



## **Avaliação da Interferometria de Radar (InSAR) para o estudo de deformação produzida pelo Terremoto Kumamoto em 2016, Japão**

Aluno Proponente: Brenda Gaia De Carvalho Feitosa (IG/UNICAMP)

Orientador: Prof. Dr. Diego Fernando Ducart (IG/UNICAMP)

### **RESUMO**

Em Abril de 2016 a cidade de Kumamoto, localizada no Japão foi afetada por dois terremotos sucessivos de grande intensidade, o primeiro ocorreu no dia 14 e o segundo no dia 16, com magnitudes de  $M_w = 6,1$  e  $M_w = 7$  respectivamente. O desastre natural destruiu edifícios, pontes, causou deslizamentos de terra e mortes. Para compreender os fenômenos físicos que controlam a propagação de sismos e os riscos impostos por falhas ativas é fundamental analisar a deformação de terreno produzida por terremotos. O objetivo principal do presente projeto foi avaliar a técnica InSAR, como ferramenta de análise de deformação do terreno produzida por terremotos. O software SNAP mostrou-se estável e confiável, porém a necessidade de memória robusta para processamentos de grandes áreas não torna a elaboração de mapas deformacionais muito acessível.

Palavras Chave: *Terremoto Kumamoto, Interferometria, SAR, SNAP,*

### **1. INTRODUÇÃO**

Em Abril de 2016 a cidade de Kumamoto (Japão) foi afetada por dois terremotos sucessivos de grande intensidade, o primeiro (*foreshock*) ocorreu no dia 14 e o segundo (*mainshock*) no dia 16, com magnitudes de  $M_w = 6,1$  e  $M_w = 7$  respectivamente. O desastre natural teve como consequência o colapso de edifícios e pontes, deslizamentos de terra, suspensão de estradas e ferrovias e principalmente, deixou cerca de quarenta e nove mortes e um desaparecido (Yamazaki et Liu 2016).

Os terremotos são episódios de liberação de energia mecânica acumulada nas placas tectônicas através da deformação plástica. O movimento das placas tectônicas, no caso da área estudada em zonas de convergência, transporta os blocos rochosos em relação uns aos outros, causando rupturas e deslocamentos que formam planos de falhas. Os movimentos tectônicos não são contínuos devido ao atrito entre os blocos, para resultar em terremoto o acúmulo de deformação elástica nas bordas de placas deve superar a resistência do atrito nos planos de falha (Andrade, 2011).



Em situações de desastres naturais de larga escala como ocorreu em Kumamoto pode ser difícil coletar informações rapidamente da área afetada pois o acesso por vezes é restrito em consequência da interrupção das redes rodoviárias e sistema de telecomunicações. As técnicas de sensoriamento remoto podem ser aplicadas para avaliação e grau de danos.

A interferometria é uma técnica que explora a informação da diferença de fase ( $\Delta\Phi$ ) entre duas ondas transmitidas pelo SAR orbital em tempos distintos ( $t_1$  e  $t_2$ ), foi empregada inicialmente na obtenção de modelos digitais de elevação da superfície. A fase de onda eletromagnética define a direção de propagação através do gradiente da função eikonal, da frequência e também sua velocidade de propagação (Hanssen 2001). Como uma onda é um fenômeno cíclico, a fase é frequentemente medida em graus. Por meio da diferença de fases, o InSAR consegue registrar mudanças sutis na superfície com precisão de até um milímetro (isso para sistemas SAR que operam na banda C), tais como deslocamentos, subsidências, etc. Para tal, são utilizadas duas ou mais imagens SAR com o intuito de medir mudanças de fase consecutivas do sinal do radar. Essas imagens são adquiridas em posições e atitudes idênticas porém em momentos diferentes. A técnica InSAR apresenta muitas vantagens pois é uma fonte confiável de dados, já que as imagens de radar não dependem de equipamentos de medição terrestre e das condições climáticas. Apresenta facilidade na integração de dados; as informações geradas podem ser integradas sem dificuldades a programas de monitoramento já existentes. Além disso, a operacionalidade permite a supervisão de grandes áreas, tornando-se muito útil para ambientes de difícil acesso.

O objetivo principal da pesquisa foi elaborar um mapa mensurando a deformação terrestre causada pelo terremoto Kumamoto usando duas imagens Sentinel-1 a partir da interferometria. Como objetivo secundário foi proposta a validação do processamento comparando os resultados com estudos realizados na área sobre o terremoto. Além disso, o trabalho permitiu avaliar a técnica e desempenho do software SNAP.

