro da dolina localizado na interseção desses dois sistemas; e a forma alongada da dolina, indicando falha na rocha preferencialmente ao longo do eixo SE-NW do sistema de falhas;
- Redução a longo prazo do lençol freático devido ao bombeamento contínuo das águas subterrâneas;

- Chuvas fortes no momento do dolinamento; e
- Níveis elevados de água no reservatório de água de superfície.

Embora não se possa concluir definitivamente que esses fatores causaram o dolinamento, eles poderiam ter contribuído para a formação dessa dolina. O cenário mais provável não relacionado à mineração profunda requer água subterrânea em movimento rápido ao longo de vias preferenciais (falhas e fraturas), dissolução do cimento calcário de arenitos friáveis, seguida pela lavagem de sedimentos e criação de canais de espaços vazios. O fluxo rápido das águas subterrâneas pode ter sido induzido por 40 anos de bombeamento das águas subterrâneas no poço MWW-102 (onde foi observada areia) e um aumento da infiltração no reservatório. A cobertura de arenito abaixo do(s) conduto(s) poderia eventualmente ter colapsado devido às fortes chuvas e rebaixamento do lençol freático.

A análise da hipótese relacionada às operações de mineração profunda que leva à formação de dolinas está além do escopo deste relatório.

REFERÊNCIAS

- Basso A., Bruno E., Parise M., Pepe M. 2013. "Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy)." *Environ Earth Sci.* 70: 2545–2559.
- Botelho, M.A.B. 2018. Second geophysics report.
- Botelho, M.A.B. 2019. Accelerated weight drop seismic report.
- Cirano, M. and G.C. Lessa. 2007. "Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil." *Brazilian Journal of Geophysics (Revista Brasileira de Geofísica)*, 25(4), p 363–387.
- Da Silva, O.B., J.M. Caixeta, P. Da Silva Milhomem, and M.D. Kosin. 2007. "Recôncavo basin." *Boletim de Geociências da Petrobras*. 15(2). p 423-431.
- Fonseca, J. I. 1966. "Geological outline of the Lower Cretaceous Bahia Supergroup, Brazil." *Proceedings of the Second West African Micropaleontological Colloquium*. Ed. J. E. van Hinte. ISBN: 978-90-04-00929-5.
- Guimarães, J.T., E. M. Grissolia, J.C. S. Ferreira, J. L. M. de Souza, P. M. Villar, R. Santiago, and V. S. Sobrinho. 2018. *Preliminary Report, Matarandiba Island/Bahia*. Brazil Geological Service (CPRM), Salvador. 23 pages.
- Halliday, W. R., 2007. "Pseudokarst in the 21st century." *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, no. 1, p 103-113.
- Hertzing, J. 2004. Solution mining in bedded salt—Aratu, Brazil. Solution Mining Research Institute Technical Conference Paper. Wichita, Wichita, KS.
- Intrieri, E., G. Gigli, M. Nocentini, L. Lombardi, F. Mugnai, F. Fidolini, and N. Casagli. 2015. "Sinkhole monitoring and early warning: An experimental and successful GB-InSAR application." *Geomorphology*, vol 241, p 304-314.
- Kobal, M., I. Bertonecelj, F. Pirotti, I. Dakskobler, and L. Kutnar. 2013. "Using Lidar data to analyse sinkhole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover—case study of a high karst area in the dinaric mountains." *PLOS ONE*, vol 10 no 3. Article Number: e0122070.
- Mecchia, M., F. Sauro, A. Columbu and J. De Waele. 2019. "A hybrid model to evaluate subsurface chemical weathering and fracture karstification in quartz sandstone." *Journal of Hydrology*, vol. 572, p 745-760.
- Nanometrics. 2019. *DOW Chemical Passive Seismic Array Monitoring Report #8*.
- OrtoPixel. 2019. Technical Report of Developed Activity – Aerophotogrammetric Survey.

- Palacky, G. 1987. Resistivity Characteristics of Geological Targets. In: Nabighian, M., Ed., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Theory*, Society of Exploration Geophysicists Tulsa, OK, p 53-129.
- Parise, M., L. Pisano, and C. Vennari. 2018. "Sinkhole clusters after heavy rainstorms." *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 80, no. 1, p 28–38.
- RE/SPEC Inc. 1998. *Long-term stability of the common cavern system at Dow Chemical's brine mining facility on Matarandiba Island, Brazil*. Topical report RSI-0905.
- Roningen, J. and T. Burbey. 2012. "Hydrogeologic Controls on Lake Level at Mountain Lake, Virginia." *Hydrogeology Journal*, v. 20, no. 6, p 1149–1167.
- Sauro, F., M. Mecchia, L. Piccini, J. De Waele, C. Carbone, A. Colummbu, L. Pisani, and F. Vergara. 2019. "Genesis of giant sinkholes and caves in the quartz sandstone of Sarisariñama tepui, Venezuela." *Geomorphology*, p 223-238.
- Theron, A., and J. Engelbrecht. 2018. The Role of Earth Observation, with a Focus on SAR Interferometry, for Sinkhole Hazard Assessment. *Remote Sensing*, v. 10, 1506.
- Tre Altamira. 2018. *SqueeSAR Analysis of Ground Movement over the Matarandiba Solution Mining Facility*.
- USGS (United States Geological Survey). 2019. *Earthquake Hazards Program*. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Waltham, T., Bell, F. and Culshaw, M. 2005. Sinkholes and Subsidence, Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction. Praxis Publishing, UK.
- Wray, R. A. L. and F. Sauro. 2017. "An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites." *Earth-Science Reviews*, vol. 171, p 520-557.

Technical Memo



| | |
|------------------|--|
| To | The Dow Chemical Company Jeff Hertzog, Technical Director—Cavern Operations—Mining Storage A.P. Beutel Bldg., 332 SH 332 Lake Jackson, TX 77566 |
| From | ERM |
| Date | 6 September 2019 |
| Reference | 0514406 |
| Subject | Evaluation of Matarandiba Brine Operations Sinkhole Development |

Dear Jeff,

Environmental Resources Management, Inc. (ERM) is pleased to submit an evaluation of the potential causes of the recent formation of a sinkhole near Dow's deep dissolution mine operations ("the Site") on the Island of Matarandiba in Bahia, Brazil (Figure 1). Potential causes include the presence of limestone layers, fractures, heavy rainfall, shallow water pumping, or deep mining operations. Dow requested that this assessment focus on the likelihood of sinkhole formation due to natural factors and shallow groundwater pumping that could potentially accelerate natural sinkhole development.

Among the questions posed by Dow, the following are most relevant:

- Is there any evidence of naturally occurring karstic environment within the area of interest?
- Could natural causes such as high rainfall events or local erosion patterns, associated with geological-structural conditions result in sinkhole formations in the area?
- Are there any potential preferential pathways that could result in the contact of shallow freshwater with deep saline or other karstic formations?
- Could natural karstification phenomena be accelerated or induced by activities such as water well intensified pumping, or increasing seepage from the existing dam close to fault zones?
- Could shallow well integrity issues have contributed to the sinkhole formation?

Existing data, maps, and studies about the geologic and hydrogeological conditions of the area were reviewed to develop an independent conceptual site model and evaluate potential natural causes of the sinkhole. While it is not possible to conclude that natural factors caused the sinkhole, these natural conditions and shallow factors could have contributed to the sinkhole formation. The most likely scenario not related to deep mining requires fast moving groundwater along preferential pathways (fractures), dissolution of lime cement from friable sandstones, followed by washing out of sediments and creating conduit voids. Fast groundwater flow may have been induced by 40 years of groundwater pumping from a nearby water well enhancing seepage from the reservoir. Heavy rainfalls or a rise in the reservoir water level might eventually trigger the

collapse of the competent sandstone roof above the conduit(s). Multiple lines of evidence potentially supporting this scenario are described in the sections that follow.

BACKGROUND AND INTRODUCTION

The Matarandiba sinkhole (“the sinkhole”) formed at the surface sometime between 4 March and 30 May 2018, based on comparison of satellite imagery and sinkhole discovery. This review included available Site data relevant to the sinkhole formation, as well as academic literature. Site data reviewed included well logs, water level measurements, water quality data, precipitation data, reports summarizing geophysical surveys, satellite interferometric synthetic-aperture radar (InSAR) observations, passive seismic surveys, subsidence measurements, drone surveys and Site stratigraphy. The Institute for Geomechanics in Leipzig Germany previously conducted a geomechanical analysis of the potential brine-mining related causes of the sinkhole that will not be considered in detail in this report.

