

Análise da viabilidade do uso das técnicas DInSAR e PSInSAR com dados TerraSAR X para monitorar movimentos da superfície na região da UHE Salto Pilão-SC

Júlio Bandeira Guerra¹
Izabel Cristina Franchitto Cecarelli¹
Braz Ferrari Lomonaco²

¹ Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda.
CEP 12244 – São José dos Campos - SP, Brasil
{julio.guerra,izabel.cecarelli}@geoambiente.com.br

² Consórcio Empresarial Salto Pilão – CESAP

Abstract. Differential Interferometry (DInSAR) and Persistent Scatterer Interferometry (PSInSAR) techniques are being used to monitor natural or anthropogenic surface displacements related to tectonic faults, volcanoes, glaciers, water reservoirs, mining activities and man-made structures, like tunnels. However, DinSAR has some limitations due to temporal decorrelation, mainly in forested or even rural areas, geometric decorrelation, due to large baselines, and atmospheric effects. Also, PSInSAR has restrictions in some vegetated areas due to low density of Persistent Scatterers points. In this context, the main objective of this work was to study the feasibility of using DinSAR and PSInSAR with a data stack of ten ascending TerraSAR X StripMap images to monitor surface motion in the Salto Pilão Hydroelectric Plant area, in Santa Catarina state. In order to achieve this purpose, coherence data was generated for the first 11-day interval and 33-day interval, as well as the maximum available interval, to evaluate DinSAR. To evaluate PSInSAR, Persistent Scatterers were detected with the entire TerraSAR X data set and their density was estimated. The analysis of coherence, as a base for performing a Differential Interferometric (DInSAR) approach, yielded insufficient results. Strong vegetation in the area causes temporal decorrelation and thus a strong loss of coherence. Thus, the application of DInSAR could not be feasible. The point density in the area of interest was estimated to 85 points per km². This density would be sufficient for a PSInSAR analysis to give reasonable results. As such, PSI analysis along the tunnel axis can therefore be feasible.

Palavras-chave: Differential Interferometry (DinSAR), Persistent Scatterers Interferometry (PSInSAR), surface motion, Interferometria Diferencial (DinSAR), Interferometria por Espalhadores Permanentes (PSInSAR), movimento da superfície.

1. Introdução

Os processos de subsidência e soerguimento do terreno e de deslizamento de terras originados de forma natural, ou induzidos pela intervenção antrópica, são frequentes e oferecem grande risco às populações e à infra-estrutura de áreas sujeitas à ocorrência destes eventos. Nos últimos anos a Interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar) vem sendo utilizada para estudar os movimentos da superfície relacionados a falhas tectônicas, vulcões, geleiras, aquíferos, grandes reservatórios de água, campos de exploração de óleo, atividades de mineração, túneis e dutos, entre outros (Ostir e Komac, 2007; Peressin et al., 2009; Meisina et al., 2008).

Duas técnicas baseadas em dados adquiridos por radares imageadores podem ser utilizadas para mapear e monitorar movimentos da superfície. Estas técnicas são denominadas Interferometria Diferencial (DInSAR) (Gabriel et al., 1989) e *Persistent Scatterers Interferometry* (PSInSAR) (Ferretti et al., 2001).

Na interferometria diferencial, duas imagens de uma mesma área são adquiridas com geometrias de imageamento similares em duas passagens diferentes. A fase contida no dado complexo de radar é função das características da superfície e da distância percorrida pelo sinal emitido. Quando se multiplica o dado SAR complexo obtido na primeira passagem pelo conjugado do dado SAR complexo da segunda passagem, é obtida a diferença de fase, que é

representada em um interferograma (Hanssen, 2001). Esta diferença de fase é função da diferença entre as distâncias antena-superfície nas duas passagens e está relacionada ao relevo e à movimentos da superfícies que podem ter ocorrido no período entre as duas passagens. Ao eliminar a fase relativa ao relevo, obtém-se somente a fase referente ao movimento da superfície, a partir da qual é possível medir a magnitude do movimento na direção de visada do radar.