## **LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO**

A ilha de Kyushu, onde está situada a cidade de Kumamoto (Figura 5), é uma área tectonicamente complexa pois está localizada perto de um sistema de falhas dextral de 1000 km de comprimento que está relacionado à subducção oblíqua da placa marítima de Philippe (Filipinas) sob a placa da Eurásia. A sequência de terremotos dos dias 14 e 16 de abril de



2016 ocorreu principalmente nas zonas ativas de falha de Futagawa (orientação  $235^\circ$  e inclinação  $60^\circ$ ) e Hinagu (orientação  $205^\circ$  e inclinação  $73^\circ$ ) (Figura 1). Tais eventos sísmicos são consequência do processo de ruptura iniciado no segmento Hinagu em movimento dextral, propagado para nordeste transferido para falha de Futagawa unilateralmente e que após 15 s cessou perto do vulcão Aso com movimento normal de falha (Asano e Iwata 2016, Hao e Yao 2017, Zhang et al. 2018).

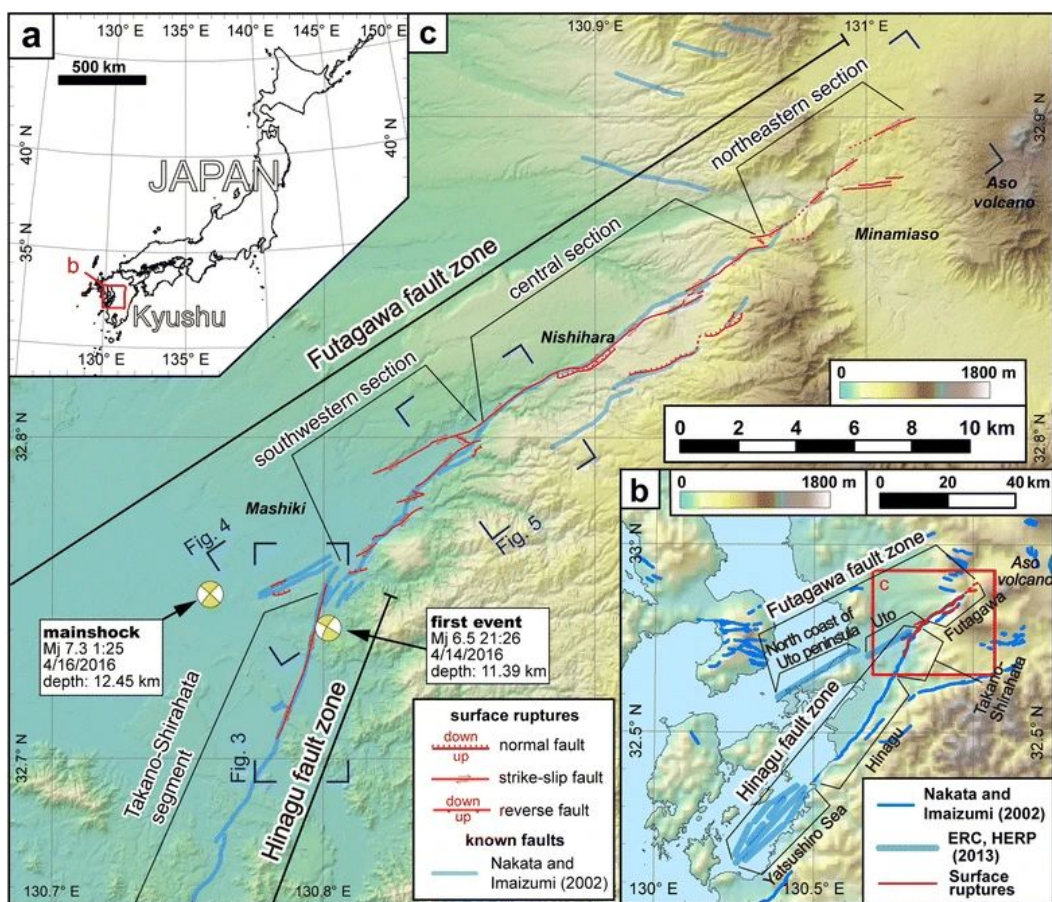


Figura 1: **b)** Falhas ativas na parte oeste do centro de Kyushu (*linhas azuis*) e as rupturas de superfície de 2016 (*linhas vermelhas*). **c)** Distribuição das rupturas de superfície associadas à sequência do terremoto de Kumamoto em 2016 (*linhas vermelhas*), falhas ativas previamente mapeadas (*linhas azuis*) e a magnitude para o *mainshock* e o *foreshock* (*bolas de praia amarelas*) determinadas pela Japan Meteorological Agency e rupturas não confirmadas interpretadas a partir de fotografias aéreas (*linhas vermelhas tracejadas*). Fonte: Shirahama(2016)

