

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

RELATÓRIO 02/2020:

2º ATUALIZAÇÃO DO MONITORAMENTO PSP-IFSAR

Março 2018 - Fevereiro 2020

**CPRM**

**TELESPAZIO BRASIL S.A.**

## Status do documento

VERSÃO	DATA	AUTOR	VERIFICADO	APROVADO	MOTIVO DE ALTERAÇÃO
1.0	5/03/2020	S.Falco	F.Minati	F.Minati	Primeira versão (Inglês)
1.0	09/03/2020	Telespazio Brasil	Fabio Moreira	Helton Thomaz	Primeira versão (Português)

*Objeto:*

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

*Rev*  
00

*Data*  
05/03/2020

*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	Dados de Entrada .....	11
4.2.2	Informações de Processamento .....	13
5.	Resultados.....	15

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 05/03/2020	Anexos 00	Pág. 3 de 16
---	-----------	--------------------	--------------	-----------------

## Lista de Figuras

Figura 1: <i>Quicklook</i> do mapa de velocidades médias dos PSs da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria simples 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 Março de 2018 a Fevereiro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O <i>stack</i> ascendente é constituído por 49 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 Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 05/03/2020	<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 Março de 2018 a Fevereiro de 2020. O conjunto de dados compreende 49 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 PSs relevantes à análise realizada é apresentado na Figura 1.

A análise consiste na estimativa das velocidades médias e evoluções temporais das deformações do terreno no período investigado (Março 2018 – Fevereiro 2020), em correspondência ao conjunto de pontos PSs identificados pelo processamento PSP-IFSAR.

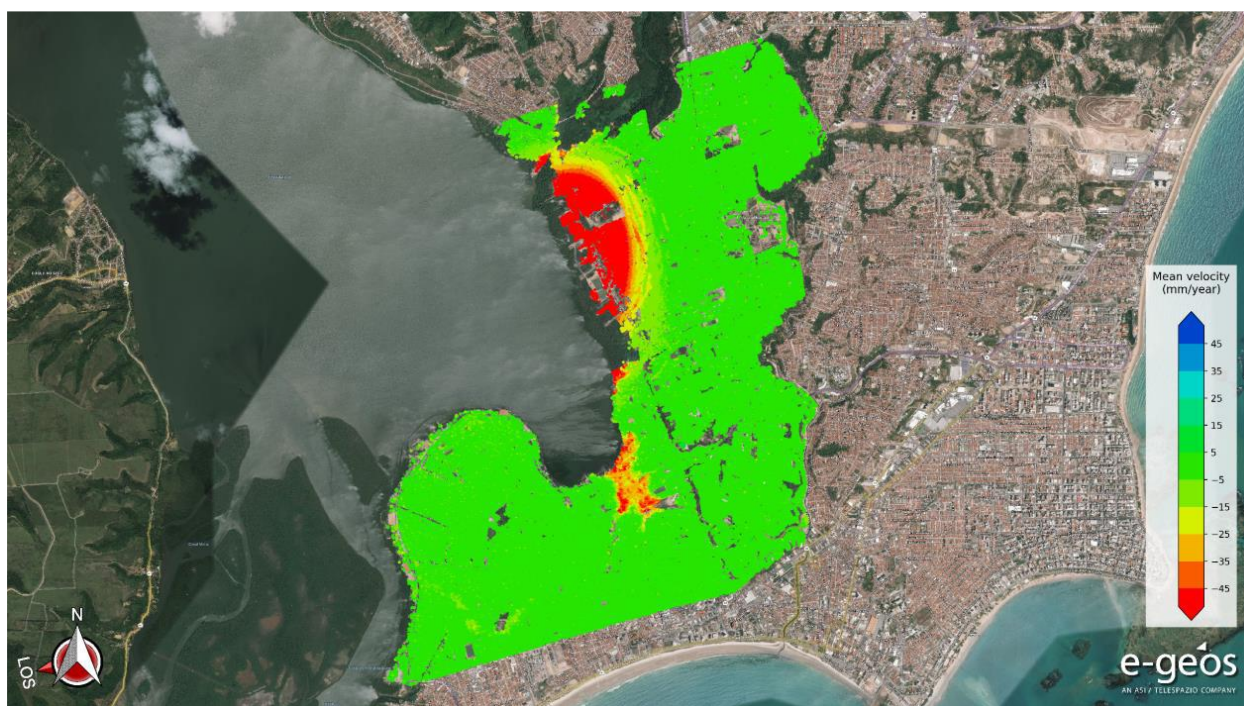


Figura 1: *Quicklook* do mapa de velocidades médias dos PSs da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria simples ascendente.

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 05/03/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 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 Permanetes
PSP-IFSAR	Persistent Scatterers Pair- SAR Interferometry
SAR	Synthetic Aperture Radar – Radar de Abertura Sintética

## 1.4 Documentos Aplicáveis

Ref.	Title	Issue	Date
[AD.1]	e-GEOS-RPT-PSP_TEC-001.pdf	1.0	1/01/2019
[AD.2]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-001	1.0	15/01/2020

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 05/03/2020	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 July 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, July 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 June 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, Sept. 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 Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 05/03/2020	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 PSs. Em particular, onde as características radiométricas do alvo não mudaram muito no período analisado, muitos PSs foram identificados e as correspondentes medidas de deformação no solo foram estimadas.



