

ANÁLISE DE DEFORMAÇÃO DO TERRENO SOBRE A CIDADE DE
MACEIÓ - BRASIL

RELATÓRIO 03/2020:

3º ATUALIZAÇÃO DO MONITORAMENTO PSP-IFSAR

Abril 2018 - Abril 2020

CPRM

TELESPAZIO BRASIL S.A.

Status do documento

VERSÃO	DATA	AUTOR	VERIFICADO	MOTIVO DE ALTERAÇÃO
1.0	24/04/2020	C. Frascella	S. Falco	Primeira versão (Inglês)
1.0	28/04/2020	Fabio Moreira	Helton Thomaz	Primeira versão (Português)

Objeto:

*Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da
Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR*

Rev
00

Data
24/04/2020

Anexos
00

Pág.
2 de 16

Sumário

1.	Introdução	5
1.1	ANÁLISE INICIAL	5
1.2	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	6
1.3	ACRÔNIMOS	6
1.4	DOCUMENTOS APLICÁVEIS	6
1.5	REFERÊNCIAS	7
2.	Contexto da Área Interesse - Maceió	8
3.	Produtos PSP-IFSAR	9
4.	Processamento	10
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	10
4.2	MEDIDAS PSP-IFSAR: GEOMETRIA ASCENDENTE	11
4.2.1	<i>Dados de Entrada</i>	11
4.2.2	<i>Informações de Processamento</i>	13
5.	Resultados	15

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 3 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Quicklook</i> do mapa de velocidades médias dos PS da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria ascendente.	5
Figura 2 - Área de Interesse (AOI)	8
Figura 3 - A estrela amarela identifica a zona onde o ponto de referência foi selecionado para as medidas PSP-IFSAR em geometria ascendente.	10
Figura 4: O mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período Abril de 2018 a Abril de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O <i>stack</i> ascendente é constituído por 51 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.....	16

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 24/04/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 4 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

1. Introdução

1.1 Análise Inicial

Este relatório apresenta os resultados obtidos pela análise de referência PSP-IFSAR dos dados SAR do COSMO-SkyMed adquiridos em geometria ascendente sobre uma grande área na cidade de Maceió, Alagoas, Brasil, no período de Abril de 2018 a Abril de 2020. O conjunto de dados compreende 51 imagens SAR com resolução espacial de 3 m x 3 m.

A análise mede o movimento em alvos selecionados (chamados *Persistent Scatterers* ou PS) na área investigada e, desta forma, destaca alguns movimentos críticos no terreno no intervalo de tempo coberto pelos dados. O *quicklook* das velocidades médias dos PS relevantes à análise realizada é apresentado na Figura 1.

