

## Aplicação de Imagens SAR orbitais na identificação de inundações e escorregamentos de terra ocorridos no Vale do Itajaí-SC durante o desastre de 2008.

Rogério Ribeiro Marinho<sup>1</sup>  
Waldir Renato Paradella<sup>1</sup>  
Cleber Gonzales de Oliveira<sup>1</sup>  
Arnaldo Queiroz da Silva<sup>2</sup>  
Athos Ribeiro dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA  
68900-005 – Rod. JK, km 10 – s/nº - Fazendinha – Macapá - Amapá, Brasil  
{rogeosr, waldir, cleber, arnaldo, athos}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This paper focuses on the use of orbital SAR images to map areas affected by flood and landslide events in the region of Itajaí Valley, Santa Catarina (Brazil). The images were acquired by different imaging radar sensors (ALOS/PALSAR, ENVISAT/ASAR, RADARSAT-2 and TerraSAR-X) before, during and after the disasters, which took place during November 2008. The images were previously orthorectified and filtered for speckle noise reduction. For the mapping of the flooded areas it was used the unsupervised ISODATA classifier. The identification of landslide scars was performed through visual analysis under a 3D perspective of a high-resolution TerraSAR-X scene. The investigation showed that it was possible the identification of patches of floods and their temporal dynamics based on orbital SAR images acquired by different sensors and under different configurations and dates. In addition, it was possible to detect landslides scars with the use of 3D perspective viewing using a DEM and a high spatial resolution X-band data (TerraSAR-X). In emergency situations, the usage of SAR images offers advantages over optical data because the SAR imaging is independent of weather and solar illumination conditions. Thus, this type of approach is strategic for monitoring and management actions in circumstance of natural disasters such as the 2008 events in Santa Catarina.

**Palavras-chave:** floods, landslides, SAR images, inundações, escorregamento de terra, imagens SAR.

### 1. Introdução

Em novembro de 2008 o Estado de Santa Catarina foi atingindo por um sistema de instabilidade atmosférica que ocasionou uma elevada quantidade de chuvas sobre a região leste do Estado, principalmente no Vale do Itajaí. Foi registrada uma precipitação acumulada de 495 mm somente nos dias 23 e 24 de novembro e este forte volume de água provocou inundações e escorregamentos de terra em áreas urbanas e rurais. Cerca de 70 mil pessoas ficaram desalojadas e foram registrados 135 óbitos em decorrência do evento com 14 municípios decretando estado de calamidade pública e 63 ficaram em estado de emergência (Defesa Civil – SC, 2008).

O mapeamento de áreas afetadas por desastres naturais é uma das principais atividades na avaliação de danos ocorridos e população afetada. Assim, o uso de imagens de sensores remotos fornece informações de síntese para avaliação de riscos, tomada de decisões e entendimento das causas e conseqüências destes eventos (Gillespie et al., 2007; Joyce et al., 2009; Tralli et al., 2005). A aplicação de imagens orbitais de sensoriamento remoto para estes fins tem sido amplamente utilizada através de diferentes técnicas e abordagens.

Atualmente estão disponíveis diversos sistemas de imageamento orbitais com sensores ópticos e de radar de abertura sintética (SAR – *Synthetic Aperture Radar*), que dependendo da configuração e programação podem coletar e fornecer imagens sinópticas ou detalhadas de uma dada localidade. Esta grande disponibilidade de sistemas de sensoriamento remoto fornece aos tomadores de decisões diferentes possibilidades quanto aos procedimentos adotados durante as operações emergenciais ligadas a eventos de desastres naturais. Tal tipo

de informação é fundamental no planejamento de ações de vistorias aéreas e terrestres da Defesa Civil.

Sistemas sensores que operam na faixa do visível e infravermelho do espectro eletromagnético apresentam limitações na presença de chuvas e nuvens, situações comum em desastres naturais relacionados a eventos atmosféricos extremos. Por outro lado, sistemas sensores que operam na região espectral das microondas, como o SAR, possuem grande capacidade de detectar informações elétrica-geométrica dos alvos sob condições atmosféricas adversas, de modo independente de iluminação solar, com elevada resolução temporal (imageamento noturno e diurno) e razoável controle da geometria de aquisição. (Paradella et al., 2005).