Figure 5 presents the location of the sinkhole, with deep mining caverns depicted (a zoomed in view of the area near the sinkhole is presented in Figure 5). The sinkhole developed just east of two smaller caverns east of the primary system of connected caverns is called the Common Cavern System (CCS). The CCS was mined in the 1980's and formed by the mining of the salt formation in between extraction wells. CCS operations were discontinued due to the risk of roof collapse and surface subsidence (RE/SPEC 1998). Other features of interest include the surface water reservoir west of the sinkhole and a number of structural lineaments (linear features on the earth's surface that may be expressions of subsurface structures such as faults or fractures) discussed later in this report.

No other sinkholes, caves or karstic features were identified on the island based on a review of available satellite imagery technologies. InSAR data used by Dow to monitor changes in surface topography, is of limited value for mapping existing sinkholes: the low spatial resolution is less than typical sinkhole dimensions. However, differential InSAR monitoring can measure centimeter to millimeter scale deformation of the surface, allowing for potential sinkhole precursor detection. Higher resolution airborne Light Detection and Ranging (LiDAR) is more suitable over InSAR for inventorying existing sinkholes, but has not been collected at the Site as it does not support precursor deformation monitoring (Theron and Engelbrecht 2018).

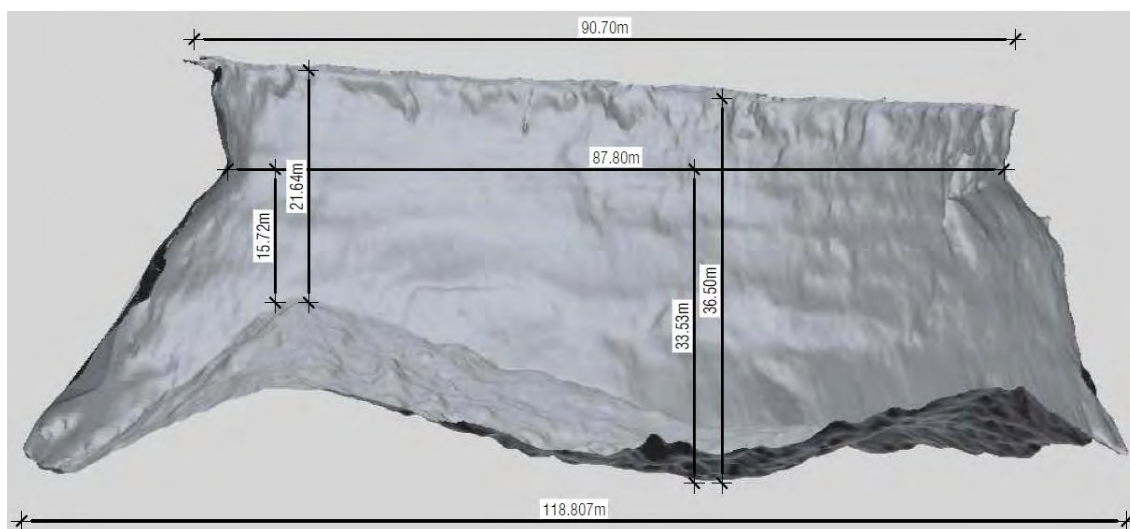
Figure 1: Site map



SINKHOLE GEOMETRY

The sinkhole is characterized by seven main morphometric parameters (Kobal et al 2015), available from drone photogrammetry conducted by Dow in June 2018 (Figure 2) and review of satellite imagery review. Parameters are listed in Table 1.

Figure 2: Drone photogrammetry of the sinkhole



Source: OrtoPixel 2019

Table 1: Matarandiba sinkhole morphometric parameters

| Parameter | Measurement |
|-------------------------|-----------------|
| Length of Major Axis | 90.70 meters |
| Length of Minor Axis | 40.90 meters |
| Depth | 36.5 meters |
| Elongation Ratio (Re) | 2.22, elongated |
| Azimuth of Major Axis | N 40.52° E |
| Distance from Shoreline | ~500 meters |

Based on Basso et al. (2013), sinkholes have four classification groups, based on the “Re”, defined as the ratio between the major and minor axes: (i) circular and sub-circular ($Re \leq 1.21$); (ii) elliptical ($1.21 < Re \leq 1.65$); (iii) sub-elliptical ($1.65 < Re \leq 1.8$); and (iv) elongated ($Re > 1.8$). The sinkhole is classified as elongated with the azimuth of the major axis at N 40.52° E, as presented in Table 1. Bedrock sinkholes formed by collapse into caverns (known as collapse sinkholes) tend to be more circular because the stoping process smooths out any fracture pattern irregularities that guided dissolution in the soluble rock below (Waltham et al. 2005). The elongated shape of

this sinkhole suggests it could be potentially associated with a fault or fracture, rather than a collapse into a large open void.

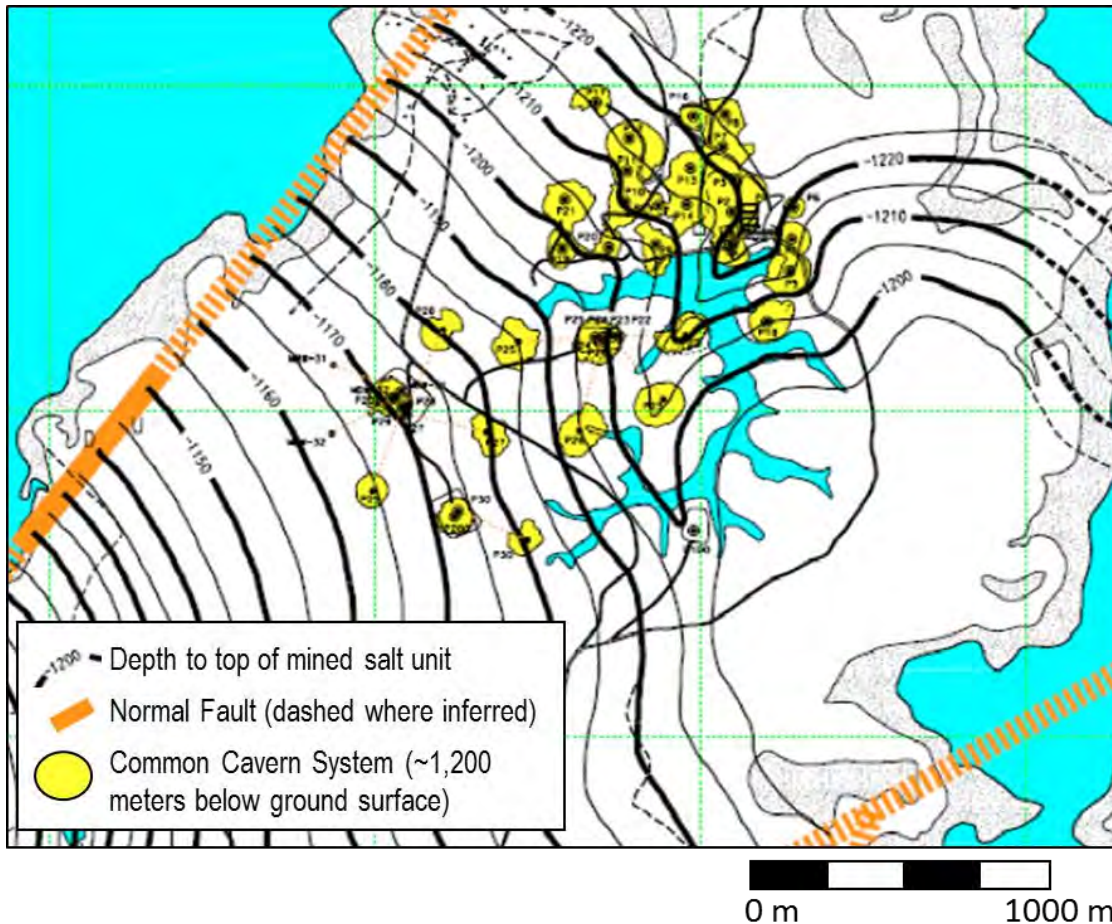
GEOLOGICAL SETTING

Stratigraphy at the Site compiled from Dow boring logs and literature sources (Fonseca 1966, Da Silva et al. 2007). Available information was reviewed to search for the presence of rocks that could be susceptible to dissolution and natural cave formation. While most of the sedimentary formations above the salt layers mined by Dow are composed of consolidated sandstones, there are units of limestone and other calciferous rock layers within the upper sedimentary units. Table 2 describes the local stratigraphy where calciferous rocks are present.

