



Avaliação da Interferometria de Radar de Abertura Sintética (InSAR) como Instrumento de Monitoramento da Estabilidade de Barragens

Aluno: Thiago de Azevedo C. - 187554

Telefone: (012) 98125-3420

Universidade Estadual de Campinas

thiagoazvcunha@gmail.com

Orientador: Prof. Diego F. Ducart

Telefone: (19) 99913-0535

Universidade Estadual de Campinas

dducart@unicamp.br

OBJETIVOS

Este projeto busca avaliar a aplicação da Interferometria Diferencial por Radar de Abertura Sintética (DInSAR) como sensor de monitoramento da estabilidade de barragens, e em segundo momento, explorar os potenciais das imagens SAR como instrumento de análise da região de uma barragem. Para isso, serão obtidas imagens do Sentinel-1, duas referentes aos dias que antecedem o desastre de Brumadinho, ocorrido em 25/01/2019 com rompimento da Barragem I da Mina de Feijão, e uma terceira provinda do imageamento seguinte ao desastre. A partir delas, distintos processamentos serão feitos no *software* SNAP, da ESA, com base em manuais disponibilizados pela NASA, para assim gerar um interferograma e uma imagem binária, que colaboram para análise do comportamento da barragem e das alterações nos corpos hídricos da região, respectivamente.

INTRODUÇÃO

O cenário brasileiro acerca das barragens de rejeito de mineração atingiu notoriedade mundial, em vista dos acidentes e crimes ambientais ocorridos nos últimos anos. Eventos como o rompimento da Barragem do Fundão, em 2015, e Barragem I da Mina de Feijão, em 2019, sucedidos nas cidades mineiras de Mariana e Brumadinho (MG), respectivamente, causaram danos ambientais de grandes dimensões. Casos como esses demonstram o potencial danoso que acidentes em barragens podem ter, sendo necessária a manutenção e monitoramento constante de suas complexas estruturas.



O monitoramento da saúde das estruturas de uma barragem tem posição central na garantia da segurança humana, ambiental e econômica, e que a complexidade dessa estrutura demanda múltiplos sensores para o cumprimento desse objetivo. Scaioni et al. (2018) apontam que os padrões deformacionais relativos e absolutos variam de acordo com o tipo de barragem, mas estão tradicionalmente agrupados em duas tendências: disrupturas verticais e horizontais. Segundo eles, movimentos horizontais estão comumente relacionados a forças externas, sendo necessário o monitoramento de moções na região dos arredores da estrutura também.

Técnicas para o monitoramento reportadas na literatura estão centradas no uso de *lasers* móveis (Lindenbergh & Pietrzyk, 2015) e na aplicação da Interferometria Terrestre por Radar de Abertura Sintética (InSAR), para o escaneamento e identificação de deformações superficiais (Monserrat et al., 2014). A Interferometria é colocada como a ciência que estuda o fenômeno resultante da interação entre ondas, e sua aplicação em imagens de Satélite de Abertura Sintética (SAR) cresceu com o avanço tecnológico. Essas imagens, por sua vez, correspondem a um conjunto de pixels, cada qual com uma medida de amplitude de onda. A InSAR, então, baseia-se na análise da diferença de fase entre píxeis análogos de imagens SAR, adquiridas em momentos diferentes, apontando medidas de deformação no terreno a partir dessa diferença (PINTO, 2015).

Essa análise pode ser feita em distintos softwares, e é dividida em etapas de pré-processamento e processamento. Na primeira etapa os dados são refinados para aprimorar os resultados e dar base à análises regionais, enquanto na segunda um interferograma é criado, desdobrado e transcrito em forma de mapa, para fins didáticos. Há distintas metodologias de uso da Interferometria SAR, cujas principais reportadas na literatura estão centradas na Interferometria Diferencial SAR (DInSAR), Interferometria Diferencial Avançada (A-DInSAR) e Interferometria por Espalhadores Persistentes (PSI), cada com suas respectivas complexidades, demandas e aplicações (Negrão et al., 2017).

A Interferometria Diferencial SAR, por sua vez, é descrita por Negrão et al. (2017) como sendo uma técnica derivada do InSAR, sendo capaz de calcular o deslocamento superficial por meio da diferença entre a fase topográfica e de movimentação da superfície. Essa abordagem é mais simples que a PSI e A-DInSAR, quanto às etapas de processamento e demandas técnicas dos processadores, sendo mais acessível e ainda eficaz.



RESULTADOS

Pela conjuntura pandêmica e consequente fechamento dos laboratórios a realização das etapas de processamento foram comprometidas, o foco da pesquisa então foi as etapas de pré-processamento e o estudo dos potenciais das imagens SAR para aplicação em barragens.

Para o avanço da pesquisa e validação dos objetivos do projeto, foi escolhida como área de estudo a Barragem I do povoado Córrego do Feijão, localizada na cidade mineira de Brumadinho. O rompimento da barragem no dia 25/01/2019 liberou cerca de 11,7 milhões de m³ de rejeito de mineração por meio de uma onda de lama que destruiu instalações, equipamentos e causou inúmeras fatalidades. Essa liberação de material atingiu a rede hídrica, causando poluição em escala local e regional, alterando a dinâmica natural e humana da região.

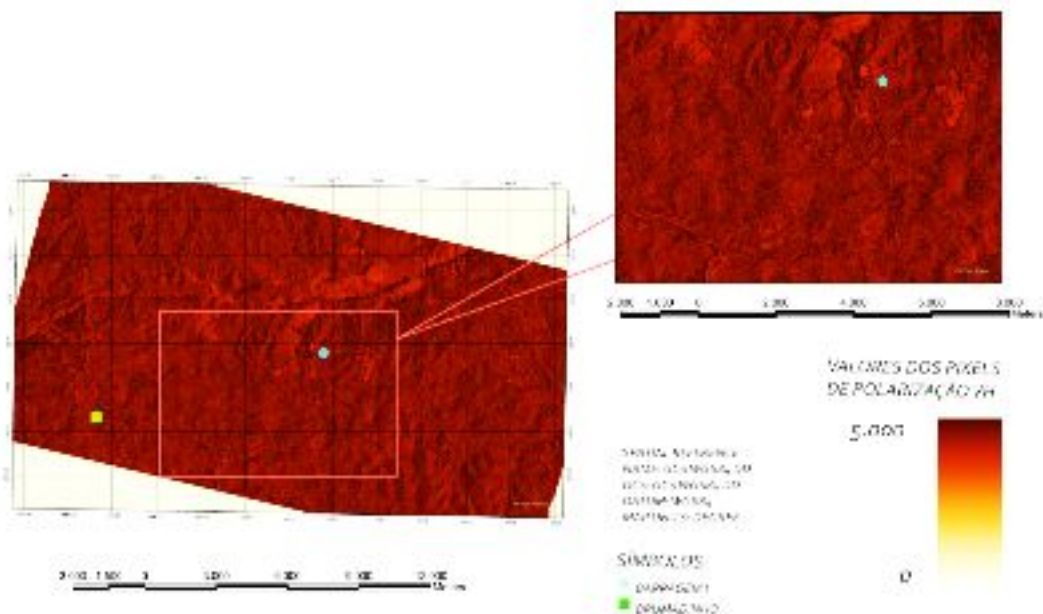
Com o pré-processamento duas imagens binárias foram geradas, embasando análises da região em que a Barragem I do Córrego de Feijão está inserida. Os Mapas 1 e 2 referem-se aos dias 17/01/2019 e 29/01/2019, antes e depois do acidente, respectivamente, e ilustram as mudanças regionais causadas pelo avanço da onda de rejeitos liberada com o rompimento da barragem. A análise comparada indica que o conjunto de pixels na parte inferior central da imagem binária do dia 29/01 indica o caminho que a lama de rejeitos seguiu após o rompimento, até atingir o Rio Doce.

Quanto aos potenciais de dados SAR para aplicação em barragens, Gama et al. (2020) aplicaram duas técnicas de A-DinSAR, PSI e SBAS, para pesquisas do desastre de Brumadinho. A partir de 22 imagens SAR, obtidas com o Sentinel-1 e de parâmetros similares ao desta pesquisa, os autores desenharam o comportamento da estrutura da Barragem I no período de 03/03/2018 à 22/01/2019 e obtiveram resultados promissores.

Quando consideramos isso e pontos levantados na literatura é possível inferir que a aplicação da DinSAR, com base em imagens do Sentinel-1, apresenta muitas limitações para aplicação no monitoramento da estabilidade de barragens. Quando verificamos questões como a resolução espacial e necessidade de um número maior de imagens, há demandas que vão além do oferecido pelo Sentinel-1, como abordado nesta pesquisa. Contudo, a aplicação de técnicas mais avançadas de A-DinSAR, como a PSI e SBAS, são mais adequadas por possibilitar um processamento dos dados superficiais mais profundo.