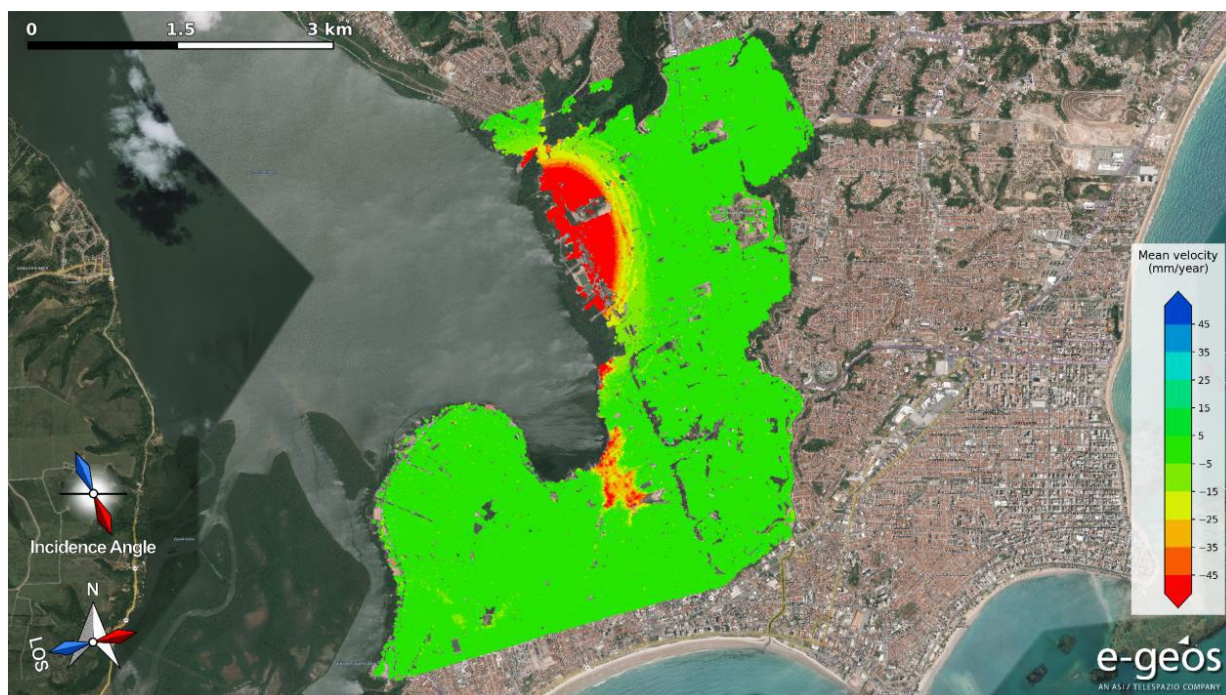


Figura 1: *Quicklook* do mapa de velocidades médias dos PS da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria ascendente.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 5 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1.2 Estrutura do Documento

Nas seções seguintes encontram-se reportados:

- Descrição dos produtos PSP-IFSAR;
- Descrição do conjunto de dados que foi usado para a análise;
- Descrição da abordagem de processamento, critério de seleção de dados, características e parâmetros utilizados;
- Breve análise dos resultados obtidos com a análise de referência PSP-IFSAR do conjunto de dados ascendente.

1.3 Acrônimos

Acrônimo	Descrição
AOI	Área of Interest - Área de interesse
BN	Normal Baseline - Linha de Base Normal
BT	Temporal Baseline – Linha de Base Temporal
CSK	COSMO-SkyMed
GIS	Geographic Information System – Sistemas de Informação Geográfica
LOS	Line of Sight – Linha de Visada
PRF	Pulse Repetition Frequency – Frequência de Repetição de Pulso
PS	Persistent Scatterers – Espalhadores Permanentes
PSP-IFSAR	Persistent Scatterers Pair- SAR Interferometry
SAR	Synthetic Aperture Radar – Radar de Abertura Sintética

1.4 Documentos Aplicáveis

Ref.	Título	Versão	Data
[AD.1]	e-GEOS-RPT-PSP_TEC-001.pdf	1.0	01/01/2019
[AD.2]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-001	1.0	15/01/2020
[AD.3]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-002	1.0	05/03/2020

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 6 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1.5 Referências

[RD1] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati (2008), A new method for identification and analysis of persistent scatterers in series of SAR images, in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '08), Boston, Ma, USA, 6-11 06/2008.

[RD2] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati and F. Trillo (2009), Method of persistent scatterer pairs (PSP) and high resolution SAR interferometry, in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '09), Cape Town, South Africa, 07/2009.

[RD3] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati, F. Trillo, F. Vecchioli (2010), Persistent Scatterer Pairs (PSP) Approach in Very High Resolution SAR Interferometry, in EUSAR 2010 – 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 7-10 06/2010.

[RD4] M. Costantini, T. Chen, Y. Xu, F. Trillo, F. Vecchioli, L. Kong, D. Jiang, Q. Hu (2011), High resolution ground deformations monitoring by COSMO-SkyMed PSP SAR interferometry: accuracy analysis and validation, in Proceedings of the ESA International Fringe 2011 Workshop, Frascati, Italy, 09/2011.