Table 2: Site stratigraphy

| Lithology Description | Thickness (meters) |
|--|--|
| Interbedded shale and sandstone, marl (typically 25–75% carbonate), friable calcite-cemented sandstone, calcareous shale, siltstone, and calcilutite (a type of limestone composed predominantly of clay and/or silt size carbonate grains). | 10 – 50 (?) |
| Fossiliferous and carbonaceous shales and siltstones, friable sandstones, and thin layers of micrite (microcrystalline limestone) | 150 – 170 |
| Fine sandstone, poorly sorted, cross-bedded, with conglomerate and pelite (mudstone) beds. | 320 – 450 |
| Upper: Laminated micaceous shale. | 25 – 75 |
| Middle: Fine to medium grained sandstones, interbedded shales, and thin limestone. | 150 – 340 |
| Lower: Siltstones and shale with limestone, anhydrite, and gypsum. Rock salt (60+ m thick) in some locations. | 300 – 456 depth: (1,200–1,300 m) |
| Granitic gneiss | - |

The mined salt unit at the Site is approximately 1,200 meters below ground surface and about 60 to 70 meters thick. The Brazil Geological Services Report (Guimarães et al. 2019) includes a conceptual figure showing salt domes and diapirs, where diapirism is a mechanism that could bring salt closer to the surface. However, Site seismic lines and boring logs indicate that the unit is a flat bedded salt with no evidence of diapirism. The top of salt was identified by Dow in 1995, as shown on Figure 3.

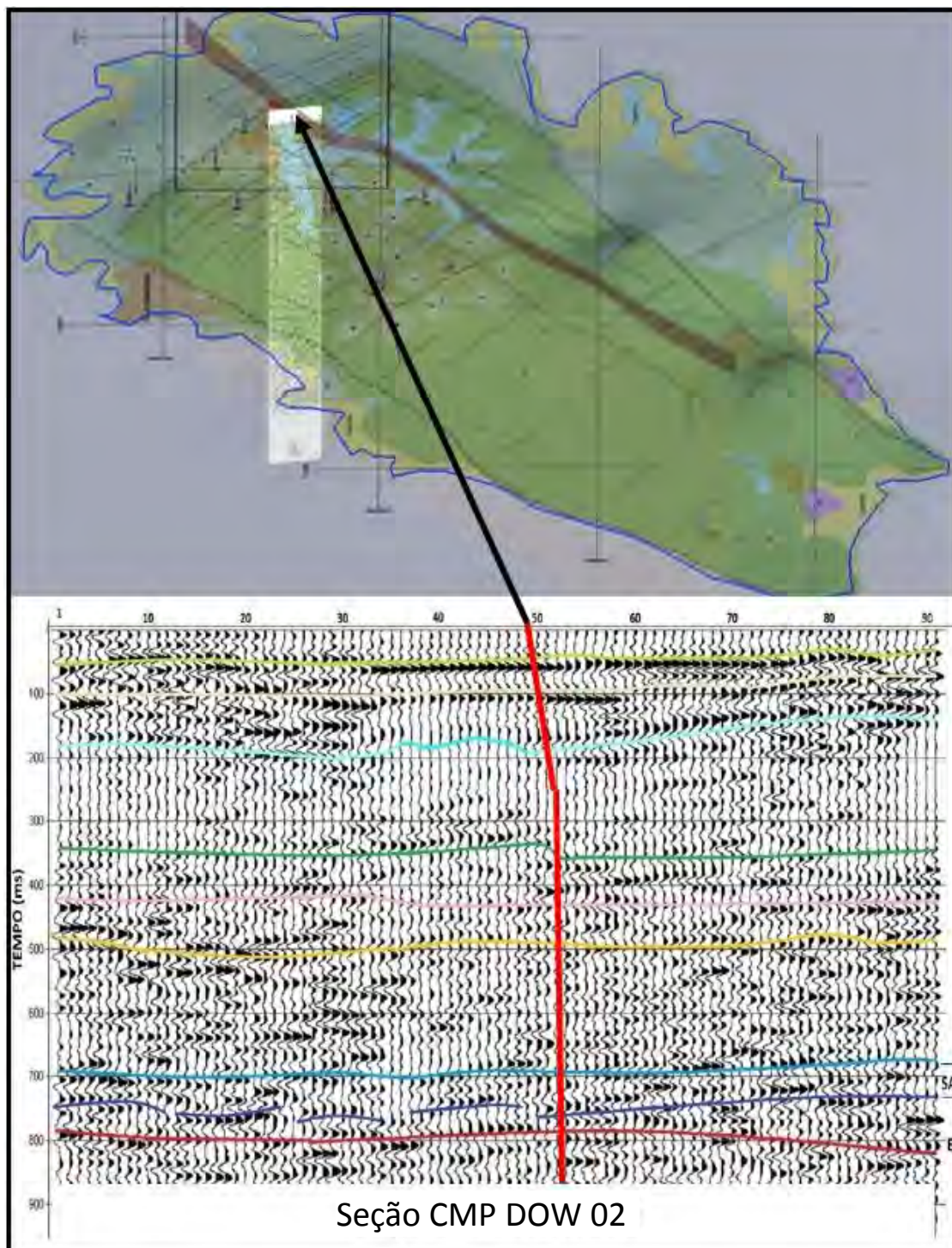
Figure 3: Top of salt topography

Source: DOW 1995

The Island of Matarandiba is a horst (fault block bounded by steeply dipping normal faults) in the southern end of the Recôncavo rift basin. The azimuth of the east and west boundary faults are mapped as N48°E and N39°E (Guimarães et al. 2019). There are a series of lineaments oriented parallel and orthogonal to the boundary faults, as shown on Figure 4.

The azimuth of the major axis of the sinkhole (N 40.52° E) is aligned with the primary fracture population and parallel to the eastern boundary fault. There are a series of mapped lineaments that align with the major axis of the sinkhole and can be extrapolated along its azimuth to align with a series of mapped lineaments (Guimarães et al. 2019) and minor offsets observed on a seismic survey conducted near the sinkhole (Botelho 2019). Figure 4 shows evidence for the lineament that aligns with the major axis of the sinkhole.

Figure 4: Lineament aligned with sinkhole



Map adapted from Guimarães et al. 2019. Seismic line from Botelho 2019.

Sinkholes typically form in soluble rocks (e.g., limestone, dolomite and gypsum), but similar processes and morphology have been described in other rocks, including sandstone (which is the primary lithology at the Site, as described in Table 2). Dissolution weathering or “arenization” in quartz sandstone may occur on timescales of greater than 90,000 years, and is most common in areas that have been geologically stable for millions of years (Mecchia et al. 2019, Wray and Sauro 2017). Sinkholes in sandstone are more commonly “pseudokarst,” which differ from true karst as they are primarily produced by drainage or collapse through conduit-type voids rather than dissolution. If the observed collapse is associated with fracture(s) rather than underlying carbonate or salt, the geomorphology is classified as crevice pseudokarst (Halliday 2007).

Thin-bedded limestone units are not typically prone to developing extensive caverns because they tend to collapse on smaller scales (Waltham et al. 2005). However, these fractures may provide primary flow pathways for fresh water (as precipitation, from reservoir leakage, or flow induced through pumping) to dissolve limestone and friable calcite-cemented sandstone units (Table 2). Along a permeable fracture, these units may be particularly susceptible to dissolution, erosion and cavern formation. Nonetheless, the hydrologic significance of the fracture permeability cannot be confirmed without additional aquifer testing and higher resolution groundwater-level information.