A interferometria diferencial permite gerar dados que cobrem grandes áreas contínuas e que são sensíveis a movimentos da superfície da ordem de milímetros. Entretanto esta técnica possui limitações quanto à linha de base, que deve ser pequena o suficiente para minimizar a decorrelação geométrica, e ao intervalo entre os imageamentos, que, quando excessivamente grande, provoca decorrelação temporal devido à mudança do comportamento dos alvos no intervalo entre os imageamentos. O problema de decorrelação temporal é crítico principalmente em áreas com cobertura vegetal densa. Além disso, a técnica DinSAR não considera a fase relativa ao efeito da atmosfera sobre o sinal do radar, o que gera erros nas medidas dos movimentos da superfície.

Os problemas de decorrelação geométrica e temporal e do efeito da atmosfera podem ser minimizados com o uso da técnica de *Permanent Scatterers Interferometry* (PSInSAR). Nesta técnica, uma longa série de dados SAR é utilizada para obter a diferença de fase e medir o movimento da superfície somente em alvos pontuais detectados em função da alta coerência (Hanssen, 2001) e do comportamento estável ao longo do tempo. Estes alvos, denominados *Persistent Scatterers* (PS), não têm o comportamento alterado pela decorrelação temporal e pelas diferenças de geometria de imageamento ao longo da aquisição da série histórica, o que confere pode conferir alto grau de confiabilidade a informação de fase obtida. Os *Persistent Scatterers* podem ser edificações e afloramentos de rocha, por exemplo.

Contudo, em algumas áreas pode não ser possível aplicar a técnica PSInSAR devido a inexistência, a má distribuição ou a baixa densidade de alvos detectados como *Persistent Scatterers* (PS). Isto pode ocorrer principalmente em florestas ou até mesmo em algumas áreas rurais com diferentes tipos de cobertura vegetal. Desta forma, para empregar a interferometria SAR é importante verificar se a superfície a ser monitorada oferece condições favoráveis à aplicação desta técnica.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é verificar a viabilidade do uso das técnicas de Interferometria Diferencial e *Persistent Scatterers Interferometry* (PSI) baseadas em imagens TerraSAR X StripMap para monitorar possíveis movimentos da superfície em uma área rural na região da Usina Hidrelétrica Salto Pilão, em Ibirama-SC. Para tanto, foram analisados a coerência interferométrica e a distribuição e densidade de pontos candidatos a PS como indicadores de viabilidade do uso das técnicas mencionadas.

Este trabalho apresenta resultados parciais de um projeto inovador promovido pelo consórcio empresarial proprietário da UHE Salto Pilão (CESAP - Consórcio Empresarial Salto Pilão). O referido projeto, que tem caráter preventivo, é desenvolvido pela empresa Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda. no contexto do Programa de Monitoramento da Estabilidade de Encostas da UHE com o objetivo de explorar novas tecnologias de geração de dados complementares sobre movimentos da superfície. Os principais focos de monitoramento desse projeto são área ao longo do túnel subterrâneo da usina, e as regiões da casa de força, da subestação, da barragem e do bota-fora.

2. Área de estudo

A região investigada neste projeto se estende por aproximadamente 20 km² ao longo do túnel subterrâneo da UHE Salto Pilão, em Ibirama-SC (Figura 1). A área de maior interesse é a encosta de forte declive ao Sul do Rio Itajaí Açu, onde foram construídos

taludes, a casa de força subterrânea, a subestação e o canal de fuga (Figura 1). Nesta área, potenciais movimentos da superfície podem ter relação com a instabilidade de encostas e taludes e/ou à subsidência induzida pelo fluxo da água ao longo do eixo do túnel subterrâneo. O trecho do túnel próximo ao Córrego Piava é uma zona de cisalhamento no substrato rochoso. Nessa região, o túnel está mais próximo da superfície, o que pode induzir ao risco de subsidência.