## PROCESSAMENTO E RESULTADOS

Para o processamento foram utilizadas duas imagens SAR do satélite Sentinel-1 modo de aquisição Interferometric Wide (IW) capturadas pela técnica Terrain Observation with Progressive Scans SAR (TOPSAR), processadas em Single Look Complex (SLC) de polarização única VV. As imagens registram dados do dia 08 de abril antes do terremoto e de



16 de abril após o evento de deformação, respectivamente. Não foi necessário fazer mosaico pois as imagens selecionadas abrangem o epicentro e a região mais afetada.

Pré- evento	S1A_IW_SLC__1SSV_20160408T091355_20160408T091430_010728_01001F_83EB
Pós-evento	S1A_IW_SLC__1SSV_20160420T091355_20160420T091423_010903_010569_F9CE

Tabela 1: nomenclatura das imagens SAR utilizadas seguindo o padrão Standard Archive Format for Europe (SAFE)

O processamento interferométrico do par de imagens SAR com a finalidade de obter um mapa de deformação requer diferentes etapas (figura 2). A primeira etapa consistiu em abrir o par de imagens no software SNAP e visualizar a imagem de intensidade com os bursts delimitados por contorno preto, também é possível verificar as bandas dos dados complexos( $q$  e  $i$ ) e a banda de intensidade  $V$ .



Figura 2: Fluxograma das etapas de processamento necessárias para gerar um mapa de deformação





Após a verificação, as imagens devem ser co-registradas em uma pilha, onde uma imagem é selecionada como mestre e a outra como escrava. Durante a etapa de co-registro essa ordem é definida e depois aplica-se a função Sentinel Precise Orbit State Vectors, onde o POD fornece os arquivos para a correção automática dos vetores de estado de órbita. Essas etapas foram finalizadas, mas ao abrir o produto final aparece a mensagem de erro: "GC overhead limit exceeded error". Pesquisando sobre o erro em fóruns sobre o software SNAP, a mensagem significa que a memória RAM do computador que está realizando o processamento não é suficiente. A memória RAM indicada para esse processamento deveria ter no mínimo 16 Gb disponíveis, a memória do computador utilizado é de 8 Gb. Sem o interferograma não foi possível dar continuidade às etapas seguintes do processamento.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O objetivo principal do projeto que era produzir um mapa da deformação causada pelo terremoto Kumamoto em 2016 não foi realizado em função da falta de equipamento. O projeto proposto previa o uso dos computadores do Laboratório de Processamento de Informações Geo-referenciadas (LAPIG-UNICAMP). Em consequência da pandemia, foi utilizado para o processamento o computador pessoal da orientanda. Foi possível fazer o processamento inicial das imagens no software SNAP, mas a partir da etapa de co-registro das imagens era necessário no mínimo 16 GB de memória RAM sendo que o computador disponível tinha apenas 8 GB

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANDRADE, F. Terremotos E Tsunamis No Japão. Revista USP, n. 91, p. 16-29, 30 nov.2011.6
- ASANO, K., Iwata, T (2016). Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data. *Earth Planet Sp* 68, 147 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0519-9>
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). InSAR principles: guidelines for SAR interferometry, processing and interpretation. Noordwijk, The Netherlands: ESA Publications ESTEC (TM-19), 2007. 40p
- HANSSSEN, R.F.(2001) Radar interferometry: data interpretation and error analysis. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 308p
- HAO, J., Ji, C., and Yao, Z. ( 2017), Slip history of the 2016 *Mw* 7.0 Kumamoto earthquake: Intraplate rupture in complex tectonic environment, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 743– 750, doi:10.1002/2016GL071543
- SHIRAHAMA, Y., Yoshimi, M., Awata, Y. *et al.* Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. *Earth Planets Space* 68, 191 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0559-1>
- YAMAZAKI, Fumio ; LIU, Wen. Remote sensing technologies for post-earthquake damage assessment: a case study on the 2016 kumamoto earthquake. 6 th Asia Conference on Earthquake Engineering (6ACEE), Cebu City, Philippines, 2016. 6ACEE 2016
- ZHANG, Y., Shan, X., Zhang, G., Gong, W., Liu, X., Yin, H., Zhao, D., Wen, S., & Qu, C. (2018). Source model of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake constrained by InSAR, GPS, and strong-motion data: Fault slip under extensional stress. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(5A), 2675–2686. <https://doi.org/10.1785/0120180023>