HYDROGEOLOGY

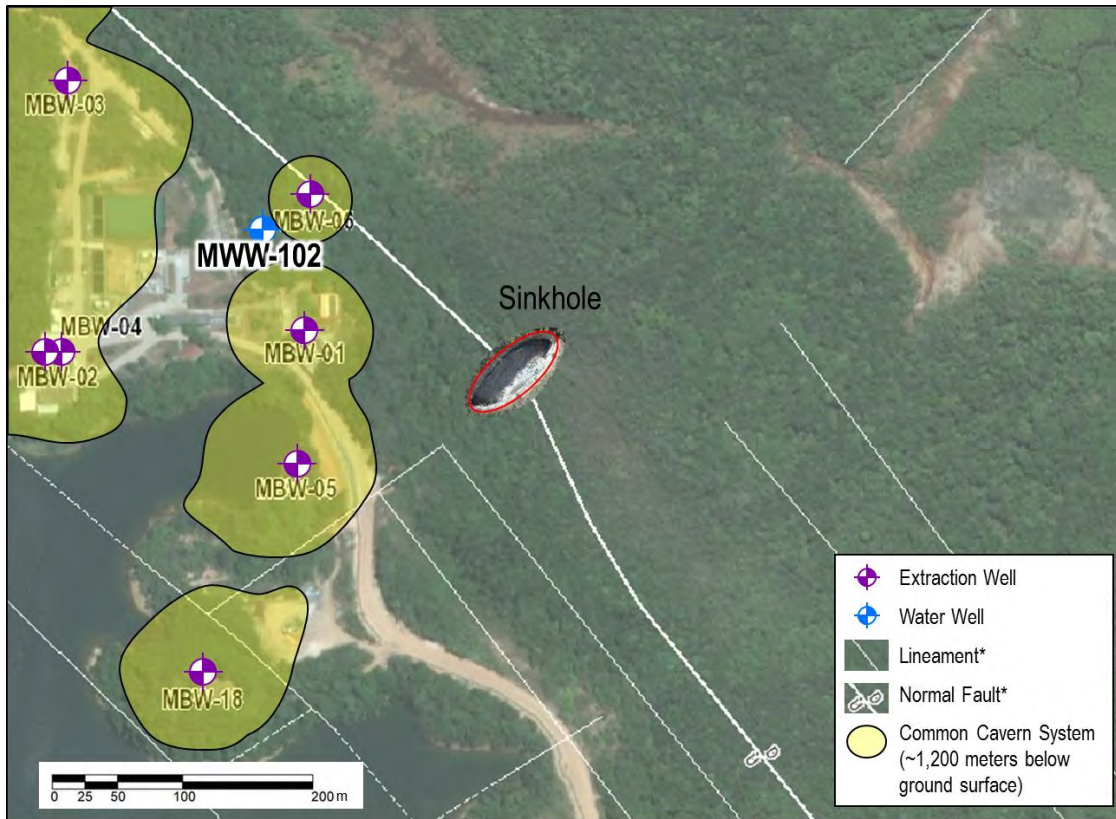
There are six water supply wells on the island, Matarandiba Water Well (MMW)-101 through MMW-106 (Figure 5). Production records for these wells dating back to 2013 were available, with total pumping and pumping of MMW-102 plotted in Figure 6. Production rates were stable during sinkhole formation (noted by the grey vertical bar), but sustained pumping for 40 years has depressed water levels across the island (based on comparison of static water levels from 1974 and 2018; Table 3 and Figure 7). The lowering of the water table associated with water well pumping and the subsequent increase in effective stress on the drained formation may induce incipient collapse if conditions are favorable (Roningen and Burbey 2012). The static water levels in the shallow water pumping wells are presented in Table 3.

Table 3: Static water levels in shallow water pumping wells

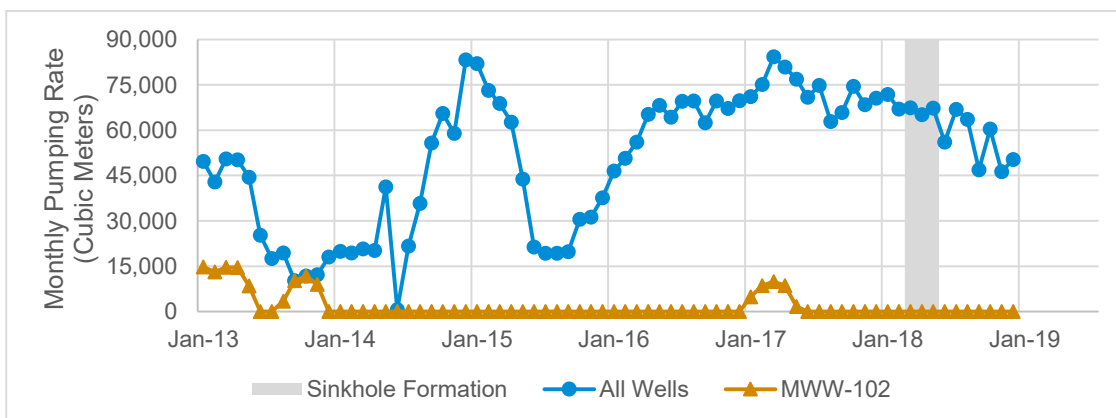
| Well | Total Depth (meters) | Static Water Level (meters) ² | |
|---------|----------------------|--|-----------|
| | | From Well Log | June 2018 |
| MMW-101 | 151 | 3.35 ¹ | 68.62 |
| MMW-102 | 170 | 10.98 ¹ | 73.87 |
| MMW-103 | 160 | 2.75 ¹ | 67.06 |
| MMW-104 | 160 | 9.19 ¹ | 77.81 |
| MMW-105 | 197 | 43.75 ² | 60.00 |
| MMW-106 | 150 | 64.32 ² | - |

1- September to December 1974; 2- June 1981. 2- meters below top of casing

MMW-102 is approximately 215 meters northwest of the sinkhole (Figure 5), is 170 meters deep, and had a static water level of 10.98 meters when it was installed in October 1974 (Figure 7). In recent years, static water levels in MMW-102 have been around 70 meters below top of casing, suggesting that sustained groundwater pumping might have caused regional water level declines.

Figure 5: Wells and lineaments near the sinkhole

*Lineaments and Normal Fault from Guimarães et al. 2019.

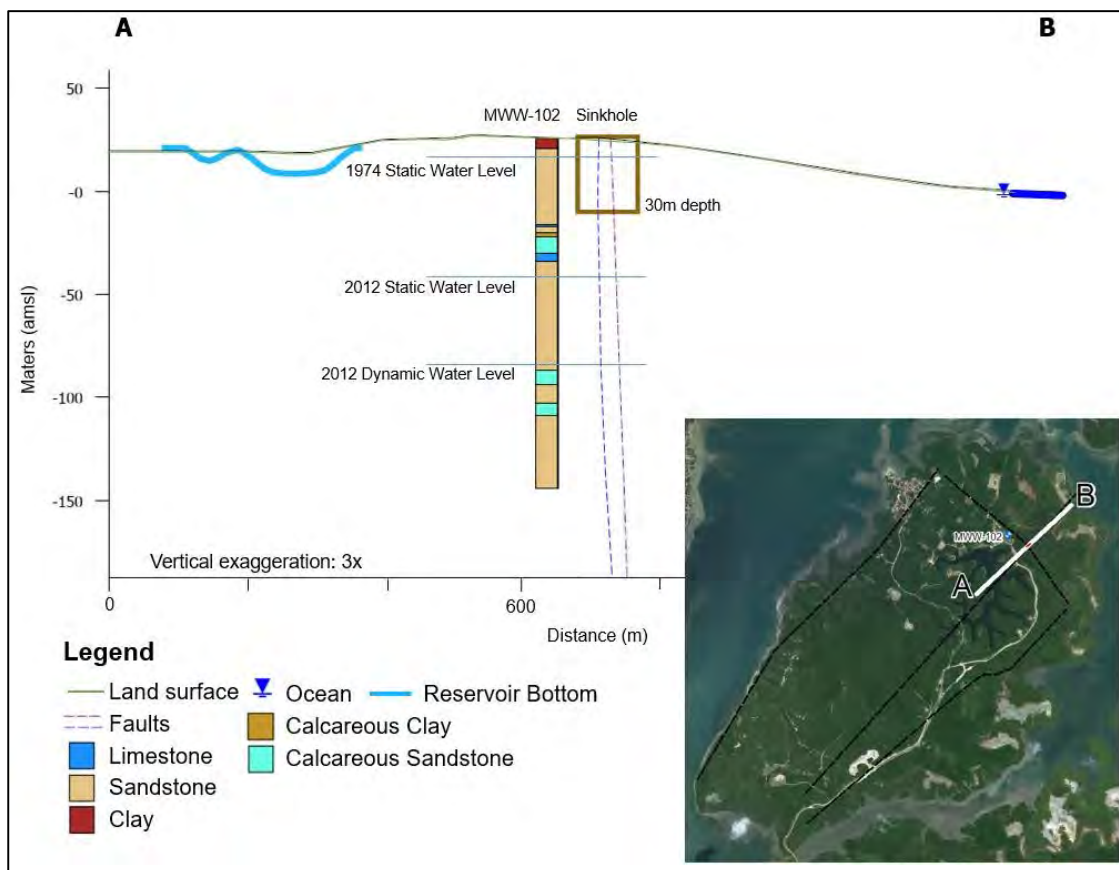
Figure 6: Groundwater production

The boring log for MWW-102 describes limestone beds, calcareous sandy clay, and interbedded calcareous sandstone with limestone in the screened bedrock units. Three of the well intakes are

set within the limestone beds, at 52.79 to 55.79, 113.01 to 116.01, and 116.61 to 119.61 meters below top of casing. Figure 7 presents this well's lithological log in relation to the sinkhole and the nearby surface water reservoir.

