

# MAPA DE RISCO DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA, OBTIDO POR MEIO DE INVENTÁRIO DE CICATRIZES DE DESLIZAMENTOS NO TRECHO 4 DO TREM DE ALTA VELOCIDADE BRASILEIRO



FAUSTO BATISTA MENDONÇA

MSc. (COMGAR, Brasília, DF, Brasil, faustobm@hotmail.com)

NORIS COSTA DINIZ

DSc. (UnB, Brasília, DF, Brasil, noris@unb.br)

GUSTAVO MACEDO DE MELLO BAPTISTA

DSc. (UnB, Brasília, DF, Brasil, gmbaptista@gmail.com)

## RESUMO ABSTRACT

O projeto do trem de alta velocidade a ser construído no Brasil ligará a cidade de Campinas, no estado de São Paulo, à cidade do Rio de Janeiro. Trata-se de uma obra linear inédita no país, que passará por tipos de terrenos diversos enfrentando condições adversas distintas. Este trabalho propõe um mapeamento de risco de deslizamentos na região do trecho 4 do traçado inicial, próximo à cidade de Itatiaia no interior do estado do Rio de Janeiro. As cicatrizes de deslizamento foram inventariadas por meio de fotointerpretação. Mapas temáticos da região com dados de pedologia, geomorfologia, uso e cobertura do solo, litologia, hipsometria e unidades geológico-geotécnicas no buffer de 2 km, foram utilizados como dados para a álgebra de mapas que resultou nos mapas de risco e de perigo do trecho avaliado. Os resultados apontaram a existência de risco alto à ocorrência de deslizamentos em quase todo o trecho 4. Esse fato aponta para a necessidade de uma avaliação geotécnica muito cuidadosa das condições geológicas das encostas que sofrerão intervenções durante a obra de engenharia.

**Palavras-chaves:** Geomorfologia, Movimento gravitacional de massa, Sensoriamento remoto, Avaliação de riscos geológicos.

## **RISK MAP OF MASS MOVEMENT OBTAINED THROUGH LANDSLIDES SCARS INVENTORY IN STRETCH 4 OF BRAZILIAN HIGH SPEED TRAIN**

The design of high speed train to be built in Brazil will connect the Campinas city in São Paulo to Rio de Janeiro city. It is a linear work unprecedented in the Country, which will go through various types of land experiencing different conditions. This job presents a risk mapping of landslides in the region of the fourth section of the planning route, on a region near the city of Itatiaia in Rio de Janeiro. Landslides were inventoried by means of photointerpretation. Thematic maps of the region with data from pedology, geomorphology, land use and land cover, lithology, hypsometry and geological/geotechnical units on a 2km buffer were used for the map algebra which generates the risk and hazard maps. The results indicate the existence of high risk to the occurrence of landslides in almost section four showing the need of a very thorough geotechnical evaluation of the slopes geological conditions that will suffer interventions during engineering work.

**Keywords:** Geomorphology, Mass movement, Remote sensing, Geological hazards assessment.

## 1 INTRODUÇÃO

O traçado do TAV (Trem de Alta Velocidade) passa por terrenos muito variados, desde mangues próximos à baía de Guanabara até serras e vales na divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, além de turfeiras, solos colapsíveis e Mar de Morros 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 complexo.

O trecho estudado neste trabalho apresenta um depósito de tálus que será cortado para a passagem da ferrovia. Esse tipo de massa de solo é capaz de apresentar um movimento conhecido como rastejo, que pode causar sérios danos a obras civis, por exemplo, deslocando suas fundações. Wolle e Carvalho (1994) e Vargas (1999) relatam um movimento de rastejo de depósito de tálus no sopé da serra de Cubatão que avançou vinte metros em direção à casa de força de uma Usina Hidrelétrica da Light, após o início de uma obra de ampliação, colocando em risco sua operação.

Prever um deslizamento é quase impossível, entretanto, prevenir os resultados oriundos desta movimentação de terra é uma prática possível, conforme alguns trabalhos publicados neste sentido, como Varnes (1984), Wolle e Carvalho (1989), Fernandes e Amaral (1996) e Guzzetti e Tonelli (2004).

Conhecer o histórico de movimentos de massa, na região estudada, é um passo importante no mapeamento das áreas sujeitas a danos causados por deslizamentos. Diversos autores desenvolveram estudos levando em conta informações semelhantes, como registros de movimentos de massa remotos e recentes.