Neste trabalho são apresentados resultados preliminares do uso conjunto de imagens SAR obtidas por diferentes sensores orbitais (ALOS/PALSAR, ENVISAT/ASAR, RADARSAT-2 e TerraSAR-X) no mapeamento de áreas afetadas por inundações e na caracterização de escorregamentos de terra ocorridos no Vale do Itajaí (SC) durante os desastre de 2008.

## 2. Área de estudo

Duas áreas de estudo foram selecionadas para esta pesquisa: (A) a região do médio e baixo curso do rio Itajaí-açu, área fortemente afetada por inundações, e (B) na região do Complexo do Baú, área intensamente afetada por diferentes tipos de movimentos de massas (Figura 1).

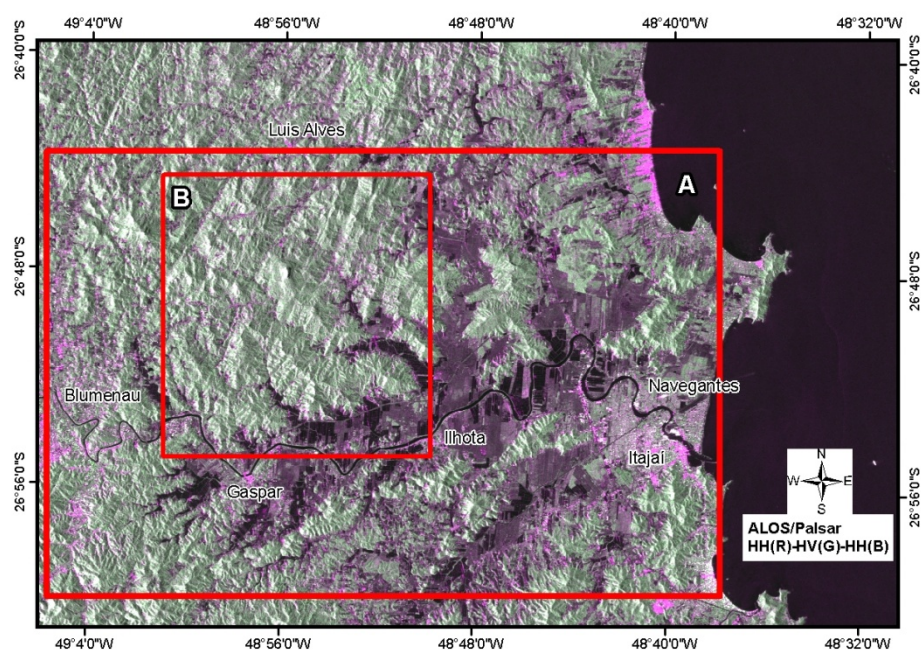


Figura 1 – Área da pesquisa: (A) superfícies inundadas, (B) escorregamentos de terra.

O Vale do Itajaí pertence à maior bacia hidrográfica do Estado de Santa Catarina, a bacia do Itajaí, que faz parte do sistema de drenagem da Vertente Atlântica. O clima da região é definido como subtropical caracterizado por um verão quente, úmido e com duas épocas de chuvas, uma no verão (dezembro a março) e outra mais reduzida na primavera (setembro a outubro), com precipitação média anual da ordem de 1980 mm. O relevo da região é caracterizado pela presença de serras que chegam até 800 metros em relação ao nível do mar, com encostas muitos íngremes e vales em V. As áreas mais planas são representadas pelas planícies que margeiam o rio Itajaí-açu e seus principais afluentes. Os cursos d'água possuem um perfil longitudinal de elevada declividade nas nascentes e de menor declividade no médio e baixo curso, nas áreas de planície. Devido a esta compartimentação geomorfológica, esta

região possui forte influência na ocorrência de desastres naturais como inundações e deslizamento de terras (Bunge, 2009).