[RD5] M. Costantini, F. Malvarosa, F. Minati (2012), A General Formulation for Redundant Integration of Finite Differences and Phase Unwrapping on a Sparse Multidimensional Domain, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, no. 3, pp. 758-768, doi 10.1109/TGRS.2011.2162630, 2012.

[RD6] M. Costantini, F. Malvarosa, F. Minati, and F. Vecchioli, "Multiscale and Block Decomposition Methods for Finite Difference Integration and Phase Unwrapping of Very Large Datasets in High Resolution SAR Interferometry," in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '12), Munich, Germany, 07/2012, pp. 5574-5577.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 7 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

2. Contexto da Área Interesse - Maceió

A área de interesse compreende uma porção da cidade de Maceió, como demonstra a Figura 2. Conforme explicado anteriormente, obviamente nenhum ponto de medição foi selecionado nas áreas de vegetação e água. Entretanto, a análise PSP dos produtos COSMO-SkyMed ascendentes permitiu extrair um grande número de PS. Em particular, onde as características radiométricas do alvo não mudaram muito no período analisado, muitos PS foram identificados e as correspondentes medidas de deformação no solo foram estimadas.



Figura 2 - Área de Interesse (AOI)

Objeto:	Rev	Data	Anexos	Pág.
Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	00	24/04/2020	00	8 de 16

3. Produtos PSP-IFSAR

Os produtos PSP-IFSAR são entregues em dois formatos: Formato ESRI shape file, e Formato KMZ. Segue abaixo a lista completa dos entregáveis:

- PSP_CSK_HI_0B_HH_RA_20180407_20200404_MACEIO.shp;
- KMZ_PSP_CSK_HI_0B_HH_RA_20180407_20200404_MACEIO_ML.kmz.

Para cada PS foram geradas as seguintes informações:

Posição do PS: a posição do PS, em coordenadas geográficas e elipsoide de referência WGS84. As medidas da posição dos PS são relativas. Para melhor entender a correspondência do PS com o alvo no terreno, é obtida a posição absoluta ajustando-se a posição do PS detectado com cartografia disponível, ortofotos, etc. Na ausência dessas informações, são utilizadas as ortoimagens do Google Earth como referência absoluta;

Velocidade Média do PS no período analisado: a velocidade média do PS, expressa em mm/ano é calculada no intervalo temporal entre a primeira e a última aquisição SAR. A velocidade média do PS é medida ao longo da linha de visada do sensor (LOS) e refere-se a um PS de referência, considerado estável;

Evolução Temporal do Deslocamento do PS: os deslocamentos dos PS, expressos em mm, relativos à aquisição SAR de referência, fornecido para cada data de aquisição no período analisado. Os deslocamentos de PS são medidos ao longo da LOS e refere-se a um PS de referência, considerado estável, e à data de referência (entre as datas de aquisição).

Para uma descrição detalhada dos formatos do produto, consulte o relatório técnico [AD.1].

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 9 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

4. Processamento

4.1 Considerações Gerais

A técnica de interferometria por *persistent scatterer* é baseada na identificação de pontos nas imagens, os quais mantêm a assinatura de radar estável ao longo do período analisado e na extração de informação de deslocamento a partir da fase interferométrica do PS identificado. Esta técnica é capaz de medir deslocamentos relativos entre pontos e a viabilidade das medidas depende da distribuição, da densidade e do ruído de fase dos pontos PS.

A fim de obter medidas confiáveis, somente pontos com uma relação sinal/ruído boa são considerados. A avaliação de qualidade dos PS é baseada na análise de suas informações de fase e amplitude ao longo do tempo e suas propriedades relativas. A capacidade de distinguir entre PS e não PS aumenta com o número de imagens disponíveis e com o período de tempo analisado.

Na verdade, o aumento do número de imagens permite usar limiares menores no critério de seleção dos PS e assim obter uma melhor capacidade de detecção mantendo-se estável a taxa de alarmes falsos. Por outro lado, reduzir o número de imagens requer o uso de limiares maiores, com uma piora na densidade e distribuição dos PS.



