

Utilização de Radares de Abertura Sintética SAR para o Sensoriamento Remoto de barragens utilizando técnicas de interferometria

Pedro Henrique Santos¹, Rodolfo Antônio da Silva Araújo¹

¹Divisão de Eletrônica Espacial e Computação (DIEEC) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Caixa Postal 12.227-010 – São José dos Campos – SP – Brasil
pedro.santos@inpe.br, rodolfo.araujo@inpe.br

Abstract. *Synthetic Aperture Radars (SAR) are systems that have the ability to simulate large apertures using smaller antennas. Remote Sensing, using SAR radars embedded in satellites that use Interferometry (InSAR) techniques, makes it possible to analyze changes on the surface based on the phase difference of the signals. This work aims to analyze techniques (InSAR) used in tailings dams, aiming to master and future applications. A brief description of the technique, as well as the analysis of its application, was demonstrated. The potential of the technique has been demonstrated and directs future research towards solutions that can be used to prevent risks, reducing environmental disasters in tailings dam landslides, such as in Brumadinho and Mariana, which are the objects of this study.*

Resumo. *Radars de Abertura Sintética (SAR) são sistemas que possuem a capacidade de simular grandes aberturas utilizando antenas menores. O Sensoriamento Remoto à partir de radars SAR embarcados em satélites que utilizam técnicas de Interferometria (InSAR), permitem analisar mudanças na superfície à partir da diferença de fase dos sinais. Este trabalho tem como objetivo analisar técnicas (InSAR) utilizadas em barragens de rejeitos, visando domínio e aplicações futuras. Uma breve descrição da técnica, bem como a análise de sua aplicação foi demonstrada. O potencial da técnica foi demonstrado e direcionam pesquisas futuras para soluções que possam ser utilizadas na prevenção de riscos, reduzindo os desastres ambientais em deslizamentos de barragens de rejeitos, como por exemplo em Brumadinho e Mariana, que são objetos deste estudo.*

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto pode ser definido pela observação de certas regiões e aquisição de dados de superfície de objetos, materiais ou fenômenos, sem que haja contato físico com os recursos em observação, como superfície terrestre, oceanos ou atmosfera Flores et al., (2019).

Quando realizado por satélites, ocorrem vantagens potenciais, como a constante revisita nos mesmos pontos geográficos de interesse e também o monitoramento de

grandes áreas (campo de visada), onde a aquisição dos dados revelam mudanças nas condições analisadas ao longo do tempo Flores et al., (2019), Bitar et al., (2018).

Sistemas de Sensoriamento Remoto, podem ser classificados como passivos, quando registram a energia eletromagnética que é naturalmente irradiada por todos os objetos e.g. câmeras ópticas embarcadas em satélites, e ativos, que geram e enviam seus próprios sinais, como os radares SAR embarcados em satélites Bitar et al., (2018), Osmanoglu, B. et al., (2016). Logo, os sensores ativos, permitem coletar dados em condições climáticas adversas, na presença de nuvens, chuva ou fumaça, e em ambientes iluminados ou não Bitar et al., (2018), Osmanoglu, B. et al., (2016).

Nos últimos anos, após os acidentes nas barragens em Mariana (2015), e Brumadinho (2019), ambas em MG, uma tecnologia que vêm ganhando espaço é a denominada interferometria SAR (InSAR). Tal técnica permite monitorar e medir os deslocamentos da superfície terrestre na linha de visão do satélite, isso de forma precisa, à partir da diferença de fase entre os sinais coletados Osmanoglu, B. et al., (2016), Rotta, L. H. et al., (2020). Com isso, a integração entre dados de monitoramento, fornece suporte à gestão de riscos, medidas de prevenção e mitigação à rupturas.

O objetivo deste trabalho é demonstrar algumas vantagens no uso de radares do tipo SAR, onde a hipótese se dá na redução de riscos em desastres ambientais à partir do uso de tecnologias já consolidadas e conhecidas, avaliando a praticidade do método através da análise de deformação superficial de barragens, à partir dos dados obtidos da cena analisada.