Na região do baixo vale, nas áreas mais planas entre Blumenau e Itajaí há o predomínio do uso do solo para atividades primárias com destaque para lavouras de arroz irrigado, pastagens e reflorestamentos. O cultivo de arroz irrigado é caracterizado pelo uso de extensas áreas planas cobertas por uma lâmina de água durante um ciclo da cultura. Destacam-se também as manchas de ocupação urbana dos municípios de Blumenau, Itajaí e Navegantes, que juntos com outros municípios somam aproximadamente 900 mil habitantes, com economia voltada para a agricultura (arroz, banana, pastagem), indústria têxtil, turismo, importações e exportações no porto de Itajaí.

### 3. Imageamento SAR

Os sistemas SAR são sensores ativos (geram sua própria energia), com princípios e instrumentos diferentes dos sistemas ópticos que operam na faixa do visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Possuem grande sensibilidade às variações da topografia (relevo), da rugosidade superficial e do teor de umidade dos alvos (Paradella et al., 2000).

Sensores SAR emitem um sinal em direção à superfície terrestre e registram o retorno deste sinal. A intensidade deste retroespalhamento dependerá de parâmetros relacionados ao sensor (comprimento de onda, polarização, ângulo de incidência, azimute de visada e resolução espacial) e do alvo (rugosidade da superfície, constante dielétrica e orientação dos alvos). Os tipos básicos de mecanismos de retroespalhamento (difuso, especular e de canto) são controlados principalmente pela geometria dos alvos (rugosidade superficial, forma e orientação) e propriedades elétricas (constante dielétrica, conteúdo de umidade).

Sensores SAR possuem geometria de visada lateral, o que pode causar distorções significantes na imagem devido a variações nas distâncias entre o alvo e sensor. As distorções geométricas em sistemas SAR correspondem ao encurtamento de rampa (*foreshortening*), inversão de relevo (*layover*) e sombreamento (*shadow*). Para minimizar os efeitos destas distorções, imagens SAR devem passar por uma etapa de correção geométrica rigorosa obtida por meio de ortorretificação destas imagens.

### 4. Metodologia de trabalho

Para a realização deste trabalho foram utilizadas três imagens do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) do satélite japonês ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), uma do sensor ASAR (*Advanced Synthetic-Aperture Radar*) do satélite europeu ENVISAT (*European Environmental Satellite*), duas imagens do satélite canadense RADARSAT-2 e uma imagem de alta resolução espacial do satélite alemão TerraSAR-X. As imagens foram obtidas com diferentes configurações de azimute de visada, incidência, frequência e datas (Tabela 1). Para o processamento dos dados foi utilizado o software PCI Geomatica versão 10.3 em conjunto com dados auxiliares como, cartas topográficas de escala 1:50.000, modelo digital de elevação e pontos de ocorrência de escorregamentos.

#### 4.1 Pré-processamento

Antes da extração dos alvos de interesse (inundações e cicatrizes de escorregamento), foi realizada a correção geométrica e filtragem para redução do ruído *speckle* das imagens SAR. Devido às características de relevo acidentado na área de estudo e a presença de distorções inerentes ao processo de imageamento SAR (*layover*, *foreshortening* e sombra) foi realizada ortorretificação utilizando os recursos disponíveis no software Geomatica OrthoEngine 10.3 por meio da modelagem *Radar Specific*. Durante o processo de ortorretificação aplicou-se filtragem para redução do ruído *speckle*, sendo utilizado a opção *Enhanced-Frost* com janela

3x3 nas imagens TerraSAR-X e PALSAR-FBS (*Fine Bean Single*) e com janela 5x5 nas imagens ASAR, RADARSAT-2 e PALSAR-FBD (*Fine Bean Dual*). Após a geração das ortoimagens SAR foi realizada uma avaliação da precisão planimétrica através de cálculo do Erro Médio Quadrático (EMQ) estimado partir de pontos de validação extraídos das cartas topográficas (ICPs).

Tabela 1. Características das imagens SAR. Precipitação fonte: EPAGRI, 2010.