Figura 2 - Área de Interesse (AOI)

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 05/03/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 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\_20180314\_20200216\_MACEIO.shp**
- **KMZ\_PSP\_CSK\_HI\_0B\_HH\_RA\_20180314\_20200216\_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 PSs 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 ortomagens 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 PSs, 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].

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 05/03/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 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 PSs 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 PSs 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 PSs.



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 Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 05/03/2020	Anexos 00	Pág. 10 de 16
---	-----------	--------------------	--------------	------------------

A atual atualização da análise de monitoramento ascendente foi baseada em 49 imagens SAR COSMO-SkyMed adquiridas de Março de 2018 a Fevereiro de 2020. As medidas de deformação se referem à primeira data do *stack* de imagens e um ponto de referência escolhido entre os PSs 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	Date	Satellite	Beam	BN (meters)	BT (days)
1	14/03/2018	CSKS1	HIMAGE	104.322	-188
2	22/03/2018	CSKS2	HIMAGE	861.591	-180
3	26/03/2018	CSKS4	HIMAGE	158.269	-176
4	07/04/2018	CSKS2	HIMAGE	193.916	-164
5	11/04/2018	CSKS4	HIMAGE	537.524	-160
6	27/04/2018	CSKS4	HIMAGE	-146.506	-144
7	01/05/2018	CSKS1	HIMAGE	220.417	-140
8	13/05/2018	CSKS4	HIMAGE	-981.505	-128
9	14/06/2018	CSKS4	HIMAGE	493.394	-96
10	16/07/2018	CSKS4	HIMAGE	-1.233.845	-64
11	01/08/2018	CSKS4	HIMAGE	-14.041	-48
12	17/08/2018	CSKS4	HIMAGE	60.326	-32
13	06/09/2018	CSKS1	HIMAGE	-243.304	-12
14	18/09/2018	CSKS4	HIMAGE	0.000	0
15	04/10/2018	CSKS4	HIMAGE	-371.831	16
16	20/10/2018	CSKS4	HIMAGE	736.085	32
17	05/11/2018	CSKS4	HIMAGE	1.000.908	48
18	21/11/2018	CSKS4	HIMAGE	971.106	64
19	07/12/2018	CSKS4	HIMAGE	265.485	80
20	08/01/2019	CSKS4	HIMAGE	35.539	112

21	20/01/2019	CSKS2	HIMAGE	-91.201	124
22	24/01/2019	CSKS4	HIMAGE	855.505	128
23	09/02/2019	CSKS4	HIMAGE	524.793	144
24	25/02/2019	CSKS4	HIMAGE	-1.134.654	160
25	13/03/2019	CSKS4	HIMAGE	106.015	176
26	29/03/2019	CSKS4	HIMAGE	1.048.397	192
27	14/04/2019	CSKS4	HIMAGE	1.097.063	208
28	30/04/2019	CSKS4	HIMAGE	148.885	224
29	12/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-499.514	267
30	28/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-345.868	283
31	14/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-816.767	299
32	30/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-952.164	315
33	16/08/2019	CSKS2	HIMAGE	-199.968	332
34	31/08/2019	CSKS4	HIMAGE	263.698	347
35	25/09/2019	CSKS1	HIMAGE	217.888	372
36	02/10/2019	CSKS4	HIMAGE	-783.785	379
37	11/10/2019	CSKS1	HIMAGE	809.634	388
38	18/10/2019	CSKS4	HIMAGE	429.198	395
39	27/10/2019	CSKS1	HIMAGE	529.376	404
40	04/11/2019	CSKS2	HIMAGE	1.256.112	412
41	19/11/2019	CSKS4	HIMAGE	1.075.131	427
42	28/11/2019	CSKS1	HIMAGE	-941.031	436
43	05/12/2019	CSKS4	HIMAGE	1.201.702	443
44	14/12/2019	CSKS1	HIMAGE	-88.533	452
45	30/12/2019	CSKS1	HIMAGE	741.754	468
46	22/01/2020	CSKS4	HIMAGE	-47.451	491
47	31/01/2020	CSKS1	HIMAGE	188.601	500
48	08/02/2020	CSKS2	HIMAGE	182.636	508
49	16/02/2020	CSKS1	HIMAGE	-1.192.157	516

#### 4.2.2 Informações de Processamento

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

<b>Nome da Área</b>	Maceió, Brasil
<b>Tamanho da Área (km<sup>2</sup>)</b>	16,44
<b>Data da Entrega</b>	15/03/2020
<b>Versão do Software</b>	3.8
<b>Análise</b>	PSP-IFSAR
<b>Satélites</b>	COSMO-SkyMed-1, COSMO-SkyMed-2, COSMO-SkyMed-4
<b>Geometria de Aquisição</b>	ASCENDENTE
<b>Número de Imagens</b>	49
<b>Período Analisado</b>	Março 2018 – Fevereiro 2020
<b>Horário UTC de Aquisição da Imagem-Master [h]</b>	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 (14/03/2018) foi selecionada como data de referência. O ponto de referência foi selecionado entre os PSs mais confiáveis sob a hipótese de que a maioria dos PSs 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 PSs.

