

Perspectivas de aplicações de imagens SAR na malha viária de transporte no Brasil

Guilherme Gregório Silva¹
José Claudio Mura¹
Filipe Altoé Temporim¹
Fábio Furlan Gama¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{guilherme.gregorio, filipe.temporim}@inpe.br; {mura, fabio}@dpi.inpe.br

Abstract: Remote sensing is increasingly being used for environmental studies and planning in urbanized areas on a large and small scale. Among the most varied sensors and their various applications, stand out the active that generate the image of Synthetic Aperture Radar (SAR). With the advancement of urbanization and mandatory solutions for new structures, interferometric studies and SAR images has been developing in this area. This paper aims to elucidate and list the possibilities of applying the InSAR techniques as well as its inputs in the massive monitoring of the growing road transport network in Brazil, aiming to create future perspectives for assistance in the planning and preventive maintenance of road structures. Although the use of such techniques in the country is still very superficial, in parts for lack of commitment and favorable monetary conditions, SAR interferometry demonstrates fundamental application in the planning of public works, whether in transportation, urban areas or civil defense, monitoring areas with high fragility and assisting in planning.

Palavras-chave: Remote sensing, SAR, road transport, urban areas.

1. Introdução

Vemos cada dia mais a importância na utilização de dados orbitais de sensores remotos para estudos e planejamentos em grande escala. A usabilidade deste artifício remete a aplicação nas mais diversificadas áreas existentes no país, passando desde o monitoramento ambiental, como o caso do monitoramento da cobertura vegetal da Amazônia (AZEVEDO et al., 2014), bem como no estudo de estruturas minerárias, monitorando taludes e sua estabilidade com precisão milimétrica (PARADELLA et al., 2015a).

Dentre os mais variados sensores e suas diversas aplicações, destacam-se os Radares de Abertura Sintética (ou simplesmente SAR) e a possibilidade emergente da aplicação de seus produtos no monitoramento de estruturas variadas. Estudos interferométricos utilizando dados SAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar* ou InSAR) vem sendo aplicados massivamente pelo mundo nas últimas décadas.

Com o avanço da urbanização e a obrigatoriedade de inserção de novas estruturas viárias, assim como a ocupação de novas áreas, a ocorrência de instabilidades no solo acaba por acontecer com maior frequência, uma vez que o poder público acaba por não ter um viés de planejamento e monitoramento abrangente e igualmente eficiente.

O uso de dados obtidos por sensores orbitais, no caso SAR, ganha notoriedade fora do país para tal monitoramento, como o caso recente apresentado por Bianchini et al. (2015), que possibilitou um estudo temporal com técnicas interferométricas por espalhadores persistentes - PSI (*Persistent Scatterer Interferometry*) utilizando-se de dados Bandas C e X, visando os movimentos e impactos de deslizamentos sob construções na Itália.

No presente contexto, este estudo procura elucidar e elencar possibilidades de aplicação das técnicas InSAR bem como seus insumos no monitoramento massivo para

a crescente malha de transporte rodoviária no Brasil, visando criar perspectivas futuras para auxílio no planejamento e manutenção preventiva de estruturas viárias.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Interferometria SAR (InSAR)

A Interferometria SAR é uma técnica descrita como a mensuração de mudança no sinal da fase adquirida entre duas imagens, sobre a mesma área, em diferentes tempos (Figura 1). A tecnologia InSAR mostra-se operacional no momento, em especial para a geração de Modelos Digitais de Superfície, como vemos atualmente com o projeto alemão do WorldDEM®. Também vemos a evolução gradativa da tecnologia A-DInSAR (*Advanced-Differential SAR*) e a sua consolidação, com especial destaque a técnica PSI, a qual vem tornando-se uma tecnologia operacional na detecção e monitoramento de deformações superficiais do terreno, como exemplo para a técnica SqueeSAR® da empresa TRE-Altamira (PARADELLA et al., 2015b).