As novas tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR) têm sido largamente aplicadas em trabalhos de levantamento de cicatrizes, além das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na geração de mapas classificando áreas suscetíveis.

## 2 O PROJETO DO TAV

A ferrovia ligará a região da Leopoldina, na cidade do Rio de Janeiro, à cidade de Campinas,

no estado de São Paulo, totalizando 511 km de trilhos. O traçado passa por terrenos como baixada, serra, colinas e morros, cada um com suas particularidades de formação e limitações de construções. Estas limitações precisam ser vencidas para garantir segurança aos usuários no período de utilização e aos operários no período de implantação.

A implantação de uma ferrovia, assim como de uma estrada, implica em diversas interações com o terreno. Execução de cortes e aterros, áreas de bota-fora, de empréstimo, além da busca de jazidas de materiais de construção nas proximidades dos canteiros para reduzir o custo logístico do suprimento de material, são alguns exemplos. Entretanto, o conhecimento da geologia da região é primordial para a implantação de estradas, sejam de ferro ou asfaltada. Copons e Vilaplana (2008) falam sobre a necessidade de conhecer a geomorfologia do terreno para uma correta interação proporcionando redução de riscos.

Os cortes em massas coluvionares têm mostrado que, mesmo por menores que sejam, acabam causando movimentos de rastejo que podem evoluir para movimentos mais rápidos com o acúmulo de grandes volumes de chuvas.

### 2.1 Mapa do cone de dejeção do depósito de tálus

O depósito de tálus do Itatiaia se estende desde a cidade de Engenheiro Passos, no limite dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, até próximo a Penedo, distrito de Resende. Observa-se na Figura 1, que é uma área deposicional bem extensa, cerca de 10 km no perímetro da sua base, com mais de 50 km<sup>2</sup> de área. O cone deposicional do tálus foi marcado por interpretação visual com o auxílio das imagens do sensor CCD CBERS 2B e ETM+ LANDSAT 7, além dos dados da missão SRTM3, todos obtidos na fase de inventário.

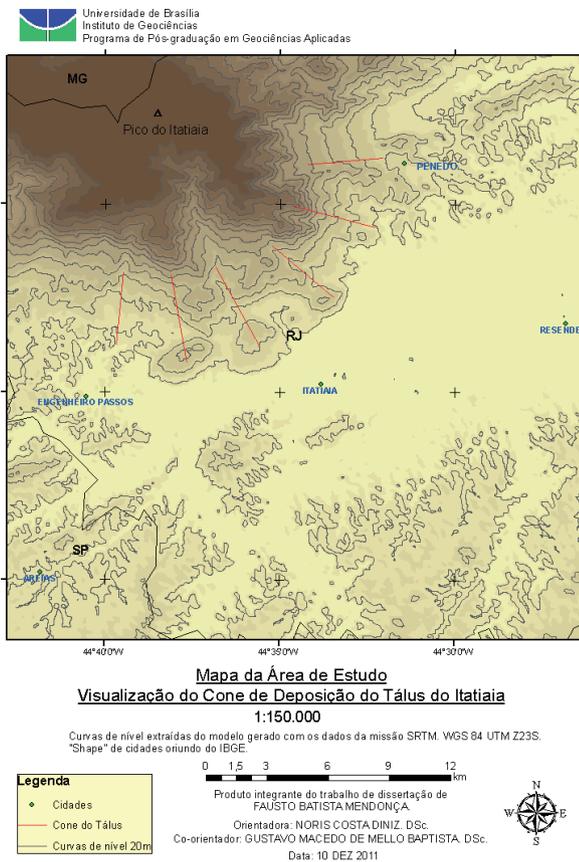


Figura 1 – Cone deposicional do tálus do Itatiaia

O cone deposicional de tálus indica um relevo formado por material removido e transportado, por agentes de erosão, para cotas mais baixas nos sopés de encostas. Florenzano (2008) define o tálus como um depósito formado por fragmentos de rocha, removidos e depositados na base da vertente, resultantes de movimentos de massa antigos, e apresenta a possibilidade de gerar novos movimentos quando desestabilizados,

principalmente por elevada pluviosidade. Porém, ações antrópicas também podem desencadear movimentos neste tipo de formação.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A obtenção de informações espacializadas por diversos órgãos governamentais e não governamentais na área de estudo foi a opção para o levantamento de dados. Os dados disponibilizados on-line pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) foram de grande valor para a elaboração da base de dados, além das imagens geradas pelo levantamento aerofotogramétrico da FAB (Força Aérea Brasileira) com a câmera ADS 80 da *Laica Systems*. Dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, dos dados SRTM3, que apresentam resolução espacial de 90 m também foram utilizados, bem como imagens baixadas da página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução espacial de 20 m e 30 m. Feições do terreno na região pesquisada foram obtidas junto a CPRM e a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