In 2014, fine granular material was observed in MWW-102, causing the well to be taken out of service until it was cleaned and rehabilitated in January 2017 (the pumping rate of MWW-102 is plotted on Figure 6). The fine granular material may be associated with friable layers of calcareous fine-grained sandstone that has undergone natural dissolution processes of the cementation material accelerated by high near-bore velocities induced by pumping.

Figure 7: Cross section A-B



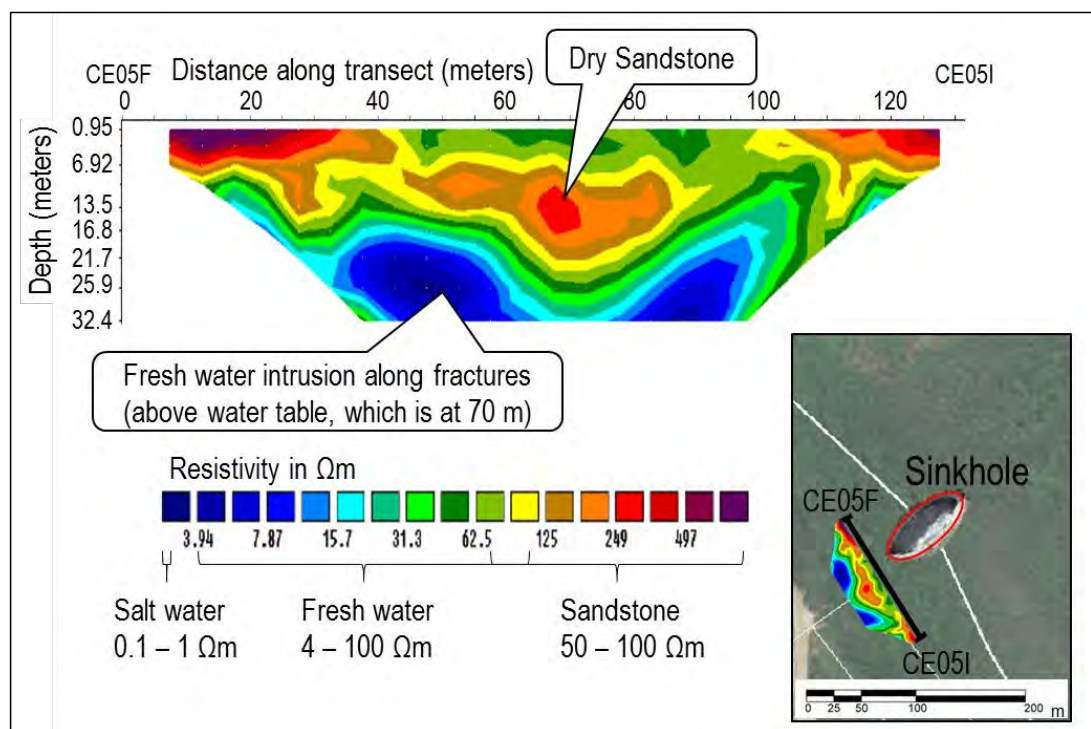
MWW-102 showed evidence of mixing with a higher chloride concentration water after the well was rehabilitated in January 2017. Elevated chloride concentrations were also measured while the well was dormant in June 2018, shortly after the sinkhole was discovered (Table 4). Sodium chloride concentrations decreased after pumping, indicating primary connection to the transmissive fresh water aquifer under stressed conditions.

Table 4: Chloride concentrations observed in MWW-102

| Date of Observation | NaCl (milligrams per liter) |
|---------------------|-----------------------------|
| 4 June 2018 | 8,200 |
| 4 June 2018 | 7,330 |
| 5 June 2018 | 23,000 |
| 13 June 2018 | 38 |

Higher chloride concentrations may be attributable to either saltwater intrusion caused by the depressed regional water table in the bedrock aquifer (2012 dynamic water level in Figure 7), or upward migration of brine from past mining operations. The maximum concentration observed at MWW-102 was 23,000 milligrams per liter, which is less than the mean salinity of 36,400 milligrams per liter that has been observed in the Todos os Santos Bay (Figure 1) (Cirano 2007). Elevated chloride concentrations sourced from either saltwater intrusion or deep brine cannot be confirmed or ruled out without a more comprehensive water quality analysis.

As shown in Figure 8, Resistivity survey results suggest fresh water may be present near the sinkhole at depths of 20 to 30 meters, based on characteristic resistivity (Palacky 1987). The higher resistivity identified in the report (Botelho 2018) as a possible concavity is in the range expected for dry sandstone. An air filled cavity would be expected to have resistivity greater than 1,000 ohm meter, similar to limestone (Waltham et al. 2005).

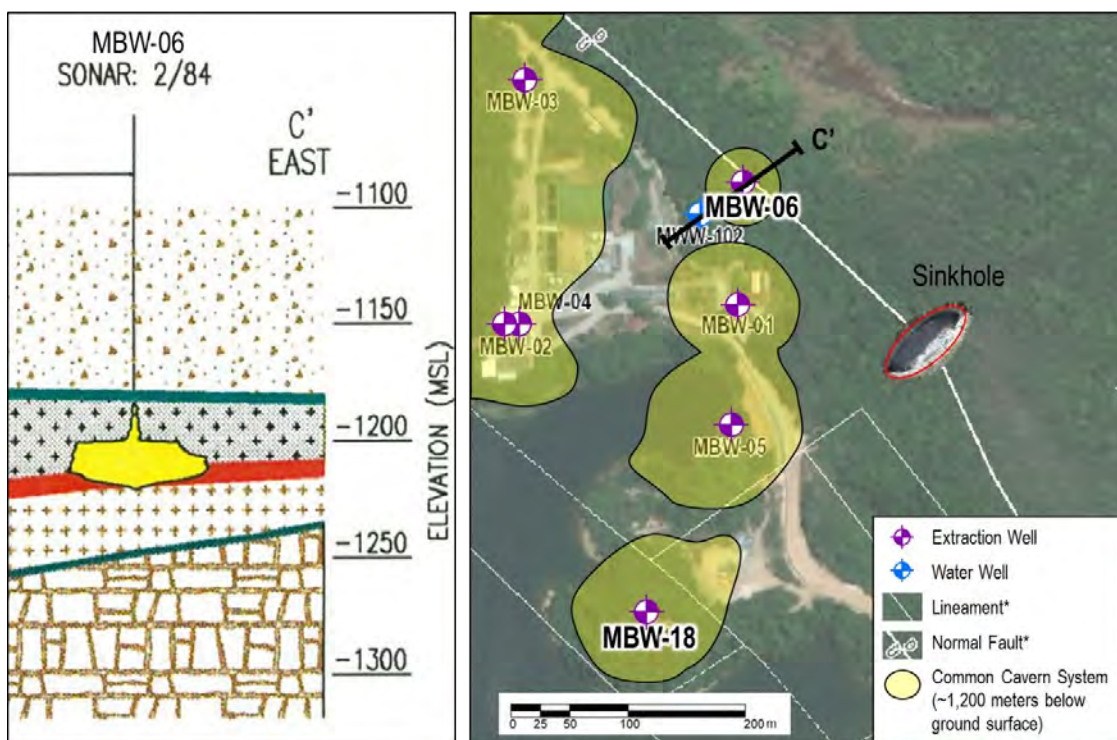
Figure 8: Resistivity profile near the sinkhole

Source: Adapted from Botelho 2018. Interpreted based on Palacky 1987. White lines shown on the inset map are lineaments and a normal fault mapped by Guimarães et al. 2019.

SALT MINING NEAR THE SINKHOLE

The brine extraction wells nearest to the sinkhole (Matarandiba Brine Well [MBW]-1, -5, and -6) were reportedly plugged. Based on sonar data collected between 1984 and 1996, these locations were not considered part of CCS (RE/SPEC 1998), but the caverns might have expanded since then through stoping and dissolution. According to the 1984 sonar survey, the cavern roof at MBW-6 had progressed upward to the upper anhydrite unit (Figure 9).

Figure 9: MBW-6 dissolution cavern from 1984 sonar survey



Source: Cross section from RE/SPEC 1998. Lineaments and Normal Fault mapped by Guimarães et al. 2019

Former brine well MBW-18 is still open for monitoring, and is located to the southwest along the azimuth of the major axis of the sinkhole. Comparing fluid levels measured in MBW-18 (2018 fluid level at 27.5 meters, open at 1,210 meters depth) to water well MWW-102 (2018 static level of 73.87 meters, with multiple screens from 52 to 170 meters depth) suggests an upward vertical hydraulic gradient of approximately 0.041 (without correction for density effects). Dow's downhole wireline logging of this brine well show that damage has not progressed above 1,200 meters.