	ALOS/PALSAR	ENVISAT/ASAR	RADARSAT-2	TerraSAR-X
<b>Frequência GHz (Banda)</b>	1,27 (L)	5,33 (C)	5,4 (C)	9,65 (X)
<b>Polarização</b>	HH, HV	HH	HH	HH
<b>Modo de Imageamento</b>	FBD <sup>a</sup> e FBS <sup>b</sup>	IMP	Standard 5	Stripmap
<b>Órbita</b>	Ascendente	Descendente	Ascendente <sup>c</sup> Descendente <sup>d</sup>	Ascendente
<b>Incidência</b>	38,9°	33,7°	39,3°	28,7°
<b>Resolução (m) Rg. x Az.</b>	15x12 <sup>a</sup> 6,40x6,25 <sup>b</sup>	30x28	25x28	2,98x3,05
<b>Data de aquisição</b>	15/09/2008 <sup>a</sup> 31/01/2009 <sup>b</sup>	27/11/2008	28/11/2008 <sup>c</sup> 30/11/2008 <sup>d</sup>	01/12/2008
<b>Precipitação (mm)</b>	0 <sup>a</sup> 5,9 <sup>b</sup>	535,3 Acumulada de 23/11 a 27/11 de 2008	12,6 <sup>c</sup> 82,5 <sup>d</sup>	0,5

#### 4.2 Mapeamento das inundações

Para a extração das manchas de inundação foram realizados os seguintes passos: 1) classificação não-supervisionada das ortoimagens SAR pelo classificador ISODATA; 2) agregação dos clusters nas classes inundação e outros; e 3) conversão dos dados raster para vetor. O ISODATA foi selecionado pelo fato de não necessitar de informações de campo (amostras) e por possibilitar um processamento rápido, situação muitas vezes necessária em caso de emergência como em desastres naturais. Devido topografia acidentada da área em estudo, foi utilizada uma máscara de terreno, produzida a partir de declividade, para limitar a classificação nas áreas consideradas como planas (até 7° de declividade) e com isso reduzir a confusão com regiões de sombras em áreas de vertentes.

Foi considerado que corpos de água com superfícies não agitadas (rios, lagos e manchas de inundações) apresentam os menores valores de retroespalhamento devido ao retroespalhamento especular, associada a tonalidades escuras nas imagens SAR, conforme apresentado na Figura 2.

#### 4.3 Identificação de cicatrizes de escorregamento

Entre os diversos tipos de movimentos de massas, os escorregamentos são os de maiores ocorrências. Escorregamentos de terra apresentam um plano de ruptura definido, correspondendo a uma separação entre área movimentada e não-movimentada. Características como forma geométrica, orientação e o contraste entre material movimentado e não-movimentado tornam possível a identificação de cicatrizes por meio de imagens de sensores remotos orbitais ou aerotransportados.

Para o mapeamento das cicatrizes de escorregamento foi utilizado a imagem TerraSAR-X. Esta imagem foi selecionada por ser, entre o conjunto de dados disponíveis, o de melhor resolução espacial. Foram considerados alguns elementos de interpretação como forma, tonalidade, textura e contexto, em conjunto com visão em perspectiva produzida a partir da sobreposição da ortoimagem com um modelo digital de elevação, derivado a partir dos dados vetoriais das cartas topográficas de escala de 1:50.000 disponibilizados em formato *shape file* (GEOAMBIENTE e FATMA/PPMA-SC, 2008). Foram utilizados ainda pontos de campo e

fotografias de áreas afetadas obtidos por meio de sobrevôo (Vianna e Souza, 2009) no processo de análise das cicatrizes de escorregamento.