As etapas do método aplicado foram balizadas por estudos apresentados por Carrara *et al.* (1999), Augusto Filho (2001), Cardinali *et al.* (2002), Vilaplana *et al.* (2002), Guzzetti *et al.* (2003), Irigaray e Chacón (2003), Zuquette e Ahrendt (2003), Copons e Vilaplana (2008), van Westen *et al.* (2008), Vedovello (2009) e Pimentel (2010), que basicamente se divide em quatro etapas principais: inventário, avaliação, análise e resultado final. Na Tabela 1 estão descritas as definições das etapas.

Tabela 1 – Definições das etapas da pesquisa.

Etapas	Definições
Inventário	Busca de informações sobre a área estudada, onde imagens anteriores aos deslizamentos, cartas da região, dados de chuva e trabalhos geotécnicos realizados são elementos a serem levantados.
Avaliação	Destacam-se levantamentos preliminares de campo, geração de MDE, processamento digital de imagens e caracterização do meio físico.
Análise	Aplicação de técnicas de SIG para a geração de informações com os dados levantados nas fases anteriores, mapeando áreas vulneráveis e sob risco.
Resultado final	Divulgação do produto gerado na análise.

Os dados de campo foram levantados por equipe da CPRM sediada no Rio de Janeiro, em março de 2009 e disponibilizados para este trabalho.

Na Figura 2 apresenta-se o Trecho 4 que corta os municípios de Porto Real, Itatiaia e Resende, todos no estado do Rio de Janeiro.

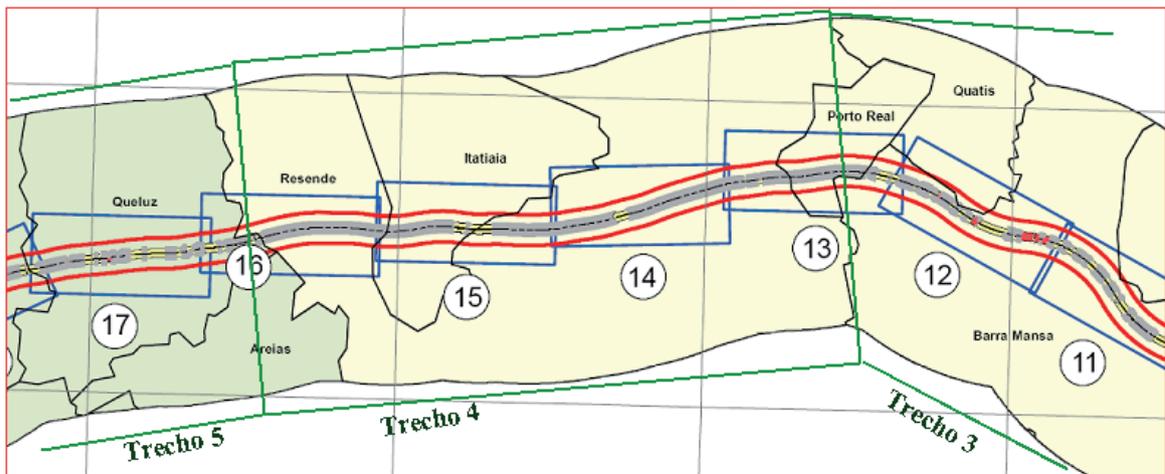


Figura 2 – Trecho 4 do TAV cortando os municípios de Porto Real, Itatiaia e Resende.

Os pontos de levantamento na região do Trecho 4, onde se localiza a área de estudo, podem ser observados na Figura 3. A geração de MDE (Modelo Digital de Elevação) configura uma ferramenta muito útil no estudo de riscos geológicos. Graças às novas tecnologias de SR (Sensoriamento

Remoto) este recurso permite visualizar e interpretar, de forma mais realista, os processos geomorfológicos e suas condicionantes, como, por exemplo, formas de vertentes e canais de drenagem. Foram gerados perfis topográficos a partir dos dados da missão SRTM.