SINKHOLE TRIGGERS

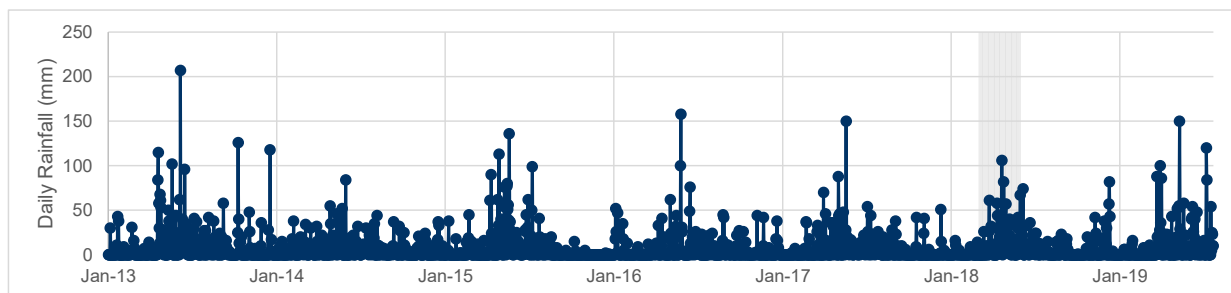
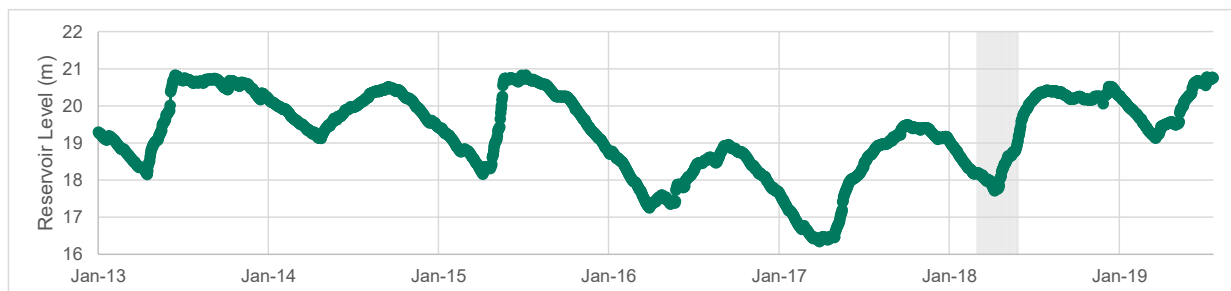
If subsurface cavities or conduit-type voids are present, sinkholes can be triggered by natural (e.g., earthquakes) or man-made vibrations (e.g. construction activities), surface loading

(e.g. water in a reservoir), ingress of water, or as a result of dewatering. Key to triggering a sinkhole is the requirement of a pre-existing cave or conduit system.

No earthquakes were reported in the region in 2018 in the global catalog (USGS 2019). Ongoing passive seismic monitoring since 23 August 2018 has located more than 140 microearthquake seismic events within the area of interest, with a maximum magnitude of 1.10 (Nanometrics 2019). The majority of these events occurred at estimated depths of approximately 1.5 kilometers, and are likely deeper than the CCS. Low intensity microearthquakes with deep hypocenters are unlikely to trigger a sinkhole at the surface due to attenuation.

Natural sinkholes within a favorable geological setting are often triggered by rainfall events (Parise, Pisano and Venari 2018). Daily rainfall measurements from the sinkhole development timeframe show a single day with greater than 100 millimeters of precipitation (20 April 2018), which is not unusual for the rainy season locally. In this record, there was at least one rainfall event of greater than 100 millimeters every year except 2014 (Figure 10).

Surface water reservoir water levels varied by 4.5 meters over the past 6 years, with a maximum annual variation of 3.14 meters in 2017 (Figure 11). The increasing water level during the sinkhole timeframe is attributed to normal seasonal variability.

Figure 10: Daily rainfall, 2013–2019**Figure 11: Surface water reservoir levels, 2013–2019**

POSSIBLE CONCEPTUAL MODEL OF NATURAL SINKHOLE FORMATION

From the overview of available data discussed above and a review of literature about similar environments, dissolution of shallow calciferous strata along a fracture might be a possible explanation for the formation of the sinkhole.

This is based on a number of lines of evidence that support conditions favorable to sinkhole formation, including:

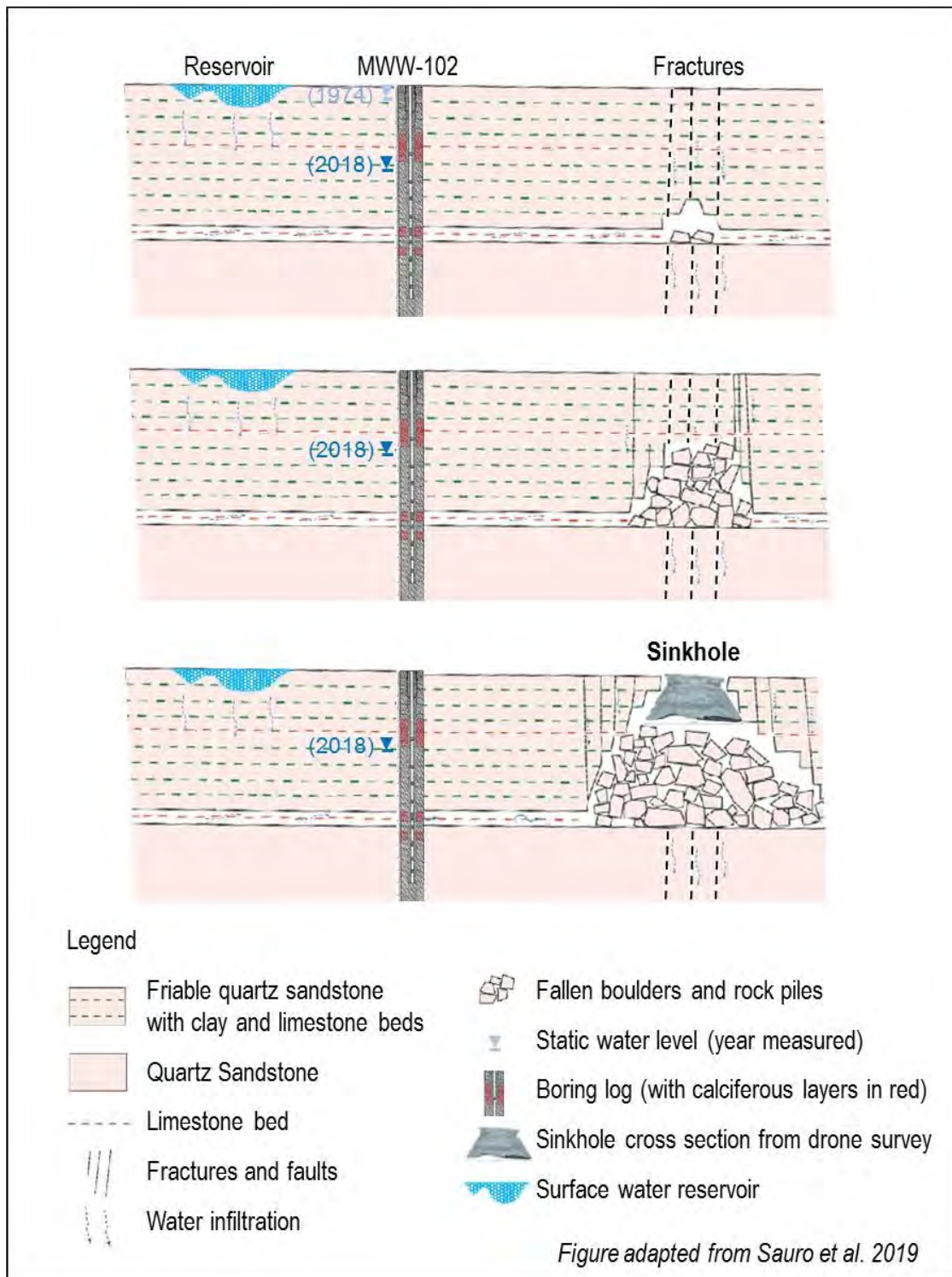
- Shallow bedrock stratigraphy that includes lithology susceptible to dissolution;
- The sinkhole's elongated shape, alignment with mapped lineaments; and
- Observations of fine granular material at water well MWW-102, which confirms the presence of friable layers of calcareous fine-grained sandstone and natural dissolution of calcareous cement.

As the Site stratigraphy does not include significant thicknesses of pure limestone that could facilitate rapid dissolution and formation of voids, a mechanism that involves void formation in friable sandstones would be required. This hypothesis requires fast moving groundwater (which could be induced by pumping at a nearby well or induced by reservoir recharge and preferential flow along fractures), and the presence of friable sandstone.

Natural hydrogeologic factors that are favorable to sinkhole formation here include preferential groundwater flow along inception horizons (e.g., limestone beds), intersection with fracture systems weathered by water infiltration, and upward propagation of collapse to the surface. Similar processes are observed in the formation sinkholes in sandstone in the Sarisariñama tepui of Venezuela (Sauro et al. 2019).

At the Site, the natural dissolution processes could have been accelerated or induced by shallow groundwater extraction at MWW-102, as well as increased hydraulic head from the water reservoir, along the fracture, as illustrated on Figure 12. Sustained groundwater pumping throughout the island in conjunction with high water entry velocity at well MWW-102 and proximity to a fracture might have contributed to the dissolution of the calcareous cement and weakened the integrity of the sandstones in the area, leading to the formation of the sinkhole.

Other contributing elements may include rapid recharge flows from the reservoir moving through the SW-NE fracture(s) that could wash away fine particles preferentially along the fracture plane; and high rainfall events increasing the effective stress on the roof, by increasing the total weight via water saturation.

Figure 12: Conceptual model of shallow limestone bed dissolution

While this conceptual model is a possible explanation for the sinkhole development, this hypothesis cannot fully explain how a large enough volume of sand and limestone could have developed a void at depth. The sinkhole volume is too high to be explained solely by groundwater pumping at well MWW-102. Large volumes of fine lime-cemented sand might have migrated into nearby open spaces in the subsurface (open fractures or other conduits), but seismic evidence (Botelho 2019) suggests no karstic features were found. However, the seismic survey might not be sensitive enough to locate smaller features that, in combination, may result in large volumes. The likelihood of causes not related to the deep mining for the sinkhole using this potential conceptual model is discussed below.

LIKELIHOOD OF NATURAL SINKHOLE FORMATION AT MATARANDIBA

Natural sinkhole formation is a complex process that involves several factors and pre-existing conditions. Sinkholes are most likely to form in areas with pre-existing karstic features (caves or conduits), closer to fractures or faults, and/or close to significant groundwater pumping activities with high water level drawdown. While it is not possible to conclude whether it is possible for a sinkhole to have naturally developed at the Site without the influence of mining operations, the evaluation of key factors described above allows us to estimate the qualitative susceptibility for a terrain to develop sinkholes.

A relative susceptibility index was developed to help assess whether Matarandiba Island is likely to develop sinkholes naturally, or with contributions from pumping of water wells and the surface water reservoir. This approach is based on groundwater vulnerability assessment methods (Moraru and Hannigan 2017) that use a weighted average of various risk factors. Each individual trigger or condition is assigned a value representing its likelihood to be present at the Site and relevance for sinkhole formation. Values vary between 0 (not likely or irrelevant) and 1 (very likely and highly relevant to sinkhole formation).

Each individual likelihood index is multiplied by the relevance index, and the final rating is represented by a normalized average of all individual ratings. This value is then categorized into an overall susceptibility index that varies from no risk (not susceptible to sinkhole formation), to high risk (very likely to develop sinkholes).

For example, if an area has known karstic features such as natural caves or conduits, the likelihood index would be high, close to 1. Cave collapses are very likely in karstic zones, therefore the relevance in terms of sinkhole development is very high, and so a weight of 1 would be assigned to the relevance column, resulting in a high susceptibility rating for natural sinkhole formation. For Matarandiba; however, there is no evidence of existing karstic conditions so the likelihood for this item is zero although the relevance for sinkhole development index would still be 1. This results in a rating of zero (zero multiplied by 1).

Karstic features, if present, would be enough to assign a high susceptibility index. However, if the factor is not present or unlikely, as it is the case at Matarandiba, other factors (such as proximity to faults) are evaluated. A site with faults and fractures is not necessarily prone to sinkholes. However, if there are limestone layers and significant groundwater pumping and extreme rainfall, the possibility of sinkhole development increases. This methodology attempts to estimate the combined effects of these variables to come up with an overall susceptibility value.

Although the values assigned to each factor analyzed are somewhat subjective, based on evaluation of existing information, the matrix can be altered with alternative evaluations to assess the overall ranking sensitivity. The evaluation could be expanded beyond the scope of this assessment to include man-made factors related to the deep mining operation.

Table 5 presents a susceptibility evaluation of the various factors for Matarandiba, and rationale for each value is described below.

- Existing karst/caves: The likelihood of natural near surface caves of karstic conduits in the Matarandiba area is considered negligible. Highly relevant because sinkhole formation risk is high in karstic terrain where caves are known to exist.
- Presence of limestone: Stratigraphic descriptions showed the presence of limestone layers, but they are less than 10 meters thick. A likelihood of 0.25 (very low) was assigned. Limestone is a soluble rock that commonly forms dissolution voids and caves that are highly relevant to sinkhole formation.
- Presence of friable calcareous sandstones: Stratigraphic descriptions suggest adequate thickness of this lithology near the current sinkhole. A likelihood of 0.75 (very likely) was assigned. Dissolution of calcareous cementation can weaken sandstone to the point where friable sand may become mobile, which may be relevant to sinkhole formation.
- Proximity to faults/fractures: There are several mapped faults and lineaments as well as a seismic survey identifying a fracture traversing the sinkhole along its long axis. A likelihood of 1 (highly likely) was assigned. Faults and fractures may have broken/crumbled zones that can act as pathways for fluid migration resulting in increased dilution potential, which is highly relevant to sinkhole formation above conduit voids.
- Increase in rainfall: The sinkhole formed at the beginning of the rainy season. A likelihood of 0.75 (very likely) was assigned. Heavy rainfall events are somewhat relevant, as they are known to trigger sinkholes if subsurface conditions are susceptible to collapse.
- Proximity to pumping wells and water level declines: Regional water level declines have been measured at all water wells as a result of decades of pumping. A likelihood of 0.75 (likely) was assigned. This factor is relevant, as sinkholes often occur as water tables are depressed from anthropogenic pumping resulting in increased strain on the formation.
- Pressure driven vertical flows: The area is under the influence of the surface water reservoir, and the water levels within shallow aquifers is higher than the hydraulic heads deep in the dissolution cavern system, resulting in vertical gradients. A likelihood of 0.75 (likely) was assigned. High hydraulic gradients may lead to rapid turbulent flows favoring internal erosion and dissolution, potentially relevant to sinkhole formation.

The tables below illustrate the susceptibility evaluation of the various factors discussed above, and present the final ratings and susceptibility index for the Site.

Susceptibility Index

| No Risk | Very Low | Low | Moderate | High | Very High |
|---------|----------|-----|----------|------|-----------|
| 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 |

Table 5: Susceptibility evaluation

| Factor | Likelihood Assessment | Likelihood (Value) | Relevance (Weight) | Rating (Weight x Value) |
|--|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| Existing karstic/caves | Not Likely | 0 | 1 | 0 |
| Presence of limestone | Moderately Likely | 0.25 | 1 | 0.25 |
| Presence of calcareous and friable sandstone | Likely | 0.75 | 0.5 | 0.375 |
| Proximity to faults/fractures | Highly Likely | 1 | 1 | 1 |
| Increase in rainfall | Likely | 0.75 | 0.5 | 0.375 |
| Increased pumping/drawdown | Likely | 0.75 | 0.5 | 0.375 |
| Pressure driven vertical flow | Likely | 0.75 | 0.25 | 0.1875 |
| Overall natural cause rating (susceptibility index) (Average rating for each factor analyzed, normalized) | | | | 54% (Moderate) |

The final rating is calculated as the average likelihood times relevance rating for each factor analyzed, normalized (divided by the maximum possible average rating).

The overall susceptibility rating for the Site is 54%, qualitatively regarded as moderate. This indicates that natural causes and shallow factors such as groundwater pumping are moderately likely to be a possible cause or contributor to the sinkhole development.

CONCLUSIONS

Existing documentation and data were reviewed to evaluate the likelihood of a natural cause for the recent formation of a sinkhole at Matarandiba. Based on existing reports, data, and local Site conditions, a purely natural cause for the sinkhole is unlikely though natural conditions coupled with groundwater pumping and leakage from the reservoir cannot be ruled out as possible causes, or intensifying factors.