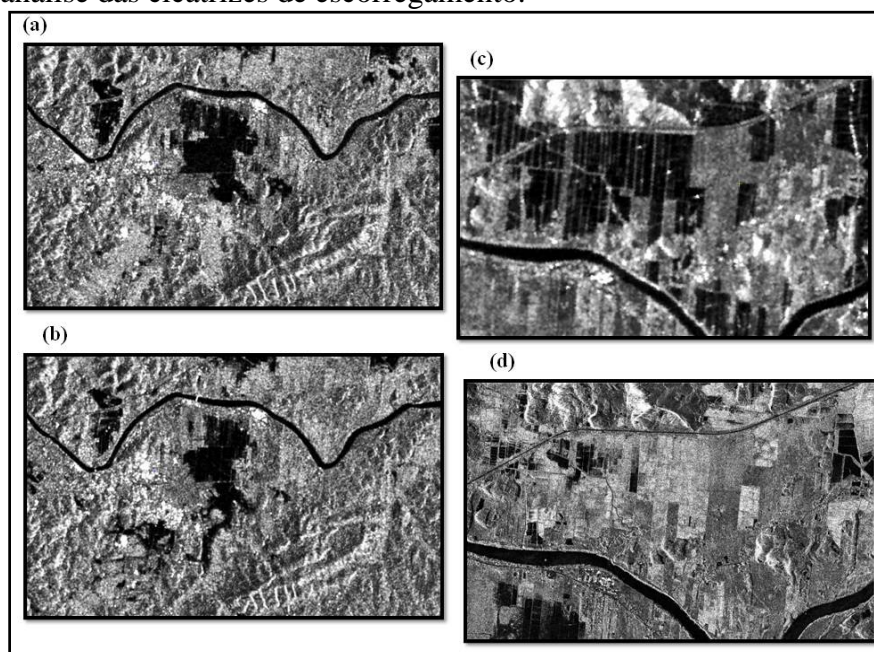


Figura 2. Detalhes das imagens ASAR/ ENVISAT (a), RADARSAT-2 (b), PALSAR/FBD-HH (c) e TerraSAR-X (d) do município de Gaspar.

## 5. Resultados e Discussão

Inicialmente foi realizada uma avaliação da precisão planimétrica das ortoimagens SAR produzidas no processo de correção geométrica. Nesta avaliação foi utilizado o Erro Médio Quadrático (EMQ) medido nas direções norte (N) e leste (E), bem como seu valor resultante utilizando pontos de controle independentes (ICPs). O resultado dessa avaliação é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Acurácia planimétrica das ortoimagens SAR (metros).

IMAGEM	EMQ (E)	EMQ (N)	EMQ (Total)	Nº ICPs
<b>PALSAR/FBD</b>	11,24 m	19,06 m	22,136 m	30
<b>ENVISAT/ASAR</b>	20,81 m	19,92 m	28,81 m	27
<b>RADARSAT-2 Ascendente</b>	17,03 m	17,27 m	24,26 m	27
<b>RADARSAT-2 Descendente</b>	19,82 m	17,83 m	26,66 m	20
<b>TerraSAR-X</b>	4,79 m	5,00 m	6,93 m	20
<b>PALSAR/FBS</b>	7,76 m	7,95 m	11,11 m	22

Os valores da avaliação planimétrica demonstraram que a precisão das ortoimagens para os sensores de média resolução espacial (PALSAR/FBD, ENVISAT/ASAR e RADARSAT-2) variaram entre 22 e 28 metros. Já para as imagens dos sensores com maior resolução espacial (TerraSAR-X e PALSAR/FBS) os valores de EMQ variaram de 6,93 a 11,11 metros. A partir destes resultados, os tamanhos de pixel das ortoimagens foram reamostrados para um espaçamento comum de 25 e 7 metros para as imagens de média e alta resolução espacial, respectivamente.

Por meio deste conjunto de dados SAR multi-temporais foi possível mapear as manchas de inundações detectadas pelos diferentes sensores durante o período de 27 de novembro a 01 de dezembro de 2008. Na Figura 3 pode-se observar a variação temporal de uma área atingida

pela inunda o localizada na região do Ribeirão Poço Grande, município de Gaspar. Considerando como corpos de água as superfícies de menor retroespalhamento (cor preta),   possível observar a dinâmica de uma mancha de inunda o (b, c, d, e) bem como a situa o dos campos de rizicultura com lâmina de água antes (a) e depois das fortes chuvas (f).

No período de cinco dias de aquisi o de imagens SAR durante o evento de desastre (27 de novembro a 01 de dezembro), grandes manchas de inunda es ainda permaneciam sobre a região após a intensa chuva nos dias 23 e 24 de novembro, evidenciando uma satura o do solo e dificuldade no escoamento das  guas. Por meio da sobreposi o das manchas de inunda o com mapas temáticos de uso e cobertura do solo e vias de acesso, foi possível dimensionar o impacto ocasionado pelo desastre de 2008, por exemplo, inunda es em trechos das rodovias BR-470, BR-101, SC-470 e SC-413, apresentadas na Figura 4. A estimativa de área inundada detectada neste período foi de aproximadamente 7.455,15 ha, distribuída principalmente sobre terrenos com uso do solo destinado para atividades agrícolas, pastagens e campos naturais.