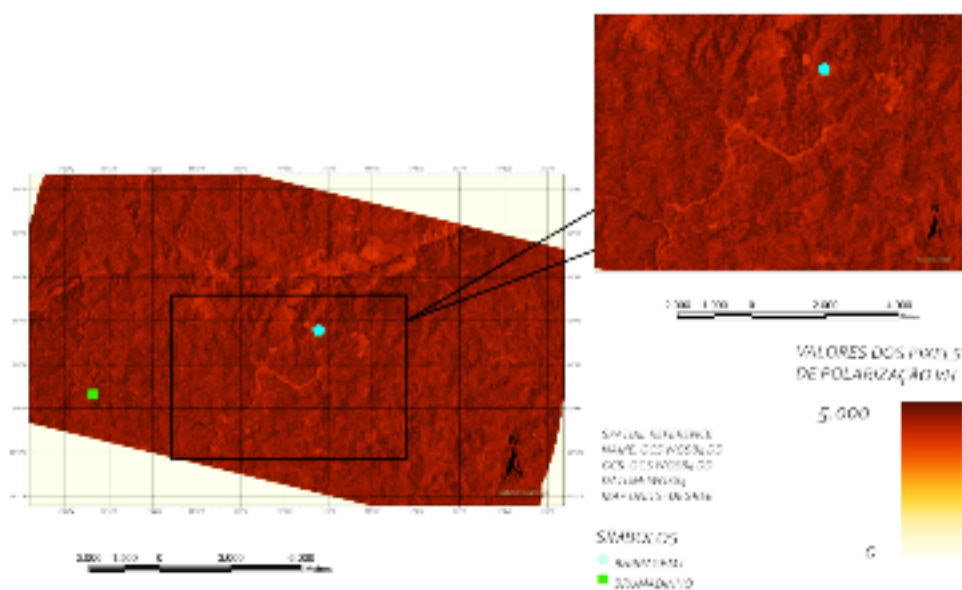


MAPA COM BASE EM DADOS SAR DA REGIÃO DE BRUMADINHO E MINA DE CÔRREGO DE FEIJÃO - MG (17/01/2019)



Mapa 1: Mapa da região de Brumadinho, com dados SAR. Dia 17/01/2019.

MAPA COM BASE EM DADOS SAR DA REGIÃO DE BRUMADINHO E MINA DE CÔRREGO DE FEIJÃO - MG (29/01/2019)



Mapa 2: Mapa da região de Brumadinho, com dados SAR. Dia 29/01/2019.



Por fim a interferometria não deve ser o único instrumento de monitoramento de uma barragem, por se basear em imagens de satélite há o fator da resolução espacial, que restringe o monitoramento ao tempo de revisita. Mas, apesar disso, a aplicação do sensor ainda é muito relevante ao levar em consideração o acompanhamento de deslocamentos superficiais em grandes períodos de tempo, possibilitando a análise de comportamento da estrutura. A partir do InSAR eventos anteriores podem ser reconstruídos, dando base para análises e estudos de riscos, e ao pontuarmos a conjuntura brasileira acerca da monitoria de barragens a importância da interferometria cresce ainda mais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GAMA, F. F. *et al.* Deformations prior to the Brumadinho dam collapse revealed by Sentinel-1 InSAR data using SBAS and PSI techniques. **Preprints**, 18 ago. 2020. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202008.0391/v1>. Acesso em: 24 ago. 2020.

LINDENBERGH, R.; PIETRZYK, P.. Change detection and deformation analysis using static and mobile laser scanning. **Appl Geomat**, v. 7, p. 65-74, 2015.

MONSERRAT, O.; CROSETTO, M.; LUZI, G. A review of ground-based SAR interferometry for deformation measurement. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 93, p. 40-48, 2014.

NEGRÃO, P. *et al.* Interferometria Diferencial com Dados SAR: Princípios Básicos e Aplicações em Geociências. **Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**, Rio de Janeiro, 6 nov. 2017

PINTO, C. A. **Detecção de Deformações Superficiais na Mina do manganês do Azul Através da Interferometria de Radar Orbital**. 2015. 196 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - São José dos Campos, 2015.

SCAIONI, M.; *et al.* Geodetic and Remote-Sensing Sensors for Dam Deformation Monitoring. **Sensors**, v. 18, 2018.