The main questions this report aimed at answering are discussed below:

Q—Is there any evidence of naturally occurring karstic environment within the area of interest?

A—No evidence of additional karst features were identified based on review of existing documents, academic literature, web searches and detailed review of drone footage of the sinkhole walls. However, there are formations described as limestone or calcarenites and other lime-bearing, friable sedimentary rocks that could potentially lead to karstic conditions, especially around zones of structural weaknesses such as fractures and fault zones that are present at the Site.

Q—Could natural causes such as high rainfall events or local erosion patterns, associated with geological-structural conditions result in sinkhole formations in the area?

A–Yes, there is evidence of heavy rainfalls during the time the sinkhole is believed to have formed. Additionally, the elongated sinkhole shape suggests it may be related to two fracture systems that cross each other near the center of the sinkhole.

Q–Are there any potential preferential pathways that could result in the contact of shallow freshwater with deep saline or other karstic formations?

A–Deep faults and fracture systems do occur at Matarandiba and are clearly identified both in decades-old seismic cross-sections. These faults are mapped as cutting through the entire sedimentary basin. There are also a series of mapped lineaments oriented parallel and orthogonal to the boundary faults, and aligned with the major and minor axes of the sinkhole.

Q–Could natural karst phenomena be accelerated or induced by activities such as water wells intensified pumping, or increasing seepage from the existing dam close to fault zones?

A–The possibility of water from the reservoir seeping at high velocities causing the dissolution of lime-cemented sandstones in friable zones cannot be ruled out. A simplified method to evaluate the susceptibility of the area to naturally (or shallow operations-induced) sinkhole formation indicates a moderate sinkhole formation likelihood due to a confluence of factors, including:

- Presence of lime-bearing materials near the elevation of the sinkhole;
- Presence of two systems of faults/fractures, with the sinkhole centered at the intersection of these two systems; and elongated sinkhole shape, indicating preferential rock failure along the SE-NW fault system;
- Long-term lowering of the water table due to groundwater pumping;
- Heavy rainfalls at time of sinkhole formation; and
- High water levels at the surface water reservoir.

While it cannot be definitely concluded that these factors caused the sinkhole, they could have contributed to the sinkhole formation. The most likely scenario not related to deep mining requires fast moving groundwater along preferential pathways (faults and fractures), dissolution of lime cement from friable sandstones, followed by washing out of sediments and creating conduits voids. Fast moving groundwater flow may have been induced by 40 years of groundwater pumping at water well MWW-102 (where sand was observed) and enhanced seepage from the reservoir. The competent sandstone roof above the conduit(s) would eventually collapse due to a heavy rainfall and lowering of the water table.

The analysis of the deep mining operations-related hypothesis leading to sinkhole formation is beyond the scope of this report.

REFERENCES

Basso A., Bruno E., Parise M., Pepe M. 2013. "Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy)." *Environ Earth Sci.* 70: 2545–2559.

Botelho, M.A.B. 2018. Second geophysics report.

- Botelho, M.A.B. 2019. Accelerated weight drop seismic report.
- Cirano, M. and G.C. Lessa. 2007. "Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil." *Brazilian Journal of Geophysics (Revista Brasileira de Geofísica)*, 25(4), p 363–387.
- Da Silva, O.B., J.M. Caixeta, P. Da Silva Milhomem, and M.D. Kosin. 2007. "Recôncavo basin." *Boletim de Geociencias da Petrobras*. 15(2). p 423-431.
- Fonseca, J. I. 1966. "Geological outline of the Lower Cretaceous Bahia Supergroup, Brazil." *Proceedings of the Second West African Micropaleontological Colloquium*. Ed. J. E. van Hinte. ISBN: 978-90-04-00929-5.
- Guimarães, J.T., E. M. Grissolia, J.C. S. Ferreira, J. L. M. de Souza, P. M. Villar, R. Santiago, and V. S. Sobrinho. 2018. *Preliminary Report, Matarandiba Island/Bahia*. Brazil Geological Service (CPRM), Salvador. 23 pages.
- Halliday, W. R., 2007. "Pseudokarst in the 21st century." *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, no. 1, p 103-113.
- Hertzing, J. 2004. Solution mining in bedded salt—Aratu, Brazil. Solution Mining Research Institute Technical Conference Paper. Wichita, KS.
- Intrieri, E., G. Gigli, M. Nocentini, L. Lombardi, F. Mugnai, F. Fidolini, and N. Casagli. 2015. "Sinkhole monitoring and early warning: An experimental and successful GB-InSAR application." *Geomorphology*, vol 241, p 304-314.
- Kobal, M., I. Bertonecelj, F. Pirotti, I. Dakskobler, and L. Kutnar. 2013. "Using Lidar data to analyse sinkhole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover—case study of a high karst area in the dinaric mountains." *PLOS ONE*, vol 10 no 3. Article Number: e0122070.
- Mecchia, M., F. Sauro, A. Columbu and J. De Waele. 2019. "A hybrid model to evaluate subsurface chemical weathering and fracture karstification in quartz sandstone." *Journal of Hydrology*, vol. 572, p 745-760.
- Nanometrics. 2019. *DOW Chemical Passive Seismic Array Monitoring Report #8*.
- OrtoPixel. 2019. Technical Report of Developed Activity – Aerophotogrammetric Survey.
- Palacky, G. 1987. Resistivity Characteristics of Geological Targets. In: Nabighian, M., Ed., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Theory*, Society of Exploration Geophysicists Tulsa, OK, p 53-129.
- Parise, M., L. Pisano, and C. Vennari. 2018. "Sinkhole clusters after heavy rainstorms." *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 80, no. 1, p 28–38.
- RE/SPEC Inc. 1998. *Long-term stability of the common cavern system at Dow Chemical's brine mining facility on Matarandiba Island, Brazil*. Topical report RSI-0905.

- Roninger, J. and T. Burbey. 2012. "Hydrogeologic Controls on Lake Level at Mountain Lake, Virginia." *Hydrogeology Journal*, v. 20, no. 6, p 1149–1167.
- Sauro, F., M. Mecchia, L. Piccini, J. De Waele, C. Carbone, A. Colummbu, L. Pisani, and F. Vergara. 2019. "Genesis of giant sinkholes and caves in the quartz sandstone of Sarisariñama tepui, Venezuela." *Geomorphology*, p 223-238.
- Theron, A., and J. Engelbrecht. 2018. The Role of Earth Observation, with a Focus on SAR Interferometry, for Sinkhole Hazard Assessment. *Remote Sensing*, v. 10, 1506.
- Tre Altamira. 2018. SqueeSAR Analysis of Ground Movement over the Matarandiba Solution Mining Facility.
- USGS (United States Geological Survey). 2019. *Earthquake Hazards Program*.
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Waltham, T., Bell, F. and Culshaw, M. 2005. Sinkholes and Subsidence, Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction. Praxis Publishing, UK.
- Wray, R. A. L. and F. Sauro. 2017. "An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites." *Earth-Science Reviews*, vol. 171, p 520-557.

DOC. 4



Fundamento Legal: Art. 239, §1º, do Regulamento da Lei 10.431 de 20/12/2006, aprovado pelo Decreto Estadual nº 14.024 de 06/06/2012.

Nome ou Razão Social

DOW BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA

CNPJ

60.435.351/0019-86

Endereço

FAZENDA CABOTA S/N, ILHA MATARANDIBA, S/N , CEP: 44.470-000

VERA CRUZ - BA

Pela presente, fica notificado que

Está prorrogado o prazo para atendimento do item iv da Notificação nº 2019-000952/TEC/NOT-0230 até o dia 30/06/2020, que diz: Determinar a resistência ao cisalhamento no terreno detritico por meio de testes laboratoriais em amostras centrais de perfuração, incluindo efeitos de pressão de água nos poros ou juntas, mediante autorização previa do INEMA para a perfuração.

- O não cumprimento desta notificação implicará na aplicação das penalidades previstas na legislação ambiental do estado Bahia;

- Somente será aceito o cumprimento de todos os itens solicitados;

- Esta notificação está relacionada ao processo de Nº **2019-000952/TEC/NOT-0230**

- Vinculado a NC Nº

Prazo Máximo para cumprimento: 300 dias a partir da data do recebimento.

Autoridade fiscalizadora

Coordenação

Data

11/12/2019

OBS: Os documentos apresentados em forma de fotocópia deverão ser autenticados ou acompanhados dos respectivos originais para verificação do INEMA.

1ª via - Cliente 2ª via INEMA

Avenida Luís Viana Filho, 6ª Avenida, nº 600 - CAB - CEP.: 41.745-900 - SALVADOR/BA