Figura 3 - A estrela amarela identifica a zona onde o ponto de referência foi selecionado para as medidas PSP-IFSAR em geometria ascendente.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 10 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	------------------

A atual atualização da análise de monitoramento ascendente foi baseada em 51 imagens SAR COSMO-SkyMed adquiridas de Abril de 2018 a Abril de 2020. As medidas de deformação se referem à primeira data do *stack* de imagens e um ponto de referência escolhido entre os PS selecionados conforme Figura 3.

4.2 Medidas PSP-IFSAR: geometria ascendente

4.2.1 Dados de Entrada

A tabela a seguir apresenta a lista das Imagens COSMO-SkyMed adquiridas em geometria ascendente e usadas na atual análise de monitoramento PSP-IFSAR e os parâmetros associados: componente de linha de base interferométrica ortogonal à linha de visada do sensor (BN) e linha de base temporal (BT).

Todas as imagens SAR estão reportadas no mesmo grid da imagem-master (07/06/2017).

ID	Data	Satélite	Beam	BN (meters)	BT (days)
1	07/04/2018	CSKS2	HIMAGE	188.136466	304
2	11/04/2018	CSKS4	HIMAGE	531.743896	308
3	27/04/2018	CSKS4	HIMAGE	-152.285655	324
4	01/05/2018	CSKS1	HIMAGE	214.637067	328
5	13/05/2018	CSKS4	HIMAGE	-987.285039	340
6	14/06/2018	CSKS4	HIMAGE	487.614255	372
7	16/07/2018	CSKS4	HIMAGE	-1239.624666	404
8	01/08/2018	CSKS4	HIMAGE	-19.820876	420
9	17/08/2018	CSKS4	HIMAGE	54.545677	436
10	06/09/2018	CSKS1	HIMAGE	-249.083884	456
11	18/09/2018	CSKS4	HIMAGE	-5.779999	468
12	04/10/2018	CSKS4	HIMAGE	-377.611126	484
13	20/10/2018	CSKS4	HIMAGE	730.304804	500
14	05/11/2018	CSKS4	HIMAGE	995.128054	516
15	21/11/2018	CSKS4	HIMAGE	965.325704	532
16	07/12/2018	CSKS4	HIMAGE	259.705246	548
17	08/01/2019	CSKS4	HIMAGE	29.758696	580
18	20/01/2019	CSKS2	HIMAGE	-96.981334	592
19	24/01/2019	CSKS4	HIMAGE	849.724818	596
20	09/02/2019	CSKS4	HIMAGE	519.013153	612

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 24/04/2020	Anexos 00	Pág. 11 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	------------------

21	25/02/2019	CSKS4	HIMAGE	-1140.434334	628
22	13/03/2019	CSKS4	HIMAGE	100.235288	644
23	29/03/2019	CSKS4	HIMAGE	1042.617311	660
24	14/04/2019	CSKS4	HIMAGE	1091.282852	676
25	30/04/2019	CSKS4	HIMAGE	143.105446	692
26	12/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-505.293626	735
27	28/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-351.648231	751
28	14/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-822.547425	767
29	30/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-957.943811	783
30	16/08/2019	CSKS2	HIMAGE	-205.748184	800
31	31/08/2019	CSKS4	HIMAGE	257.918384	815
32	25/09/2019	CSKS1	HIMAGE	212.107918	840
33	02/10/2019	CSKS4	HIMAGE	-789.565149	847
34	11/10/2019	CSKS1	HIMAGE	803.853625	856
35	18/10/2019	CSKS4	HIMAGE	423.417994	863
36	27/10/2019	CSKS1	HIMAGE	523.596309	872
37	04/11/2019	CSKS2	HIMAGE	1250.332098	880
38	19/11/2019	CSKS4	HIMAGE	1069.350551	895
39	28/11/2019	CSKS1	HIMAGE	-946.810854	904
40	05/12/2019	CSKS4	HIMAGE	1195.922367	911
41	14/12/2019	CSKS1	HIMAGE	-94.31277	920
42	30/12/2019	CSKS1	HIMAGE	735.974113	936
43	22/01/2020	CSKS4	HIMAGE	-53.230743	959
44	31/01/2020	CSKS1	HIMAGE	182.821498	968
45	08/02/2020	CSKS2	HIMAGE	176.856482	976
46	16/02/2020	CSKS1	HIMAGE	-1197.936743	984
47	23/02/2020	CSKS4	HIMAGE	781.751633	991
48	03/03/2020	CSKS1	HIMAGE	352.159162	1000
49	19/03/2020	CSKS1	HIMAGE	846.011394	516 1016
50	26/03/2020	CSKS4	HIMAGE	-1025.362738	517 1023
51	04/04/2020	CSKS1	HIMAGE	404.598519	518 1032