Para isso, foram apresentados dois trabalhos que descrevem as potenciais ferramentas InSAR que podem ser implementadas para reduzir os riscos e também os acidentes inerentes aos processos dinâmicos presentes em barragens de rejeitos.

1.1 Interferometria SAR

A técnica InSAR é atualmente utilizada para quantificar mudanças e ou deformação do terreno devido a terremotos, atividades vulcânicas ou mudanças no nível da água Osmanoglu, B. et al., (2016).

A mesma, utiliza informações relativas as diferenças de fase dos sinais emitidos pelo RADAR, podendo ocorrer em uma única passagem do satélite, que se dá através da aquisição biestática, ou à partir de duas aquisições dos dados SAR da mesma área, em diferentes momentos, onde haverá a criação de um interferograma que fornecerá as variações no terreno ou mudanças existentes no intervalo avaliado.

A Figura 1 descreve a técnica de interferometria biestática em radares SAR.



Figura 1. Princípio de operação interferométrica. Fonte: Osmanoglu, B. et al., (2016). Adaptado.

Observando a Figura 1, entre os satélites mestre (master) e o escravo (slave), é possível perceber que são formados dois vetores que se encontram paralelo a linha de base e perpendicular à mesma, respectivamente.

O detalhe em vermelho, descreve a diferença nas medições de fase dos sinais obtidos após um deslizamento do terreno avaliado. A técnica InSAR biestática de passagem única, é recomendada em aplicações que possuam ambientes com vegetação, pois evita problemas associados à perda de coerência e também, falta de correlação temporal, dentre outros fatores Flores et al., (2019), Osmanoglu, B. et al., (2016), Rotta, L. H. et al., (2020).

1.2 Sensoriamento Remoto em barragens

Nos últimos anos, o monitoramento de estruturas voltadas a barragens de rejeitos ganharam um papel de destaque. Trabalhos recentes demonstram a importância de uma revisão sobre a segurança e riscos associados, carecendo de análises mais detalhadas para uma produção de dados que gerem informações que auxiliem tanto em relação à prevenção de eventuais rupturas, quanto na gestão dos impactos ambientais indesejados ao funcionamento das estruturas durante a fase de operação, bem como, o maior aproveitamento desses dados quando na elaboração dos estudos prévios e relacionados à barragem Rotta, L. H. et al., (2020), Negrão P. et al., (2017).

Para que os dados possam ser interpretados de forma correta, alguns parâmetros devem ser avaliados, como por exemplo, a Banda de operação. Em áreas com cobertura vegetal, em radares que operam na Banda X ocorrerá o espalhamento principalmente no topo das árvores. Na Banda C, haverá menos espalhamento e uma penetração intermediária do sinal. Na Banda L teremos a maior penetração do sinal no dossel e consequentemente o menor espalhamento do mesmo. A Tabela 1, demonstra alguns satélites SAR em funcionamento e alguns de seus parâmetros de operação Flores et al., (2019).

Tabela 1. Parâmetros relevantes nas respostas dos radares.

Satélite	Banda	Resolução (m)	Ciclo (dias)	Ano
Alos 2	L	1 x 3	14	2014
Sentinel 1	C	5 x 5	12	2014
Terra SAR X	X	0,2 x 1	11	2014

2. Metodologia

Buscando sanar as lacunas descritas, foram realizados estudos sobre os acidentes em barragens de rejeitos, onde o Sensoriamento Remoto por satélite RADAR foi utilizado. Estudos conduzidos por Rotta, L.H. et al., (2020), em Brumadinho, utilizando a técnica de interferometria SAR, utilizaram 33 cenas do satélite Sentinel-1, obtidas com uma frequência regular de 12 dias, entre 3 de janeiro de 2018 e 22 de janeiro de 2019, com um ângulo de incidência médio de 32,5°. Posteriormente os dados foram processados para a remoção das componentes de fase e devidas correções Rotta, L. H. et al., (2020).