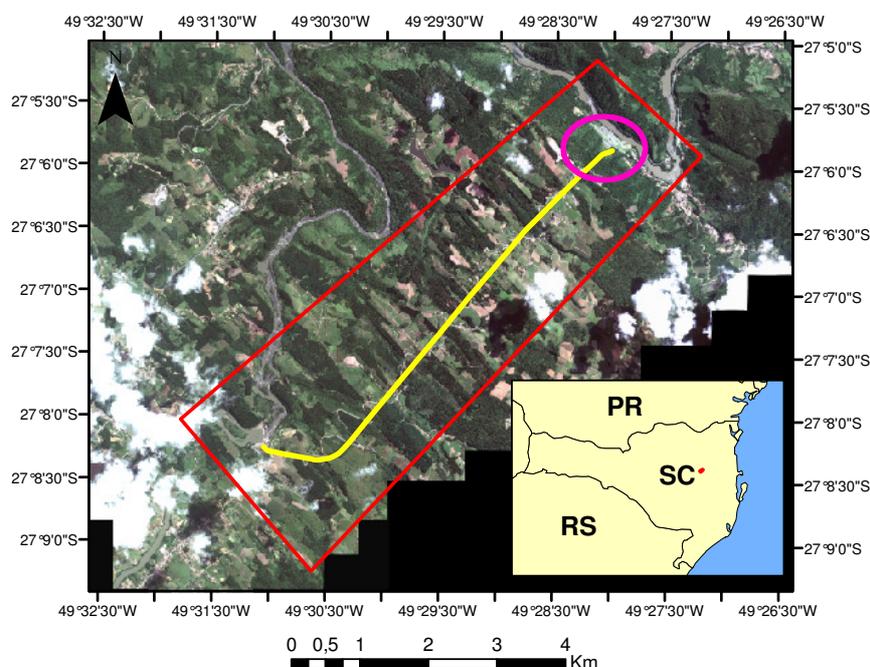


Figura 1 – Localização da área de interesse. O polígono vermelho representa a área de interesse do projeto. O polígono magenta representa a área de maior interesse. A linha amarela representa a o túnel subterrâneo. Imagem GeoEye (3R-2G-1B).

3. Metodologia de trabalho

Dez imagens TerraSAR X StripMap (3,3 metros de resolução espacial) foram adquiridas a cada 11 dias com polarização HH em órbita ascendente entre os dias 04/12/2009 e 24/03/2010. A órbita ascendente foi escolhida em função da orientação da vertente (NE) de forte declive localizada na área de maior interesse. Os dados TerraSAR X foram processados em *Slant Range Single Look Complex*. A Tabela 1 mostra as características das imagens TerraSAR X StripMap adquiridas.

Tabela 1 – Imagens TerraSAR X adquiridas.

Data de imageamento	Inc. Min.	Inc. Max.
04/12/2009	39,83	42,28
15/12/2009	39,83	42,28
26/12/2009	39,83	42,27
06/01/2010	39,83	42,27
17/01/2010	39,82	42,27
28/01/2010	39,83	42,28
19/02/2010	39,82	42,27
02/03/2010	39,82	42,27
13/03/2010	39,82	42,27
24/03/2010	39,82	42,27

Para verificar da viabilidade do uso da técnica de Interferometria Diferencial, adotou-se a coerência interferométrica como indicador de qualidade do interferograma. No caso da técnica PSInSAR, foram utilizadas a densidade e distribuição dos candidatos a PS como parâmetros de análise.

Inicialmente, o conjunto de dados TerraSAR X StripMap foi co-registrado. Em seguida, foram gerados os interferogramas diferenciais e os correspondentes mapas de coerência para os intervalos de 11 e 33 dias, bem como para o maior intervalo de tempo disponível. Para eliminar a fase do relevo na geração do interferograma, utilizou-se um Modelo Digital de Elevação com espaçamento de pixels de 4 metros gerado a partir de imagens Ikonos. Após a eliminação da fase do relevo, um filtro adaptativo (5x5) foi aplicado para geração da coerência.