<b>Sistema de Referência</b>	Geográfica/WGS84
<b>Código do Ponto de Referência</b>	MAA53562
<b>Hipótese do Ponto de Referência</b>	Sem movimentação/Estável
<b>Número de PSs</b>	692285
<b>Densidade Média de PS (PS/km<sup>2</sup>)</b>	42109,79
<b>Referência para localização absoluta do PS</b>	Ortoimagens disponíveis no Google Earth sobre a AOI

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



## 5. Resultados

---

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo processamento dos dados SAR COSMO-SkyMed HImage ascendente (49 imagens), referentes ao período de Março de 2018 a Fevereiro 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 Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 05/03/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 15 de 16
--	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

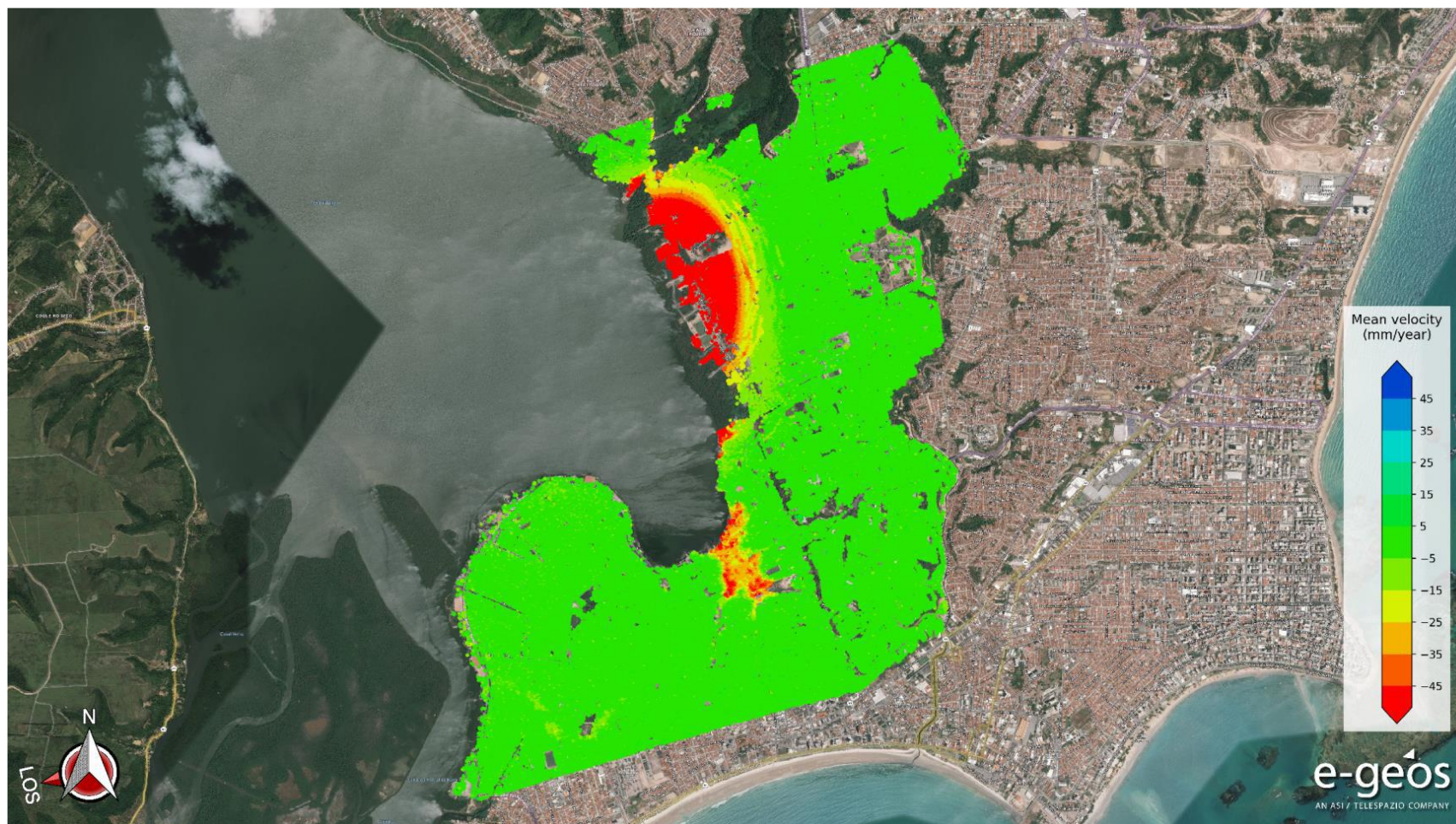


Figura 4: O mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período Março de 2018 a Fevereiro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O *stack* ascendente é constituído por 49 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.

<i>Objeto:</i>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	<i>Anexos</i>	<i>Pág.</i>
Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Segunda atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	00	05/03/2020	00	16 de 16