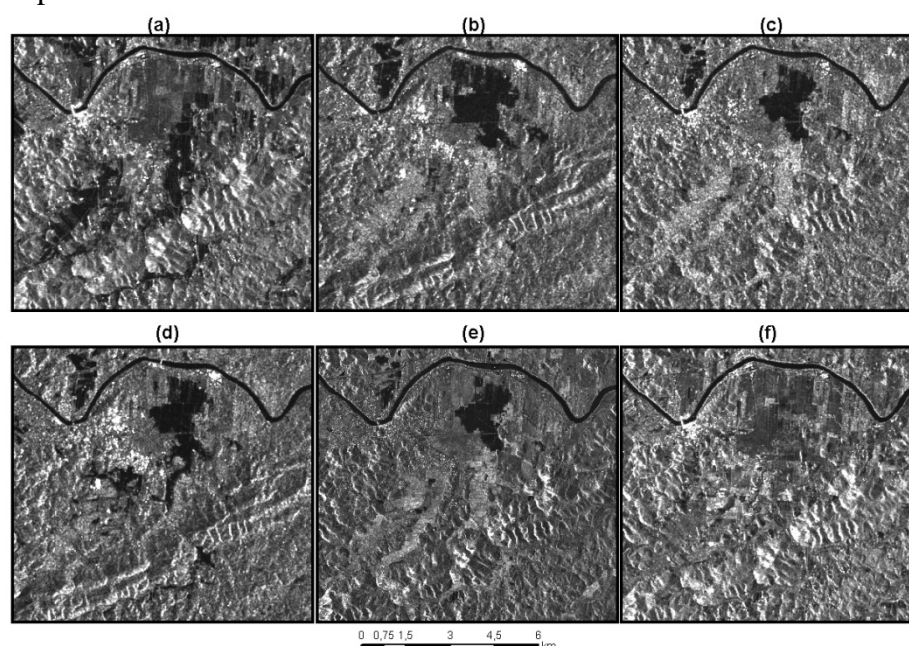


Figura 3. Varia o temporal de uma área afetada pela inunda o no município de Gaspar. (a) PALSAR/FBD de 15/Set; (b) ENVISAT/ASAR de 27/Nov; (c) RADARSAT-2 de 28/Nov; (d) RADARSAT-2 de 30/Nov; (e) TerraSAR-X de 01/Dez; (f) PALSAR/FBS de 31/Jan 2009.

Para o mapeamento das cicatrizes de escorregamento de terra foi necessária uma análise sobre o padrão de resposta deste alvo em imagens SAR, considerando os mecanismos de espalhamento e a influencia da macrotopografia. Na imagem analisada, cicatrizes de escorregamento apresentavam formas alongadas e estreitas no sentido do topo para a base de uma vertente. Sobre o padrão de resposta, representado pela varia o na tonalidade, níveis de cinza escuros e médios foram associados ao retroespalhamento de superfícies lisas referente ao material movimentado no interior da cicatriz. A tonalidade cinza médio e clara foi atribuída aos efeitos de distor es geométricas (*Layover* e *Foreshortening*) bastante comuns em regiões de relevo acidentado e devido a baixa incidência da imagem TerraSAR-X. A Figura 5 ilustra uma cicatriz de escorregamento de terra com visão em perspectiva com mesma orienta o da fotografia obtida por v o de helicóptero.

Utilizando a imagem TerraSAR-X, adquirida durante o período de ocorrência do desastre natural, foi possível mapear grandes cicatrizes de escorregamentos de terra ocorridos em áreas de vertentes. A Figura 6 apresenta algumas cicatrizes de escorregamento sobre a região do morro do Baú por meio de visualiza o 3D da imagem SAR.