Na etapa seguinte, uma lista de alvos candidatos a PS foi determinada a partir do processamento e análise das 10 imagens TerraSAR X ascendentes no módulo *Image Point Target Analysis* do *software Gamma*. Os pontos candidatos a PS foram selecionados com base na alta intensidade e baixa variabilidade temporal e diversidade “espectral” da fase (variação da intensidade do retroespalhamento quando diferentes *looks* nas larguras de banda em alcance e azimute são processados) do seu retroespalhamento. Com estas medidas são geradas listas de pontos candidatos a PS para cada uma das imagens SAR da série. Em seguida, as listas são combinadas e um limiar de 0,8 é aplicado no dado de coerência para determinar a lista final de pontos candidatos a PS. Por fim, a lista de candidatos a PS foi geocodificada. O movimento da superfície não foi medido em cada ponto candidato detectado devido ao número reduzido de imagens da série, o que não permite uma determinação estatisticamente robusta dos PS.

4. Resultados e Discussão

O mapa de coerência geocodificado, gerado a partir dos dados TerraSAR X ascendentes adquiridos no primeiro intervalo de 11 dias (4/12/2009-15/12/2009), é apresentado nas Figuras 2 e 3. Nesta figura, a cor violeta representa ‘coerência nula’, e a cor amarela, ‘alta coerência’. Na Figura 2, que destaca a área de maior interesse, pode ser observado que os altos valores de coerência são obtidos somente na região da baixa encosta, onde estão os prédios e outras construções da Usina de Salto Pilão.

Na Figura 3, que mostra toda a área de interesse, é possível observar que existem poucas regiões de alta coerência ao longo do eixo do túnel. Estas áreas possivelmente são pequenas vilas de casas. Nas áreas cobertas por vegetação (principalmente florestas) a coerência é nula.

Os interferogramas correspondentes a cada mapa de coerência não são apresentados e os mapas de movimentação da superfície não foram gerados devido à baixa coerência em quase toda a área de interesse. Os resultados dos processamentos interferométricos diferenciais para os intervalos de 33 dias e para o máximo intervalo não são apresentados, pois são piores que os obtido para o intervalo de 11 dias. Os resultados obtidos indicam que a técnica DInSAR não é aplicável a esta área de interesse devido à cobertura vegetal, principalmente florestas.

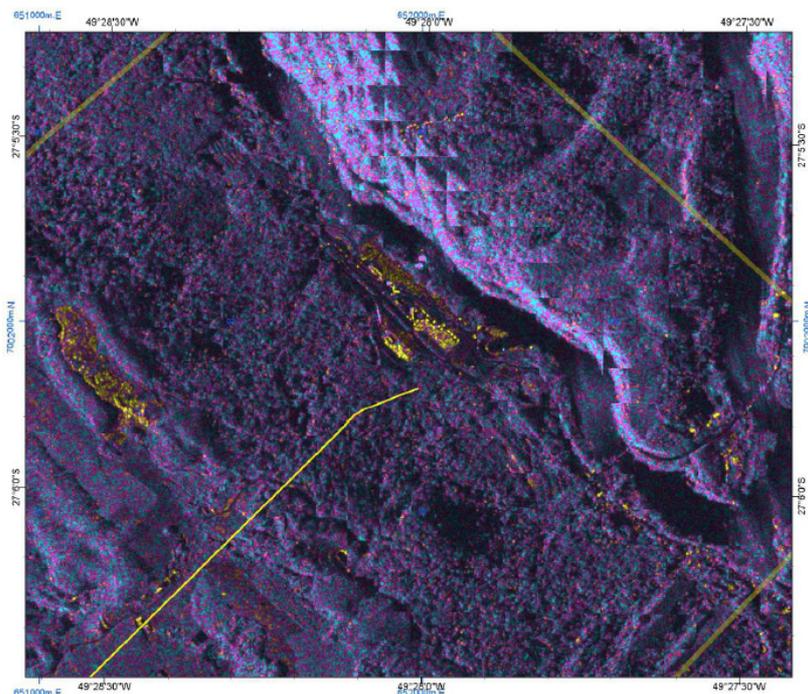


Figura 2 - Mapa de coerência (primeiro intervalo de 11 dias) combinado à imagem TerraSAR X em intensidade. Área de maior interesse (Dados Ascendentes, 04/12/2009-15/12/2009).

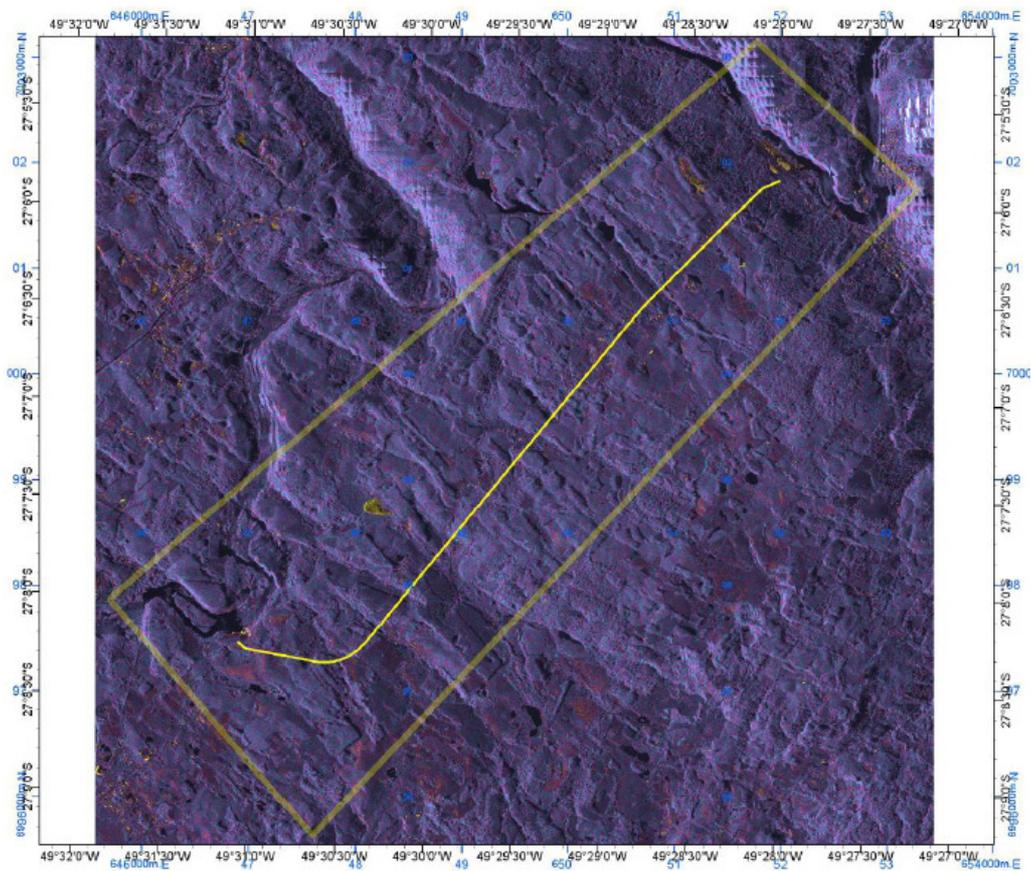


Figura 3 - Mapa de coerência (primeiro intervalo de 11 dias) combinado à imagem TerraSAR X em intensidade (Dados Ascendentes, 04/12/2009-15/12/2009).

Os pontos candidatos a PS determinados a partir dos dados TerraSAR X ascendentes são apresentados nas Figura 4 e 5. Nestas figuras, os alvos candidatos são representados como pontos vermelhos sobrepostos a uma imagem GeoEye, utilizada como *background* para ilustrar a situação da área de interesse.

De acordo com os resultados dos processamentos das imagens ascendentes, os pontos candidatos a PS localizados na área de maior interesse coincidem principalmente com os prédios e outras construções instaladas na baixa encosta (Figura 4). Na parte alta da encosta coberta por floresta não foram detectados alvos candidatos, portanto, provavelmente não será possível monitorar os movimentos da superfície nesta região.

No trecho ao longo do eixo do túnel, foram detectados alvos candidatos principalmente em áreas construídas e nas regiões onde a cobertura vegetal é esparsa (Figura 5). Desta forma, conclui-se que também será possível detectar e medir os movimentos de superfície nesta parte da área de interesse.

É importante destacar que alguns candidatos a PS detectados em declives cobertos por floresta serão descartados quando a medida dos movimentos da superfície for realizada, pois estes pontos sofrem forte influência dos efeitos de *layover* e *foreshortening*.

A densidade de pontos na região ao longo do túnel foi estimada em aproximadamente 85 pontos por km². Esta densidade é suficiente para aplicar a técnica PSI e obter resultados aceitáveis. É importante mencionar que, apesar de satisfatória, a densidade de pontos estimada é baixa, principalmente ao longo do eixo do túnel, o que pode reduzir a acurácia das medidas dos movimentos da superfície nesta região.

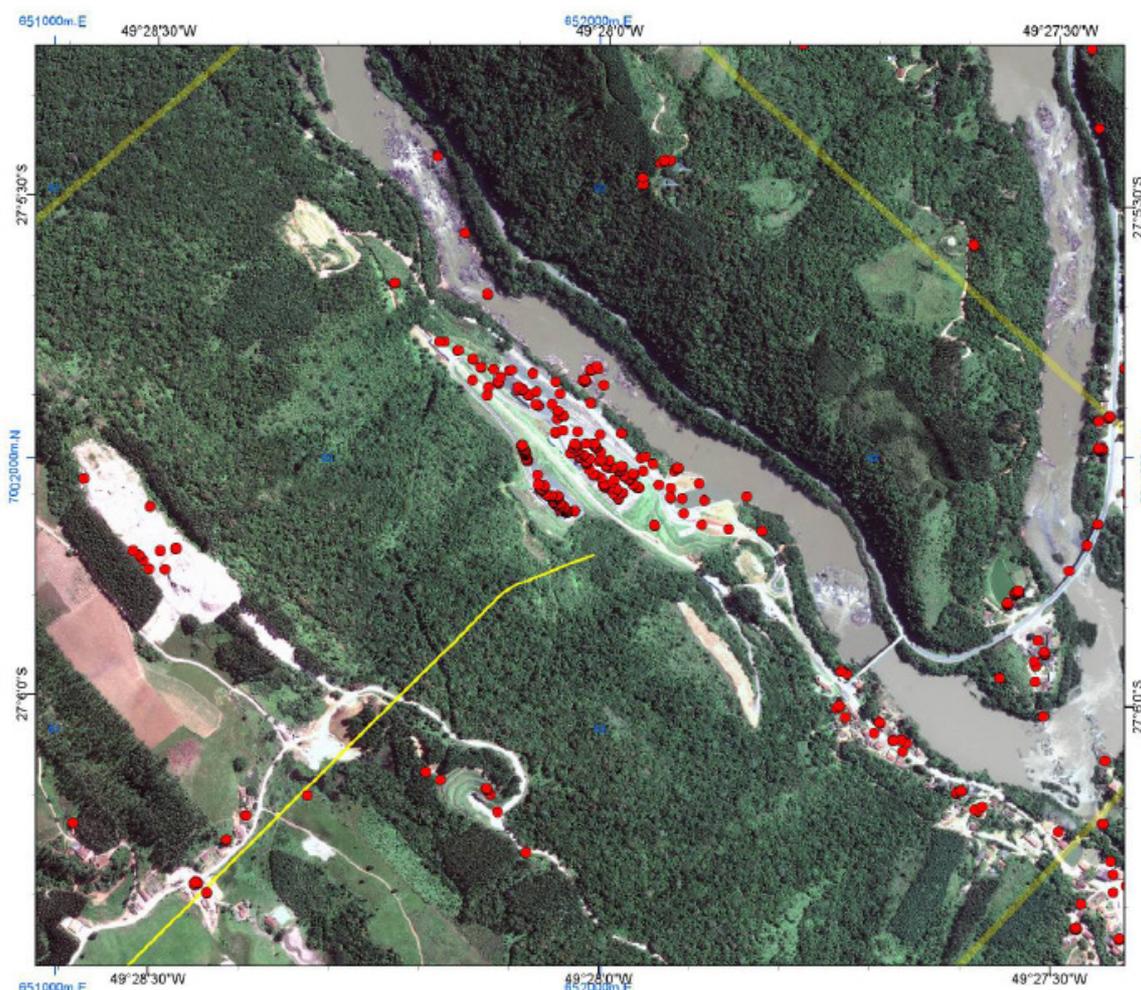


Figura 4 - Pontos candidatos a PS localizados na área de maior interesse (Imagem

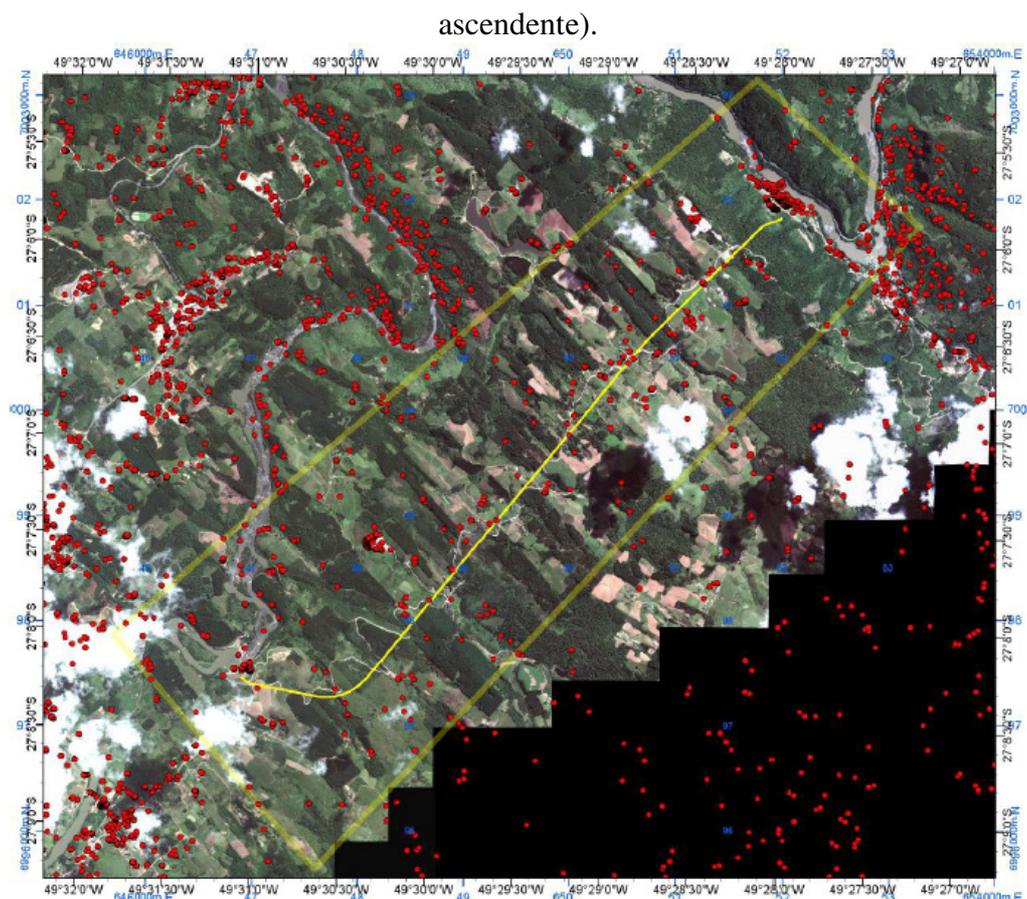


Figura 5 - Pontos candidatos a PS localizados ao longo do eixo do túnel (Imagem ascendente).