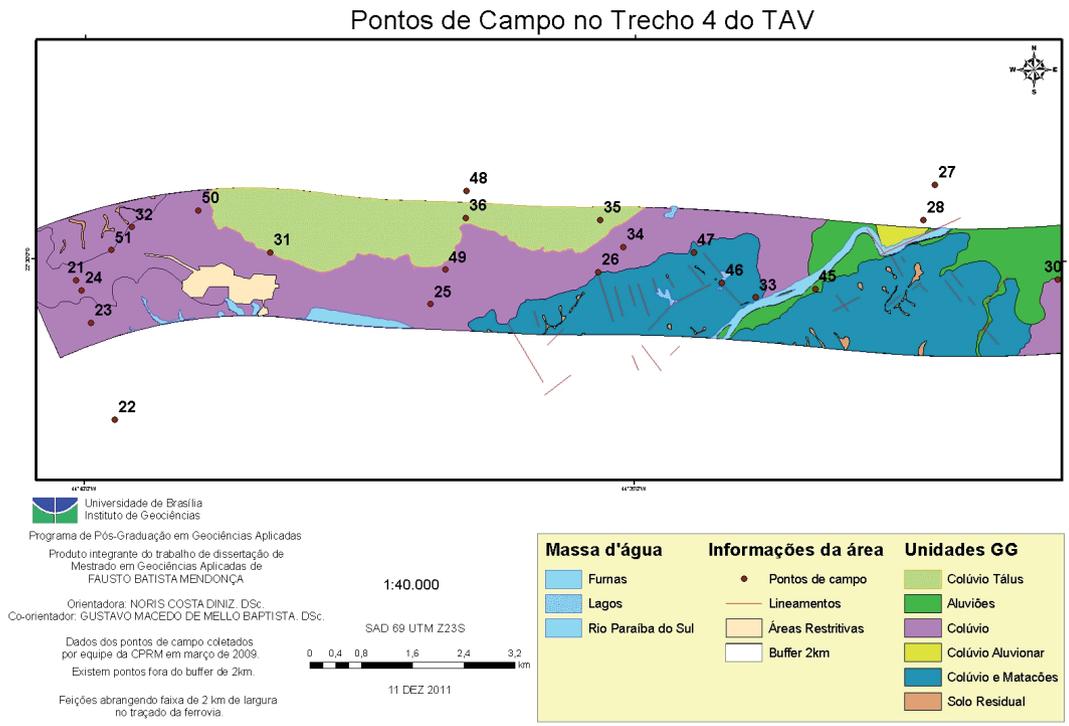


Figura 3 – Pontos de campo no trecho estudado. O Trecho 4 está compreendido entre os limites laterais da área do mapa.

### 3.1 Inventário de Cicatrizes Segundo JTC-1

O Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1) é composto por membros da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Geologia de Engenharia (ISSMGE) da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) e

da Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente (IAEG). O Comitê recomenda uma metodologia para levantamento de cicatrizes que pode ser observado na Tabela 2, segundo JTC-1 (2008). As etapas do passo básico foram desenvolvidas neste trabalho.

**Tabela 2** – Metodologia da JTC-1 para inventariar cicatrizes. (JTC-1, 2008)

Classificação	Atividades
Básica	Inventário de MGM por fotos aéreas ou imagens satelitais. Localizando e quantificando eventos e áreas. Identificar relação entre topografia, geologia e geomorfologia. Apresentação dos resultados em forma de mapas contendo dados como: grids, drenagem, vias, topografias e outras informações que se tenha da área.
Intermediária	As mesmas atividades da fase básica mais: Distinguir diferentes partes do deslizamento. Mapear feições de deslizamento e contornos. Levantar informações sobre o histórico de deslizamentos na região. Analisar a evolução do uso da terra e como as interações do homem com o solo poderiam ter influenciado as ocorrências.
Avançada	As mesmas atividades da fase intermediária mais: Preparar um inventário de dados geotécnicos. Implementar investigações para uma melhor definição das condições geotécnicas. Análises geotécnicas para compreender os processos de instabilização. Catalogação de reativações de risco e informações dos períodos de atuação dos agentes desencadeadores para a geração de um inventário de períodos de ocorrência podendo aplicar em validações de aproximações mais avançadas.

O inventário de cicatrizes foi obtido por fotointerpretação em imagens geradas por voo aerofotogramétrico em agosto de 2011. As imagens apresentavam resolução espacial de 40 cm. Na Figura 4 observa-se o trabalho de inventário de cicatrizes em andamento.