Anteriormente, estudos haviam sido realizados por Negrão P. et al., (2017), em Mariana MG, sendo que estes foram feitos no complexo minerário de Germano, onde a barragem do fundão havia se rompido. Neste caso, foram adquiridas imagens do satélite TerraSAR-X, no período de 11 de novembro de 2015 à 18 de outubro de 2016, com ângulo de incidência médio de 35°. Uma série de 30 imagens foram analisadas, com intervalos de 11 dias. Adotou-se a técnica de interferometria diferencial (DinSAR), onde as aquisições ocorrem em diferentes épocas e posições do satélite, utilizando pares de imagens SAR, que são posteriormente processadas para a devida redução das componentes do ruído de fase Negrão P. et al., (2017).

Os trabalhos contemplaram as técnicas interferométricas SAR (InSAR). Com isso foi possível gerar os modelos à partir de algoritmos de processamento para o monitoramento, detecção e avaliação das estruturas, visando os deslocamentos superficiais na linha de visada do RADAR Rotta, L. H. et al., (2020), Negrão P. et al., (2017).

3. Resultados

Após o processamento dos dados obtidos na barragem de Brumadinho MG, os autores relataram que houve um deslocamento vertical cumulativo estimado em aproximadamente -30 cm. Com a técnica utilizada também foi observado que houve um deslizamento na área montanhosa junto à barragem, começando por volta de agosto de 2018 e continuou até o ponto de falha da barragem. O estudo indica que o deslizamento pode ter resultado de uma deformação contínua na barragem com a possível contribuição do processo de falha Rotta, L. H. et al., (2020).

Para os estudos realizados em Mariana MG, após a análise e correlação dos dados processados, foram detectados deslocamentos verticais cumulativos de até -10 cm, isso nos reservatórios.

Os autores relatam que mesmo com as interferências existentes de cobertura vegetal e relevo montanhoso, foi possível obter bons resultados, embora tenha ocorrido

uma diminuição da coerência para determinação de deslocamentos nas estruturas de interesse.

Os autores descrevem que para estes casos, talvez seja necessário isolar as componentes de fase interferométricas nestas condições ambientais, isso para que as respostas dos sinais sejam condizentes com a cena observada em campo Negrão P. et al., (2017).

4. Conclusões

Uma breve introdução das técnicas de Sensoriamento Remoto utilizando Interferometria SAR foi descrita. Foram apresentados dois trabalhos que utilizaram o Sensoriamento Remoto por satélite RADAR SAR, para o monitoramento de estruturas de barragens, e que adotaram as técnicas de interferometria (InSAR).

Os autores relataram a eficiência da técnica para a detecção de deslocamentos superficiais, na ordem de centímetros, onde a integração de dados espaciais e de campo são potenciais aliados na prevenção de riscos e desastres ambientais.

Foi observado que para o devido processamento dos dados obtidos, se faz importante analisar o ambiente avaliado e também a Banda de operação do RADAR.

Sendo assim, a implementação das técnicas InSAR apresentadas, durante as fases de operação da barragem, podem identificar as possíveis fontes de risco, permitindo gerar dados que possam ser usados para mitigar os danos, e também, melhorar o processo de gestão e avaliação dos impactos ambientais que podem ocorrer em desastres ambientais envolvendo barragens de rejeito.

Referências

- Flores A. et al., (2019). The SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation.
- Bitar, O. Y. et al., (2018). 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Osmanoglu, B. et al., (2016). Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 115, p. 90-102.
- Rotta, L. H. et al., (2020). The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 90, p. 102119.
- Negrão P. et al., (2017). Detecção de deslocamentos na superfície da barragem de Germano, em Mariana-MG com série temporal de interferometria diferencial SAR. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta.