

Movimento gravitacional de massa associado a um trecho de implantação do trem de alta velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: identificação de depósito de tálus por meio de imagens CBERS 2B e SRTM

Fausto Batista Mendonça^{1,2}
Noris Costa Diniz²
Gustavo Macedo de Mello Baptista²

¹ COMGAR - SHIS QI 5 Área Especial 12
CEP 71615 - 500 - Lago Sul - DF, Brasil
faustobm@hotmail.com

² Instituto de Geociências, UnB Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC – Ala Central
CEP 70910-900 - Brasília - DF, Brasil
{noris, gmbaptista}@unb.br

Abstract: This paper presents an application of remote sensing tools, more specifically, image processing for the control of the results of human actions on the ground. The engineering geology works to control and mitigate these actions. The digital image processing provides the results that can help in decision making process in this branch of science. The observation of the thalweg and the lines of runoff can help on the determination of a probably direction of a landslide occurrence. To deploy high-speed train on the proposed stretch, along the lines that is designed, it would be necessary to make a cut at the base of a talus deposit. The talus deposits are a real landslide hazard, identify them and indicate this direction of movements, shift more security for the planning of engineering work. The water that penetrates the soil can starts the landslide. CBERS 2B scenes were important in identify a talus deposit in the studing area, and allow the visualization of existing improvements around this deposit, as the Funil's Dam and the Presidente Dutra highway, that crosses the town of Itatiaia in Rio de Janeiro. The directional filters are a useful tool to indicate the motion's direction of the talus's body, and the digital elevation model (DEM) provided an easy viewing of the phenomenon. The lines of runoff could be seen applying the directional filter on CBERS 2B images. The Normalized Difference Vegetation Index process (NDVI) could indicate the lines of runoff after the application of directional filters.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, geological and geotechnical mapping, landslide, sensoriamento remoto, processamento de imagens, mapeamento geológico-geotécnico, deslizamento de terra.

1. Introdução

As ações antrópicas no meio ambiente, especialmente em áreas sujeitas a catástrofes naturais, podem trazer riscos à sobrevivência do homem. As intervenções na natureza para a implantação de uma ferrovia estão sujeitas a situações naturalmente perigosas. O estudo geológico-geotécnico dessas áreas tem como objetivo reduzir as possibilidades de ocorrerem acidentes oriundos da desestabilização de encostas ou de massas de terra que se encontram em repouso, além de proporcionarem à engenharia conhecimentos sobre o comportamento do maciço ou da massa de solo que sofrerá a intervenção, tanto durante a execução das obras como durante a utilização da benfeitoria.

O mapeamento geológico-geotécnico faz parte dos estudos de viabilidade da obra, que são estudos iniciais. Esse mapeamento trará informações importantes quanto ao comportamento dos solos que contemplam o traçado da ferrovia e sofrerão algum tipo de intervenção. No trecho do TAV (Trem de Alta Velocidade) que ligará Rio de Janeiro e São Paulo o traçado passa por terrenos muito variados, desde mangues próximos a Baía de Guanabara até serras e vales na divisa entre os dois estados e no interior de São Paulo. A diferença no comportamento de solos tão distintos faz com que o estudo geológico geotécnico ganhe importância e se torne bem complexo.

Neste trabalho será abordado o risco de ocorrência de um movimento gravitacional de massa no corte em uma área de tálus localizada entre a Represa do Funil e a Rodovia

Presidente Dutra na altura da cidade de Itatiaia na região do Vale do Paraíba, conforme observado na Figura 1. Segundo o traçado otimizado da ferrovia, apresentado ao final do estudo de viabilidade, o pé do talus sofre um corte para que a ferrovia passe por aquele ponto.

O mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa, ocorridos na região, pode indicar pontos mais frágeis e susceptíveis a deslizamentos de terra. Com o auxílio de técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto esse mapeamento pode ser realizado.

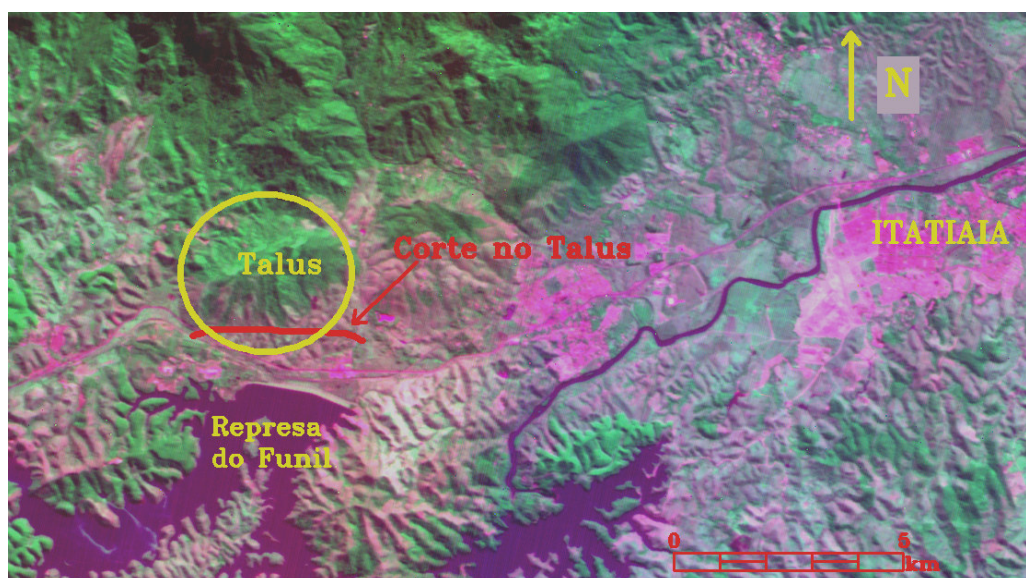


Figura 1. Área de estudo (Cena CBERS 2B CCD, composição colorida R3 G4 B2).

1.1 Movimento Gravitacional de Massa

Interferir na estabilidade de encostas formadas por estruturas não coesas pode trazer um risco real de ocorrer um movimento gravitacional de massa, ou dispersão em massa. Que, segundo Varnes (1984), são todos os processos de quedas de rocha, fluxo de detritos e deslizamentos de terra ocorrendo pequeno ou grande deslizamento de material. Os movimentos de massa dependem de declividade e estabilidade das encostas, natureza dos materiais além da quantidade de água contida nos materiais da encosta.

As regiões formadas por depósitos de talus, colúvios ou aluviões, em geral apresentam estruturas não coesas de material sedimentar, mal classificado e mal selecionado, podendo ter fragmentos grosseiros e angulosos, sem estratificação regular. Em face dessas características, os cortes a serem realizados em regiões com solos dessa natureza devem prever um estudo detalhado da constituição do solo. O levantamento das unidades litológicas da região é uma recomendação importante para que os movimentos de massa possam ser previstos e evitados, ressalta Varnes (1984). Como fruto desse levantamento tem-se, por exemplo, os mapas geotécnicos, que é um modelo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia e outros, conforme definição de Diniz (1998).

Forças naturais, tais como chuvas intensas e terremotos, além de ações antrópicas como, cortes em encostas e desmatamentos podem ser o gatilho necessário para iniciar o movimento de massa ou muitas vezes, acelerar um movimento lento que já tenha iniciado. O corte a ser realizado na área de estudo pode desencadear um movimento gravitacional de massa. Dependendo da declividade do terreno, e do material formado, esse movimento poderia ser queda, deslizamento ou fluxo de materiais. A velocidade de um movimento de massa pode variar entre cm/ano a km/h, segundo Press et al. (2006). Em corpos de talus é comum ocorrer um movimento gradativo, conhecido como “*creeping*” ou rastejo, pois os depósitos de talus são formados por grandes massas que se acumulam pouco a pouco. À medida que o seu peso

aumenta, por acúmulo de material ou de água, a encosta começa a se deslocar lentamente. A instabilidade mecânica de uma área de tálus é muito grande, qualquer intervenção que altere a estabilidade deve ser acompanhada com muita precaução, pois os movimentos destas massas depois de iniciados podem ganhar velocidade e a energia desenvolvida costuma ser destruidora.

De movimento de rastejo até deslizamento do corpo de Tálus correspondem à suscetibilidade natural desses terrenos, de sopé de encosta, na base do maciço alcalino de Itatiaia. Esta situação de perigo geológico pode se tornar uma situação de risco geológico à medida que estes movimentos gravitacionais de massa atinjam as estruturas civis existentes no seu alcance, como a rodovia e a barragem, e ainda a ferrovia a ser construída. Assim como a intervenção da ferrovia, dependendo de como seja realizada, pode vir a deflagrar situações de risco geológico, devido a cortes e aterros que venham a mobilizar e desestabilizar o corpo de Tálus.

Na fase de viabilidade (CPRM, 2009) constatou-se que a área a ser cortada apresenta solos formados por areia, arenitos, cascalhos, conglomerados, aluvionares e coluvionares, além de formações sedimentares, conforme observado na Figura 2, nos quais a unidade geológica formada por tálus pode ser visualizada.

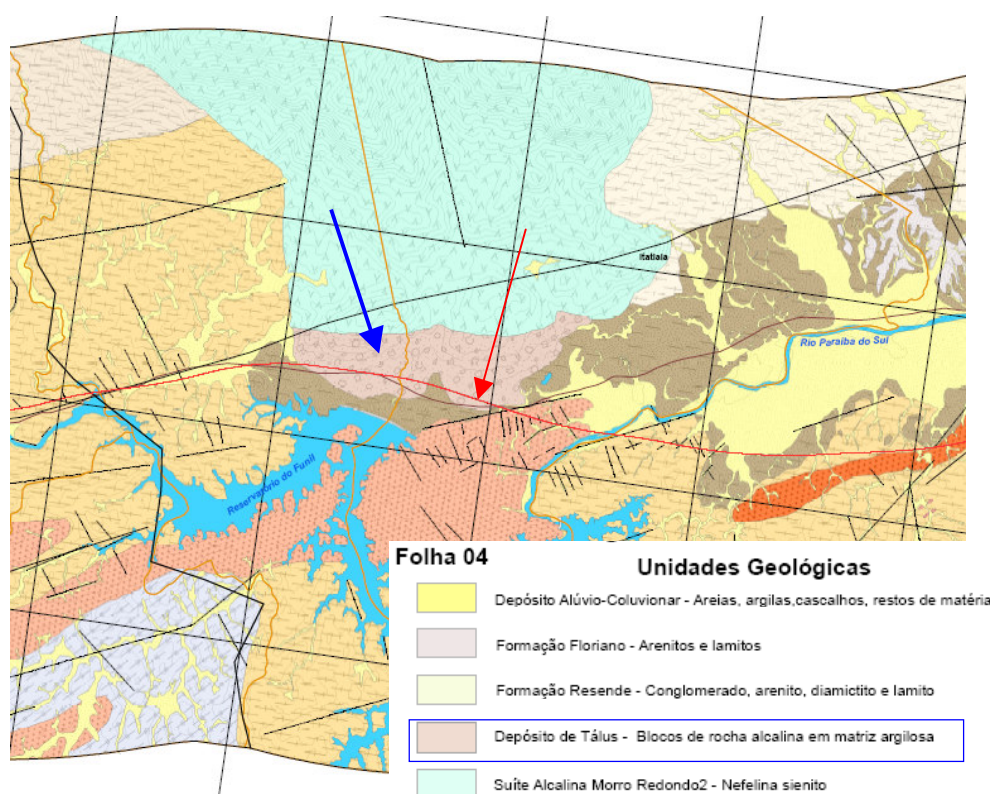


Figura 2. Recorte do Mapa Geotécnico, com destaque para o depósito de tálus (seta azul) e o traçado da ferrovia (seta vermelha). (CPRM, 2009).

2. Material e Métodos

Nesse estudo foram observadas as presenças de estruturas geológicas na região que indicam a presença de tálus, por meio do uso de imagens da câmera CCD do CBERS 2B e MDE (modelo digital de elevação) obtido por meio dos dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, dos dados SRTM3, que apresentam resolução espacial de 90 metros. A imagem sofreu um exagero vertical de cinco vezes para facilitar a visualização. Foi utilizado o *software* ENVI 4.3 para a geração desse MDE.

Notar na Figura 2 que este corpo de tálus corresponde ao depósito no sopé da encosta constituída por substrato de litologia nefelina - sienito, da suíte alcalina do Morro Redondo 2.

Após a localização do depósito de tálus com os recursos descritos anteriormente, seria necessário indicar a direção preferencial de escoamento superficial sobre ele, visando identificar a provável direção de movimento do corpo de tálus, uma vez que o excesso de água é um dos elementos desencadeadores do movimento gravitacional de massa, segundo Press et al. (2006).

Foram aplicados quatro filtros direcionais de Sobel (N-S, NE-SW, E-W e NW-SE) na imagem CCD pancromática de 25 de maio de 2008.

Como a vegetação cresce com maior densidade nas áreas de talvegue, em função do maior acúmulo de umidade e nutrientes carreados, foi aplicada a transformação por NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ferramenta disponível no ENVI. Esse recurso ressalta na imagem as áreas de vegetação mais densa. Após a filtragem foi aplicado um filtro Gaussiano para salientar as áreas mais claras, que correspondem a vegetações mais densas. Os filtros direcionais de Sobel foram aplicados nessa imagem, nas quatro direções que foram utilizadas no processamento da imagem pancromática.

3. Resultados e Discussão

No modelo digital de elevação foi possível observar a existência da formação do corpo do tálus. Na Figura 3 nota-se a formação do corpo de tálus no pé das elevações que formaram o Vale do Rio Paraíba do Sul.

Na Figura 4 é possível observar a imagem após ser submetido o filtro direcional N-S, na qual a seta indica a direção preferencial da vertente no tálus. Já na Figura 5 é possível notar que a direção da vertente também foi enfatizada no sentido da rodovia e da barragem, utilizando o filtro na direção E-W. Os filtros direcionais nas direções NE-SW e NW-SE apresentaram a mesma direção de escoamento superficial observada nas Figuras 4 e 5.

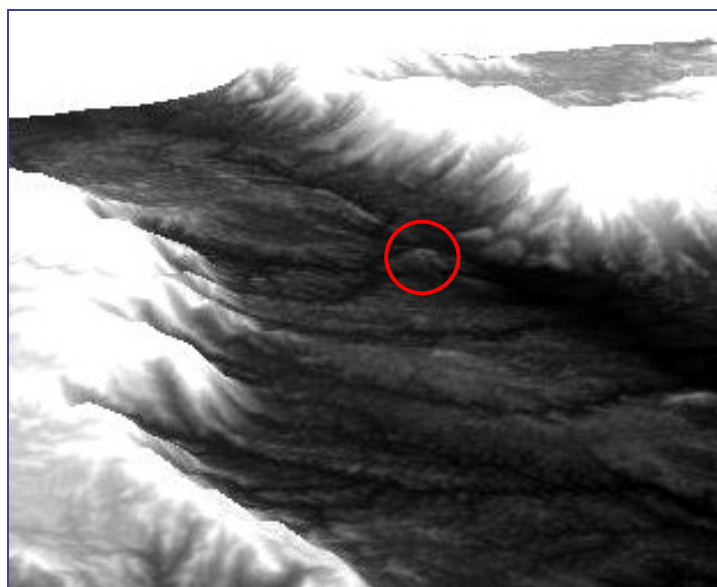


Figura. 3. Identificação tridimensional do tálus verificado na base das formações de serras nas paredes do vale, obtido a partir de dados SRTM3.

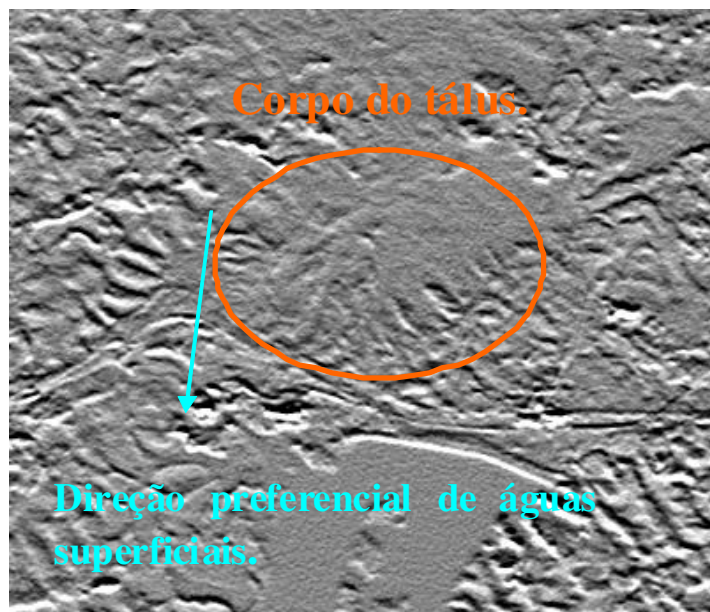


Figura 4. Direção preferencial de águas superficiais no corpo de tálus após filtro direcional N-S. Imagem CBERS 2B CCD.

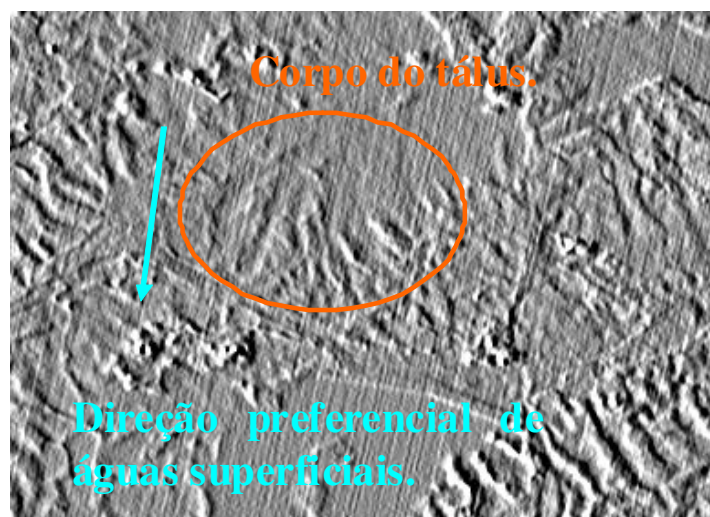


Figura 5. Direção preferencial de águas superficiais no corpo de tálus após filtro direcional E-W. Imagem CBERS 2B CCD.

O mesmo processo de filtragem foi aplicado na imagem SRTM3, sendo que o processo que apresentou melhor aparência das feições de superfície foi com o filtro Sobel, direção E-W, sendo visualizado na Figura 6. É possível notar que o depósito de tálus vem se deslocando em direção à rodovia já existente, à montante da barragem da represa do funil.

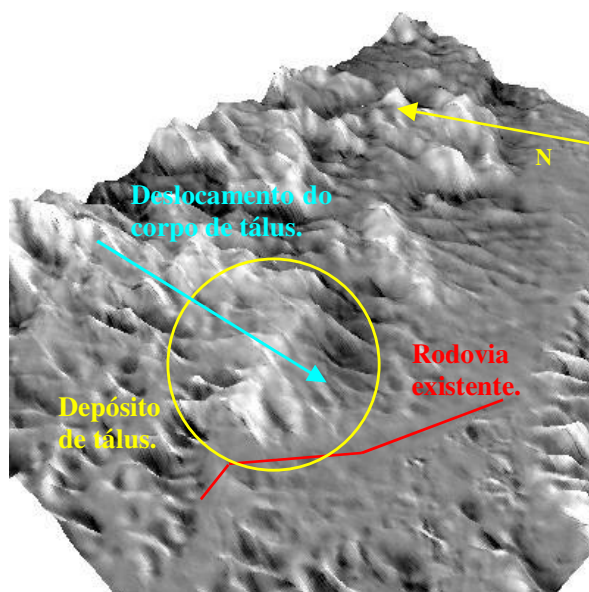


Figura 6. Versão tridimensional do depósito de tálus junto à rodovia Presidente Dutra, por meio do SRTM3, com exagero vertical cinco.

Na Figura 7 é possível observar a imagem após o processo NDVI e o filtro Gaussiano. As áreas de vegetação mais densa apresentam-se mais claras. A imagem também foi submetida aos filtros direcionais que foram aplicados na imagem pancromática. O resultado pode ser observado na Figura 8.



Figura 7. Imagem resultante do processamento NDVI.

Observou-se que apenas o filtro na direção N-S foi o que não apresentou resultado positivo na indicação de direção da vazão superficial. Entretanto, o filtro E-W foi o que apresentou a melhor visualização das linhas de vazão superficial, uma vez que ressaltou, de forma mais clara, estas linhas no corpo do tálus. Podendo ser visualizado na Figura 8 a indicação da direção preferencial de escoamento superficial.

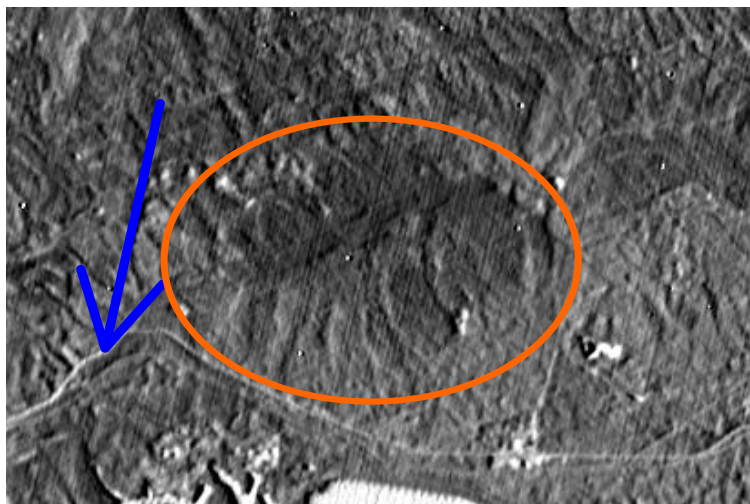


Figura 8. Imagem resultante do processamento NDVI após filtro direcional E-W. A seta azul indica a direção preferencial de escoamento superficial.

Nos mapas geológico-geotécnicos apresentados, a direção do movimento do depósito de tálus também pode ser verificada, pois segue a direção de escoamento superficial nessa região. O mapa geotécnico, gerado na fase de viabilidade, fornece a informação de que a estrutura geológica associada a este corpo de tálus apresenta rochas sedimentares que acabam conferindo uma não boa resistência ao movimento de massa nesta região. Trata-se de uma área vulnerável a qualquer força que venha desestabilizar a encosta e assim impedir a utilização das vias de comunicação existentes no local.

A região do Vale do Paraíba apresenta a característica de ocorrências de chuvas muito intensas em curtos períodos de tempo, gerando uma vazão superficial instantânea elevada. Ao sul do depósito de tálus que sofrerá o corte para a passagem da ferrovia estão localizadas a Rodovia Presidente Dutra e a Barragem da Represa do Funil. A geração de instabilidade no corpo do tálus poderia originar um movimento gravitacional de massa que, dependendo da velocidade, acabaria causando danos à conservação da rodovia. A existência da barragem também confere um risco maior ao empreendimento, pois a recuperação de danos em obras desta natureza poderia se tornar demasiadamente oneroso e arriscado. Na Figura 1 observa-se o trecho da ferrovia que corta o pé da encosta de tálus, na qual é possível visualizar a rodovia e a barragem ao sul. Na Figura 2 encontra-se destacado em vermelho o traçado do projeto da ferrovia, que corta o depósito de tálus.

Um movimento gravitacional de massa desse depósito de tálus poderia causar transtornos já na fase de execução das obras do TAV. Entretanto, mesmo que todas as medidas de segurança para o corte do tálus sejam tomadas, é difícil garantir que o depósito não sofreria movimento algum após a obra concluída. A manutenção da ferrovia neste trecho, impedindo qualquer movimento desta massa rochosa instável, poderia onerar bastante o seu custo de operação, dependendo das técnicas adotadas para garantir a segurança dos usuários.

4. Conclusões

A utilização de imagens do sensor CCD do CBERS 2B mostraram-se úteis na identificação do corpo de tálus no contexto apresentado. Com o auxílio dos filtros direcionais Sobel foi possível visualizar com maior nitidez os sentidos de escoamento preferenciais de águas superficiais na encosta do depósito de tálus. O filtro na direção E-W foi mais eficaz que nas outras direções, mesmo após o processo NDVI, devido ao contexto geomorfológico da área de estudos. Observa-se que a direção preferencial de escoamento, na encosta do depósito de tálus voltada para o trecho de implementação da ferrovia, é quase perpendicular à direção

desse filtro. O escoamento superficial traz um risco de movimento gravitacional de massa, uma vez que poderá deslocar o material ali depositado.

Os dados SRTM3 puderam confirmar, após a utilização dos mesmos filtros direcionais, a direção em que o corpo de tálus vem se movimentando ao longo do tempo de sua formação.

As imagens de sensoriamento remoto apresentaram uma potencialidade no levantamento de regiões que podem apresentar riscos de movimento gravitacional de massa, uma vez que as direções preferenciais de escoamento superficial podem ser visualizadas com este tipo de dado. O processamento digital de imagens mostrou ser uma ferramenta muito útil no auxílio da indicação da direção preferencial de escoamento superficial.

Agradecimentos

Ao Comando-Geral de Operações Aéreas pelo apoio no andamento dos trabalhos. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pelo fornecimento das imagens CBERS 2B. A CPRM e a ANTT por terem disponibilizado os relatórios do projeto do TAV.

Referências Bibliográficas

CPRM Serviço Geológico do Brasil. Modelos geológico-geomecânicos e seus riscos associados ao longo do traçado do TAV – Etapa III. 2009, 54p.

Diniz, N. C. 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Transportes, 267p.

Press F., Siever R., Groetzinger J., Jordan T.H. Dispersão de massa. **Para entender a terra**. Editora Artmed, 2006. cap. 12, p. 291-302.

Varnes D. J. 1984. Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice, Paris, **United Nations Educational Scientific and Cultural Organization**, p.: 10-63.