4.2.2 Informações de Processamento

Nesta seção a informação principal diz respeito ao processamento dos dados COSMO-SkyMed em órbita ascendente.

Nome da Área	Maceió, Brasil
Tamanho da Área (km²)	16,44
Data da Entrega	24/04/2020
Versão do Software	3.8
Análise	PSP-IFSAR
Satélites	COSMO-SkyMed-1, COSMO-SkyMed-2, COSMO-SkyMed-4
Geometria de Aquisição	ASCENDENTE
Número de Imagens	51
Período Analisado	Abril 2018 – Abril 2020
Horário UTC de Aquisição da Imagem-Master [h]	08:22:18

As medidas de deslocamentos PS são relevantes às datas de referência e ao ponto de referência. A primeira data de aquisição disponível (07/04/2018) foi selecionada como data de referência. O ponto de referência foi selecionado entre os PS mais confiáveis sob a hipótese de que a maioria dos PS foi estável. Os dados foram projetados para o sistema de referência Geográfico (Lat./Long.) e datum WGS84.

A tabela a seguir apresenta algumas informações relevantes sobre o sistema de referência, o ponto de referência e algumas estatísticas sobre a densidade dos PS.

Sistema de Referência	Geográfica/WGS84
Código do Ponto de Referência	MAA1A92D
Hipótese do Ponto de Referência	Sem movimentação/Estável
Número de PS	675625
Densidade Média de PS (PS/km²)	41096,41
Referência para localização absoluta do PS	Ortoimagens disponíveis no Google Earth sobre a AOI

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 24/04/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 13 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

A medida de deslocamento do PS refere-se à projeção do deslocamento atual ao longo da linha de visada do sensor SAR (LOS). Na tabela abaixo são apresentadas as informações sobre o vetor cosseno na direção LOS relativo à geometria ascendente. Como se pode observar nos valores apresentados, o SAR é praticamente insensível aos movimentos na direção Norte-Sul (N), enquanto é sensível aos movimentos na direção Leste-Oeste (E) e particularmente sensível aos movimentos verticais (direção H).

Cosseno na direção LOS – Line Of Sight	
North	-0.08663985160437968
East	-0.39803667066122045
Height	0.9132690430113692

Objeto:

Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da
Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR

Rev
00

Data
24/04/2020

Anexos
00

Pág.
14 de 16

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo processamento dos dados SAR COSMO-SkyMed HImage ascendente (51 imagens), referentes ao período de Abril de 2018 a Abril de 2020. A Figura 4 apresenta uma visão global das velocidades médias relevantes referentes à geometria ascendente. Os valores da velocidade estão representados numa escala de cores que varia do azul para o vermelho, de acordo com a legenda no canto inferior direito da imagem.

A área apresentada na figura a seguir é parcialmente coberta por vegetação ou água, onde como esperado, nenhum PS foi identificado, mas nas áreas edificadas e com pouca vegetação, foi obtido um grande número de medições de deformação no solo.

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 24/04/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 15 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

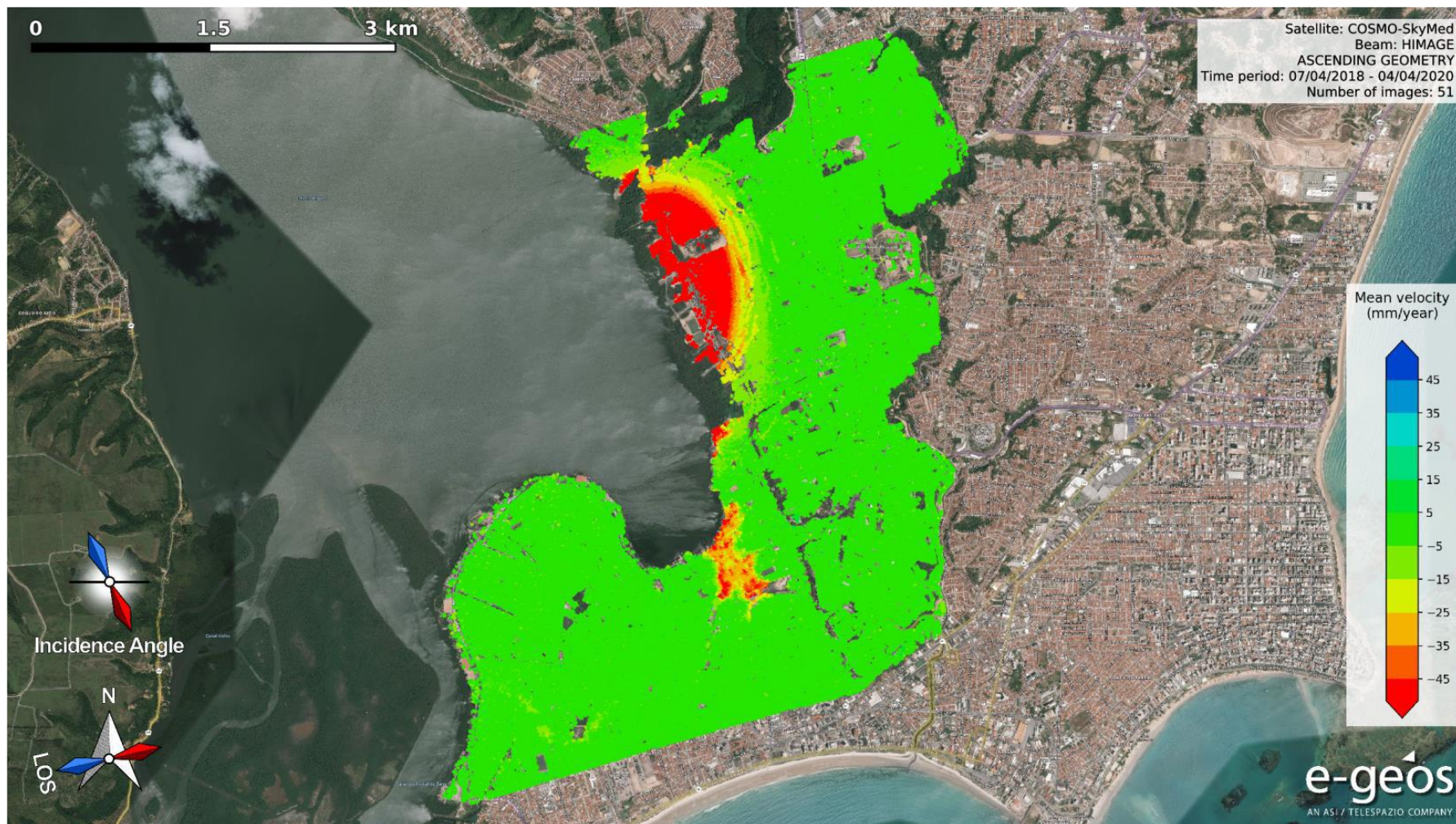


Figura 4: O mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período Abril de 2018 a Abril de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O *stack* ascendente é constituído por 51 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.

Objeto:	Rev	Data	Anexos	Pág.
Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Terceira atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	00	24/04/2020	00	16 de 16