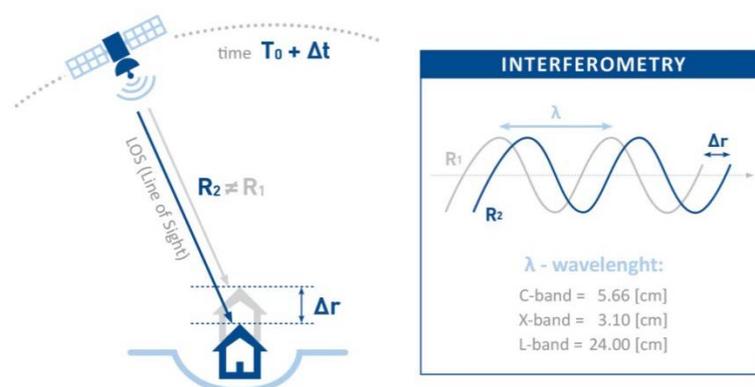


Figura 1. Esquemática da técnica InSAR. Fonte: TRE-ALTAMIRA, 2016.

Historicamente a técnica PSI originou-se de trabalhos desenvolvidos no Instituto Politécnico de Milão (POLIMI) na Itália (FERRETTI et al., 1999) sob a nomenclatura de PSInSAR, tal qual possibilitou um gradativo avanço das técnicas interferométricas tradicionais em medidas de coerência nos interferogramas gerados, maior exatidão vertical para modelos numéricos de elevação e precisão milimétrica na detecção superficial de movimentos (FERRETTI et al., 2001).

Atualmente podemos citar como aposta em inovação na tecnologia A-DInSAR, com detecção milimétrica de espalhadores persistentes (PSI), monitorando dessa forma grandes obras de engenharia, setores cruciais como óleo e gás (ROCCA et al., 2013), mineração (MURA et al., 2016), ou ainda desastres ambientais (RASPINI et al., 2015) e transportes (BARLA et al., 2016), de maneira pontual, auxiliando no planejamento e segurança em tais áreas ou atividades.

2.2 Satélites imageadores SAR

A gama de satélites imageadores SAR tem crescido de maneira significativa na última década. Vemos programas espaciais surgindo em torno da construção de constelações de radares com as mais diversas configurações e fins. Vale ressaltar que as constelações atuais possuem a tendência na diminuição de carga e peso em seus satélites, criando constelações de satélites menores para se ter uma maior cobertura e um menor tempo de revisita, como é o caso do projeto COSMO-SkyMed (Itália) que contará com 4 satélites, assim como o TerraSAR-X e o TanDEM-X (Alemanha) que juntamente ao próximo sensor PAZ (Espanha) formarão uma nova constelação (PARADELLA et al., 2015b). A ESA vem seguindo esta tendência com o lançamento

dos satélites Sentinel-1 A e B (Figura 2). Em todos os casos temos a tendência mundial na criação e cobertura global por constelações SAR.

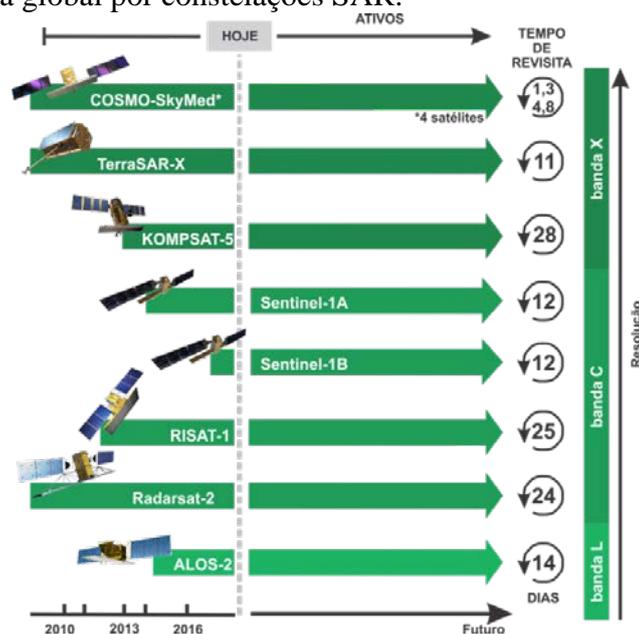


Figura 2. Satélites imageadores SAR ativos. Fonte: Adaptado de TRE-ALTAMIRA, 2016 e Paradella et al., 2015b.