5. Considerações finais

O objetivo deste estudo de viabilidade foi avaliar a aplicabilidade das técnicas de DInSAR e PSInSAR para detectar e medir movimentos da superfície na região da Usina Hidrelétrica de Salto Pilão, em Santa Catarina. Para tanto, imagens TerraSAR X tomadas com órbita ascendente foram adquiridas e submetidas a processamentos interferométricos.

A coerência interferométrica foi utilizada para avaliar a aplicabilidade da técnica DInSAR, uma vez que esta medida pode ser considerada como um indicador de qualidade do interferograma e, conseqüentemente, da medida de movimentação da superfície. Na análise da coerência, foram obtidos resultados insatisfatórios. Isto sugere que a técnica DInSAR não é adequada para detectar e medir movimentos da superfície na área de interesse. Isto se deve principalmente à cobertura vegetal, que causa descorrelação temporal e perda da coerência.

Na análise de viabilidade do uso da técnica PSInSAR baseada em dados TerraSAR X, utilizou-se a densidade e distribuição de alvos definidos como candidatos à PS como parâmetro de avaliação. Ao longo do eixo do túnel há condições suficientes para monitorar o movimento da superfície. Entretanto, as medidas de movimentação da superfície podem ser pouco acuradas devido à baixa densidade de pontos. A porção alta da encosta na área de maior interesse não oferece condições suficientes ao monitoramento por interferometria. A parte baixa da encosta possui condições favoráveis a aplicação de PSI. Deste modo, recomenda-se o uso desta técnica para detectar, medir e monitorar movimentos da superfície nesta região.

Uma vez que a viabilidade do uso da técnica PSInSAR baseada em dados TerraSAR X foi constatada, é possível iniciar o monitoramento de movimentos de superfície na área de interesse. Para tanto, será necessário adquirir mais 15 imagens TerraSAR X ascendentes e submeter este novo conjunto de dados a um processamento interferométrico completo

juntamente com os dados adquiridos anteriormente para detectar e medir possíveis movimentos da superfície nos *Persistent Scatterers* (PS) distribuídos por toda a área de interesse.

6. Referências Bibliográficas

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.

Gabriel, A. K., Goldstein R. M. & Zebker H. A., Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry, **Journal of Geophysical Research**, v. 94, n. B7, p. 9183-9191, 1989.

Hanssen F. R.. **Radar Interferometry**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. 308 p.

Meisina, C.; Zucca, F.; Notti, D.; Colombo, A.; Cucchi, A; Savio, G.; Giannico, C.; Bianchi, M. Geological Interpretation of PSInSAR Data at Regional Scale, **Sensors**, v. 8, p.7469-7492, 2008.

Ostir, K.; Komac, M. PSInSAR and DInSAR methodology comparison and their applicability in the field of surface deformations – A case of NW Slovenia, **Geologija**, v. 50, n. 1, p. 77-96, 2007.

Peressin, D.; Prati, C.; Rocca, F.; Wang, T. PSInSAR analysis over the Three Georges Dam and urban areas in China. In: Urban Remote Sensing Event, 05, 2009, Shanghai. **Anais...** Shanghai: IEEE, 2009. Artigos, p. 1-6. CD-ROM, On-line. ISBN 978-1-4244-3460-2. Disponível em: <
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5076157%2F5137466%2F05137747.pdf%3Farnumber%3D5137747&authDecision=-203>>. Acesso em: 01 abr. 2010.