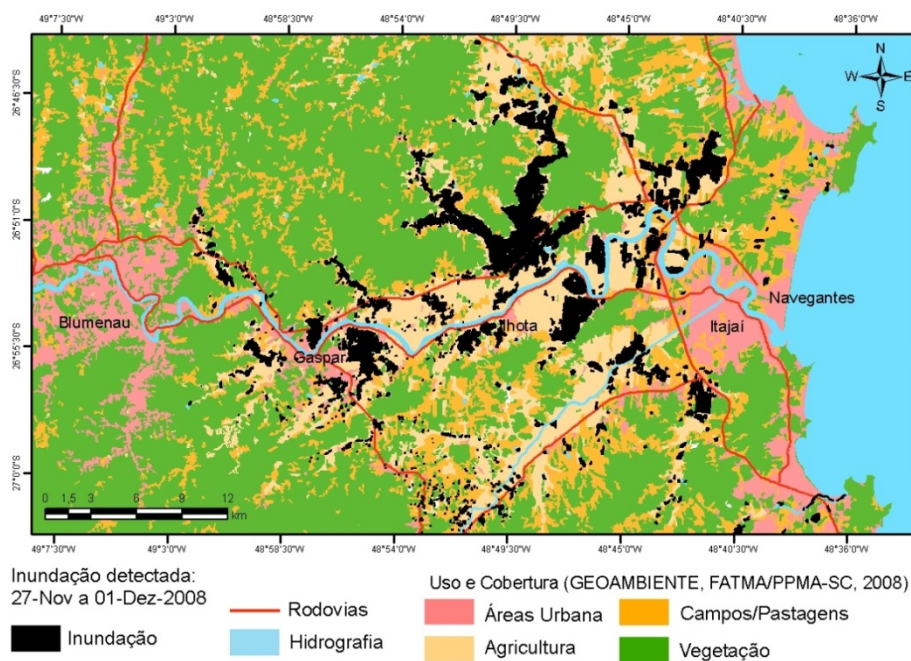


Figura 4. Manchas de inundações detectadas pelos sensores SAR.

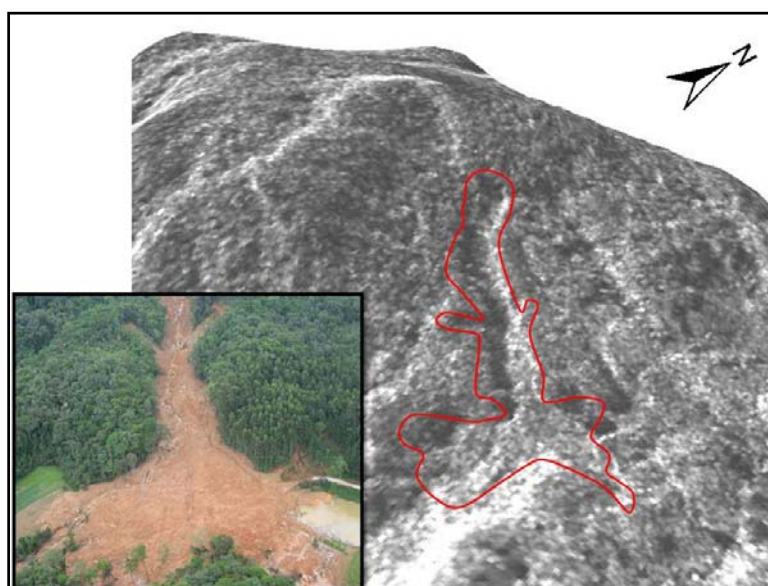


Figura 5. Cicatriz de escorregamento de terra detectada na imagem TerraSAR-X e fotografia aérea (Vianna e Vianna e Souza, 2009).

## 6. Conclusões

Este trabalho comprovou a viabilidade de se utilizar imagens SAR para quantificar áreas de inundação assim como a identificação de cicatrizes de deslizamento de terra em situações de desastres naturais, como o ocorrido em Santa Catarina no ano de 2008. A visão em perspectiva, obtida a partir da sobreposição da ortoimagem de alta resolução TerraSAR-X com um modelo digital de elevação, permitiu a percepção de profundidade facilitando a definição dos limites entre material movimentado e não-movimentado nas cicatrizes de escorregamento. Neste sentido, é possível identificar cicatrizes de escorregamento utilizando apenas imagem adquirida depois do evento, porém que o uso de imagens pré-evento pode vir a facilitar a interpretação.