2.2 Malha rodoviária brasileira

Atualmente o principal sistema de escoamento das riquezas do Brasil é baseado no transporte rodoviário, dominante no mercado logístico, contando com uma extensa malha pelo país. Conforme apresentado pela Confederação Nacional de Transportes em 2016 (CNT, 2016) o país conta atualmente com uma malha rodoviária que totaliza 1.563.447 km de extensão, onde temos 1.351.979 km de rodovias não pavimentadas e somente 211.468 km pavimentadas (Figura 3).

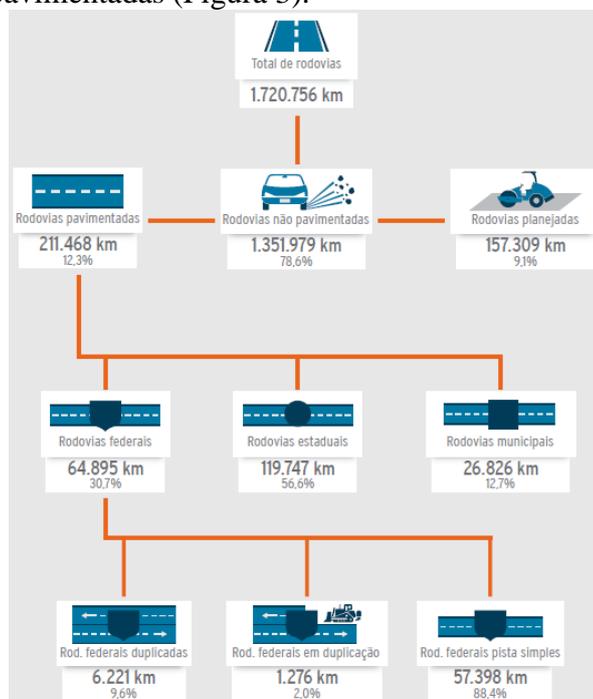


Figura 3. Esquematização da malha rodoviária brasileira. Fonte: CNT, 2016.

A recuperação econômica do país nos próximos anos tenderá provocar a ampliação de demandas por infraestruturas de transporte mais eficientes e de qualidade (CNT, 2016), aumentando assim a necessidade de monitoramento e planejamento, para as rodovias já existentes e também para as novas instalações e ampliações.

3. Estado da técnica

A metodologia aplicada neste trabalho esta baseada na pesquisa bibliográfica intensa de novas técnicas InSAR e suas possíveis aplicações no país, além de insumos dos imageadores orbitais SAR existentes até então.

Para a melhor compreensão do estado da técnica InSAR e suas possíveis aplicações no monitoramento da malha rodoviária brasileira, faz-se necessário algumas divisões para o correto entendimento da questão: (1) revisão dos estudos aplicados pelo mundo; (2) disponibilidade de dados SAR; (3) possibilidade de aplicação.

3.1 Estudos em malhas viárias utilizando InSAR

Muitos países na atualidade contam com o auxílio de sensores SAR para o mapeamento de suas fronteiras e o monitoramento de seus interiores (cidades, malhas viárias, etc...). Em locais como a Europa e Ásia, as condições geológicas propiciam um certo grau de instabilidade, que em muitos casos causam sérios danos estruturais, sem levar em conta o risco a vida humana. Países como o Japão e os da Comunidade Européia, contam atualmente com plataformas orbitais com sensores SAR a bordo, tais como, ALOS/PALSAR (JAXA), TerraSAR-X (AIRBUS), Cosmo-SkyMed (Telespazio) e Sentinel-1 (ESA) dando suporte ao sistema *European Remote Sensing* (ERS), exemplificando uma tendência global na utilização do SAR orbital.

A engenharia de transporte rodoviário esta a cada dia mais avançada, em muitos casos buscando sempre um menor impacto possível ao meio ambiente, com a aplicação de técnicas menos agressivas quando na intervenção local, implantando, por exemplo, túneis no decorrer da extensão rodoviária, de forma a desmatar áreas menores e reduzir distâncias. Um bom exemplo de técnicas de monitoramento por InSAR em túneis é discutida por Barla et al. (2016).

Barla et al. (2016) realizaram uma análise temporal em dois casos onde o InSAR foi utilizado como ferramenta para o monitoramento e mensuração de movimentações na superfície das áreas de implantação de túneis. No primeiro caso discutido no estudo, o monitoramento das movimentações da superfície foram realizados em uma área urbana consolidada, quando da construção de um túnel na localidade, demonstrando subsidência na localidade no período de obras. Outro impacto em obras rodoviárias é a ocorrência de instabilidades em encostas e taludes nas áreas onde são necessárias tais intervenções para a passagem da via. No segundo caso apresentado no estudo supracitado, houve um mapeamento por PSI sobrepostos a um mapeamento de áreas propicias a deslizamentos, auxiliando no planejamento e em futuras decisões para a manutenção da estrutura viária, criando cenários diferenciados de trabalho ao longo da via.

3.2 Disponibilidade de dados SAR

Um dos principais empecilhos na utilização das imagens SAR relaciona-se ao seu alto custo e a correta escolha de configuração de aquisição do dado, direcionado diretamente a resposta fim do estudo.

No caso de processamento avançado InSAR no decorrer do tempo, faz-se necessário a utilização de uma longa série temporal de imagens (*stack*) para a obtenção de medidas precisas e para que problemas relacionados ao processamento e aquisição (atraso de fase atmosférica) desses dados sejam resolvidos (FERRETTI, PRATI e ROCCA, 1999).

A disponibilização atual de dados SAR gratuitos, como o programa Sentinel-1 da ESA, abre novas perspectivas de pesquisa na área. Estudos com a utilização de imagens em Banda C podem trazer um nível de detalhamento aceitável ao planejamento de grandes extensões rodoviárias, abrindo a perspectiva de um monitoramento contínuo da malha.

3.3 Possibilidade de aplicação

Sobre a probabilidade de utilização dos dados SAR em estudos voltados as infraestruturas de transporte, utilizando-se dos dados oriundos do Sentinel-1, como exemplo, temos a previsão de aplicação entre seus diversos modos de aquisição, para o monitoramento de deslizamentos e mapeamento de deformações em ambiente urbano, utilizando-se de imagens adquiridas em modo *Stripmap* e *Interferometric Wide Swath*.

Ainda há poucas publicações sobre o tema, com especificação para a aplicação em transportes utilizando os dados do Sentinel-1, entretanto a ESA demonstra alguns resultados em ambiente urbano com a aplicação da técnica PSI, como os estudos de caso para Veneza na Itália (Figuras 4 e 5), onde temos o monitoramento em detalhe das construções no perímetro urbano da cidade, detectou deformações a nível milimétrico no decorrer de um ano (ESA, 2016a).

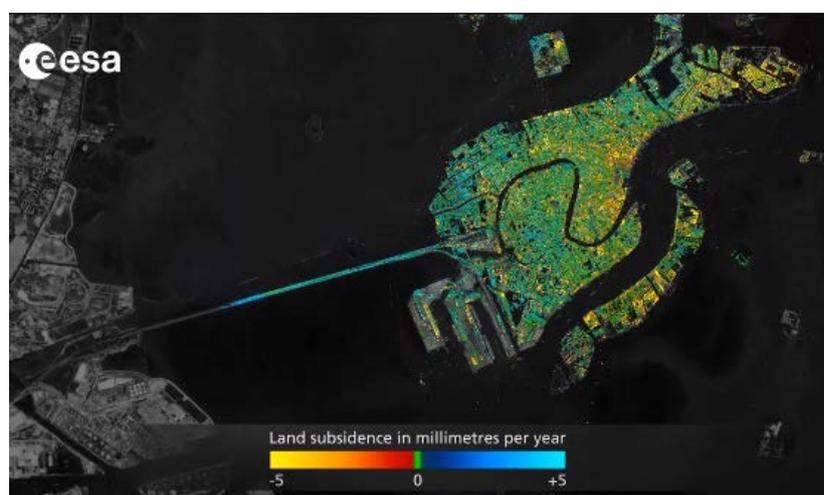


Figura 4. Monitoramento PSI sobre Veneza na Itália. Fonte: Adaptado de ESA, 2016a.



Figura 5. Detalhe do monitoramento PSI sobre Veneza. Fonte: Adaptado de ESA, 2016a.

Em estudo realizado em Junho de 2016, a ESA apresentou mapeamento similar ao aplicado em Veneza, demonstrando sua aplicação em diversos países da União Europeia. Neste trabalho, discutiu-se, por exemplo, a aplicação das técnicas InSAR na detecção de deformações de solo na cidade de Thyborøn na Dinamarca (Figura 6), visto que tal fator impacta diretamente no sistema de esgotos, causando fugas e quebras das tubulações. Isto possibilita a compreensão e tomadas de medidas com relação a água que se acumula e as direções para onde ocorrem estas fugas, auxiliando num planejamento estratégico para a manutenção da rede de forma pontual e mais precisa (ESA, 2016b).

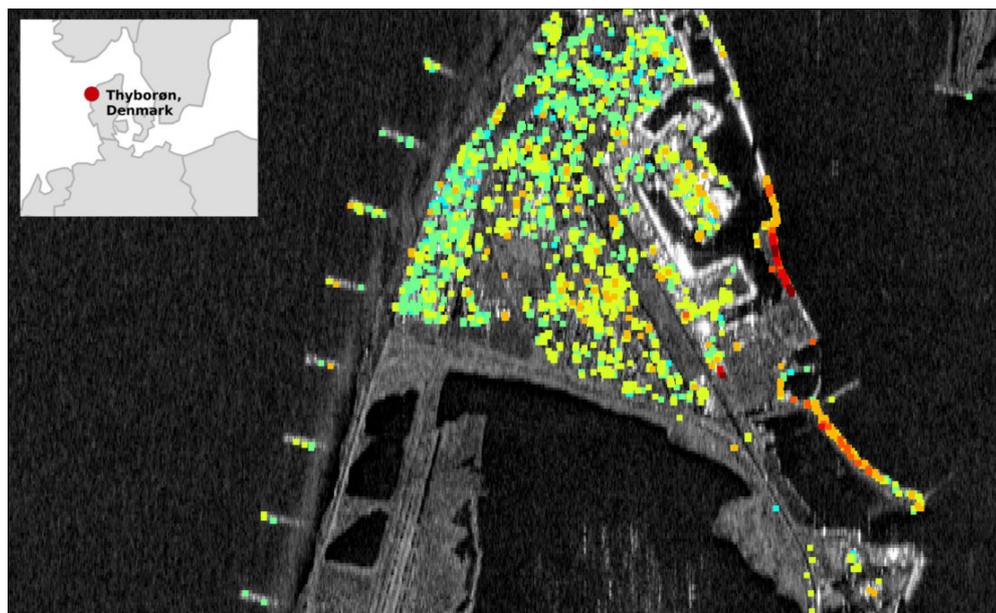


Figura 6. Monitoramento com PSI para auxílio no sistema de esgoto de Thyborøn, Dinamarca. Fonte: ESA, 2016b.

4. Conclusão

A interferometria diferencial SAR demonstra aplicações fundamentais no planejamento de obras públicas, sejam em transportes, áreas urbanas ou ainda na defesa civil, monitorando áreas com alta fragilidade.

O emprego de tais técnicas no país ainda demonstra-se muito insipiente, em partes por falta de empenho e condições monetárias favoráveis. Mediante a disponibilização dos dados de forma gratuita, como a exemplo do sensor SAR Sentinel-1, espera-se uma mobilização maior na pesquisa entorno do tema, e conseqüentemente sua aplicação mais ampla no planejamento nas mais diversas áreas. No caso do estudo na área de transportes, pode-se criar uma rede de monitoramento continua sobre a malha viária do país, auxiliando em custos de operação e planejamento.

O monitoramento com técnicas DInSAR (*Differential SAR Interferometry*) ou ainda com PSI, encaixam-se numa lacuna importante em aberto no país, com relação as tecnologias de sensoriamento remoto orbital, insumos para o planejamento regional de forma temporal. A exemplo da área de transporte, com o mapeamento pontual (PSI) sobre as rodovias, tem-se a possibilidade de detecção prévia de possíveis acomodações do solo sob a pista, os quais possam vir a causar rachaduras na manta asfáltica e possíveis buracos. Com o mapeamento prévio de uma possível tendência de subsidência, pode-se realizar obras de manutenção visando o reestabelecimento das condições favoráveis a via.