Em situações de emergência, imagens SAR oferecem vantagens em relação aos sensores ópticos por serem independentes de condições atmosféricas e de iluminação solar. Neste sentido, este tipo de aplicação torna-se necessária para ações de gerenciamento de áreas afetadas por desastres naturais.

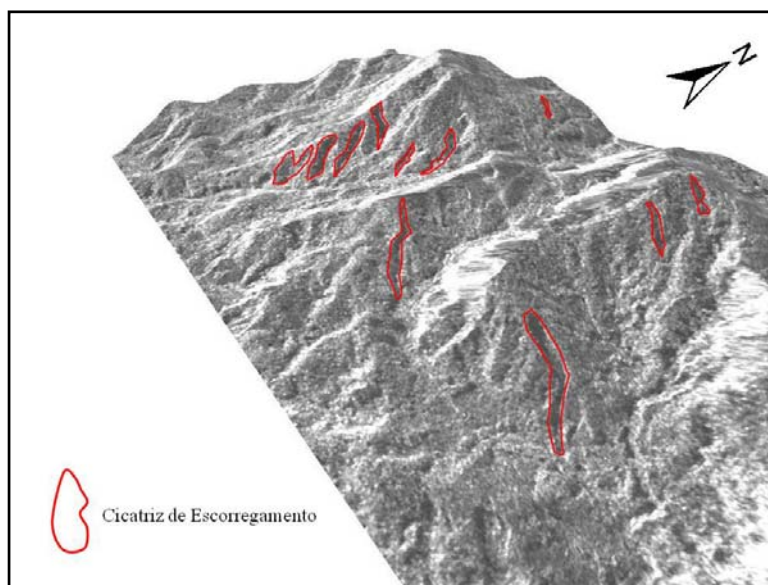


Figura 6. Cicatrizes de escorregamentos de terra na imagem TerraSAR-X com visão em perspectiva (exagero vertical de 1,25).

## Agradecimentos

Os autores agradecem à: (1) Infoterra (Alemanha), ESA (Comunidade Européia), MDA (Canadá) e JAXA/ALOS RA # 219 (Japão) pelo fornecimento das imagens SAR, (2) à Fundação de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA) pela cessão dos dados planimétricos e de uso e cobertura do solo, (3) ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa do primeiro autor (processo 131205/2009-9).

## 7. Referencias

- BUNGE, FUNDAÇÃO. **Conhecer para sustentar: um novo olhar sobre o Vale do Itajaí**. São Paulo: Fundação Bunge, 2009.
- Defesa Civil de Santa Catarina. **Relatório de ações encheres em Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.desastre.sc.gov.br/index.php>> Acesso em: 12. jun. 2009.
- GEOAMBIENTE, FATMA/PPMA-SC. **Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina**. Relatório Técnico: GEO-RLT-C0715-33608-01. Florianópolis, 2008, 90p.
- Gillespie, T. W.; Chu, J.; Frankenberg, E.; Thomas, D; Assessment and prediction of natural hazards from satellite imagery. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 5, p. 459-70, 2007.
- Joyce, K. E.; Belliss, S. E.; V, S.; McNeill, S. J.; Glassey, P. J. A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. **Progress in Physical Geography** v. 33, n. 2, p. 183-207, 2009.
- Paradella, W. R.; Veneziani, P.; Santos, A. R.; Moraes, M.C. **Curso Radar aplicado ao mapeamento geológico e prospecção mineral: fundamentação**. São José dos Campos, SP, 21-26 agosto, 2000 - São Jose dos Campos, SP: INPE/ADIMB, 2000. (INPE-8205-PUD/47)
- Paradella, W. R.; Santos, A. R.; Veneziani, P.; Cunha, E. S. Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 1, p. 56-62, 2005.
- Tralli, D. M.; Blom, R. G.; Zlotnicki, V.; Donnellan, A.; Evans, D. L. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** v. 59, p.185-198, 2005.
- Vianna, L. F. N.; souza, J. M. **Relatório sobre o levantamento dos deslizamentos ocasionados pelas chuvas de novembro de 2008 no complexo do Morro do Baú municípios de Ilhota, Gaspar e Luiz Alves**. Florianópolis: EPAGRI, 2009. 101 p.