5. Referências bibliográficas

- AZEVEDO, A. R.; DOS SANTOS, J. R.; GAMA, F. F.; GRAÇA, P. M. L. A.; MURA, J. C. Caracterização de uso e cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens duais multitemporais do COSMO-SkyMed. *Acta Amaz.*, Manaus, v. 44, n. 1, p. 87-97, 2014. doi: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672014000100009>>.
- BARLA, G.; TAMBURINI, A.; DEL CONTE, S.; GIANNICO, C. InSAR monitoring of tunnel induced ground movements. *Geomechanics and Tunneling*, 9(1), 15-22, 2016. doi: <10.1002/geot.201500052>.
- BIANCHINI, S.; CIAMPALINI, A.; RASPINI, F.; BARDI, F.; DI TRAGLIA, F.; MORETTI, S.; CASAGLI, N. *Multi-Temporal Evaluation of Landslide Movements and Impacts on Buildings in San Fratello (Italy) By Means of C-Band and X-Band PSI Data*. Pure Appl. Geophys., 172 (2015), 3043–3065. doi: <10.1007/s00024-014-0839-2>.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. *Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial*. 20.ed., Brasília : CNT : SEST : SENAT, 2016.
- EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. *Land Monitoring: Urban Deformation Mapping*. 2016a. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/land-monitoring>>. Acesso em: 09 nov. 2016.
- EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. *Mapping that sinking feeling*. 2016b. Disponível em: <http://m.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Mapping_that_sinking_feeling>. Acesso em: 09 nov. 2016.
- FERRETTI, A.; PRATI, C.; ROCCA, F. Permanent scatterers in SAR interferometry. *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 1999)*, Hamburg (Germany), 28 June–2 July 1999, vol. 3, pp. 1528–1530. 1999.
- FERRETTI, A.; PRATI, C.; ROCCA, F. Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 39, n. 1, p. 8-20, 2001.
- MURA, J. C.; PARADELLA, W. R.; GAMA, F. F.; SILVA, G. G.; GALO, M.; CAMARGO, P. O.; SILVA, A. Q.; SILVA, A. Monitoring of Non Linear Ground Movement in Open Pit Iron Mine Based on an Integration of Advanced DInSAR Techniques Using TerraSAR-X Data. *MDPI Remote Sensing Journal*. ISSN 2072-4292. 2016.
- PARADELLA, W. R.; FERRETTI, A.; MURA, J. C.; COLOMBO, D.; GAMA, F. F.; TAMBURINI, A.; SANTOS, A. R.; NOVALI, F.; GALO, M.; CAMARGO, P. O.; SILVA, A. Q.; SILVA, G. G.; SILVA, A.; GOMES, L. L. Mapping surface deformation in open pit iron mines of Carajás Province (Amazon Region) using an integrated SAR analysis. *Engineering Geology*, v. 193, p. 61-78, July 2015a. doi: <10.1016/j.enggeo.2015.04.015>.
- PARADELLA, W. R.; MURA, J. C.; GAMA, F. F.; SANTOS, A. R.; SILVA, G. G. Radares Imageadores (SAR) orbitais: tendências em sistemas e aplicações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2015b. p. 2506-2513. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4A4L>>. Acesso em: 01 nov. 2016.
- RASPINI, F.; CIAMPALINI, A.; DEL CONTE, S.; LOMBARDI, L.; NOCENTINI, M.; GIGLI, G.; FERRETTI, A.; CASAGLI, N. Exploitation of amplitude and phase of satellite SAR images for landslide mapping: the case of Montescaglioso (South Italy). *Remote Sensing*, 7(11), pp.14576-14596, 2015.
- ROCCA, F.; RUCCI, A.; FERRETTI, A.; BOHANE, A. Advanced InSAR interferometry for reservoir monitoring. *First Break*, volume 31 (5), 2013.
- STRAMONDO, S.; BOZZANO, F.; MARRA, F.; WEGMULLER, U.; CINTI, F. R.; MORO, M.; SAROLI, M. Subsidence induced by urbanisation in the city of Rome detected by advanced InSAR technique and geotechnical investigations. *Remote Sensing of Environment*, 112 (2008) 3160–3172. doi: <10.1016/j.rse.2008.03.008>.
- TRE-ALTAMIRA. *Technology*. 2016. Disponível em: <<http://tre-altamira.com/technology/>>. Acesso em: 08 nov. 2016.