Fernandes e Amaral (1996) e Tominaga (2009) afirmam que análises da geomorfologia, geologia, aspectos climáticos e ações do homem no que tange o uso do solo e cobertura vegetal são fatores a se considerar nas avaliações de risco de movimentos gravitacionais de massa. Esses temas foram abordados nas análises deste trabalho.



**Figura 4** – Imagem com a delimitação das cicatrizes que compõe o inventário.

### 3.1.1 Aspectos climáticos

Sobre os aspectos climáticos Nunes e Calbete (2000) e Silva e Leite (2000) relatam que a precipitação média da região é de 1400 mm/ano concentrando cerca de 70% durante o período primavera-verão (setembro a fevereiro). As temperaturas variam de 16° C a 23° C em média. Nunes e Calbete (2000) afirmam que a distribuição de chuvas pelo vale do Paraíba é homogênea. Os autores afirmam ainda que os eventos de MGM (Movimentos Gravitacionais de Massa) ocorridos na década de 1990 e início dos anos 2000 foram gerados por uso e ocupação inadequada do solo e não por variação significativa no acumulado de chuva. Apesar de levantarem um estudo de 40 anos de dados pluviométricos da região, Nunes e Calbete (2000) chegaram à conclusão que, mesmo com as influências de El Niño nos períodos, os eventos estão mesmo relacionados a atividades antrópicas desprovidas de cuidados técnicos sobre a geologia da região.

A direção do Cinturão Orogênico do Atlântico no vale do Paraíba descreve um caminho para as correntes polares (SW-NE), pois, conforme relatado por Nunes e Calbete (2000), a disposição do relevo exerce papel importante nos fluxos

atmosféricos. Esse fato favorece a presença de chuvas conferindo frequentes instabilidades climáticas na região.

### 3.2 Avaliação geológico geotécnica

Foram efetuadas investigações geológico geotécnicas no período de abril a junho de 2009. Foram definidos dez compartimentos geomecânicos (CGM) diferenciados com base em três conjuntos de informação: os compartimentos geomorfológicos, os domínios geológico geotécnicos e a base geológica. Os dez compartimentos estão listados na Tabela 3 com a indicação da distância progressiva, partindo do Rio de Janeiro. Observam-se ainda nessa tabela as principais obras a serem efetuados nos trechos, frutos do estudo de CGM apresentado por Assis *et al.* (2009).

No CGM-04 (Trecho 4) constam depósitos de tálus no sopé, que podem gerar instabilidades ao sofrerem cortes e emboques, onde Assis *et al.* (2009) menciona o risco de impactos muito negativos para a operação do empreendimento. O estudo aponta a necessidade de alteração do traçado para evitar o corte no sopé do tálus, ou investigar a melhor forma de estabilizar o mesmo.

**Tabela 3** – Compartimentos de comportamento geomecânico com distâncias, aproximadas, progressivas e obras predominantes por trecho. Destacado o trecho 4. Adaptado de: Assis *et al.* (2009).

Progressiva (km)	Compartimentos de Comportamento Geomecânico (CGM)	Obra predominante
000-075	CGM-01 Baixada Fluminense	Túneis, pontes e viadutos de grandes dimensões, complementados por aterros e cortes.
075-102	CGM-02 Escarpa da Serra das Araras	Túneis de grandes dimensões, complementados por pontes, viadutos e cortes.
102-144	CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense	Pontes e viadutos, túneis, cortes e aterros.
144-177	CGM-04 Vale de Resende	Pontes e viadutos de grande extensão próximo a Resende. Daí por diante vários cortes e aterros, além de túneis curtos.
177-218	CGM-05 Mar de Morros de Queluz	Túneis, pontes e viadutos. Alguns cortes de grandes alturas.
218-334	CGM-06 Bacia de Taubaté	Pontes e viadutos extensos. Pequenos cortes, aterros e túneis.
334-385	CGM-07 Alto de Arujá	Cortes, aterros, Pontes, viadutos e túneis.
385-414	CGM-08 Bacia de São Paulo	Longos túneis em meios urbanos, com pequenos cortes e aterros.
414-481	CGM-09 Mar de Morros de Jundiá	Túneis, pontes e viadutos de grandes dimensões. Alguns cortes de grandes alturas.
481-511	CGM-10 Depressão de Campinas	Longo túnel próximo ao Aeroporto de Viracopos. Vários cortes e aterros, complementado por pontes e viadutos.

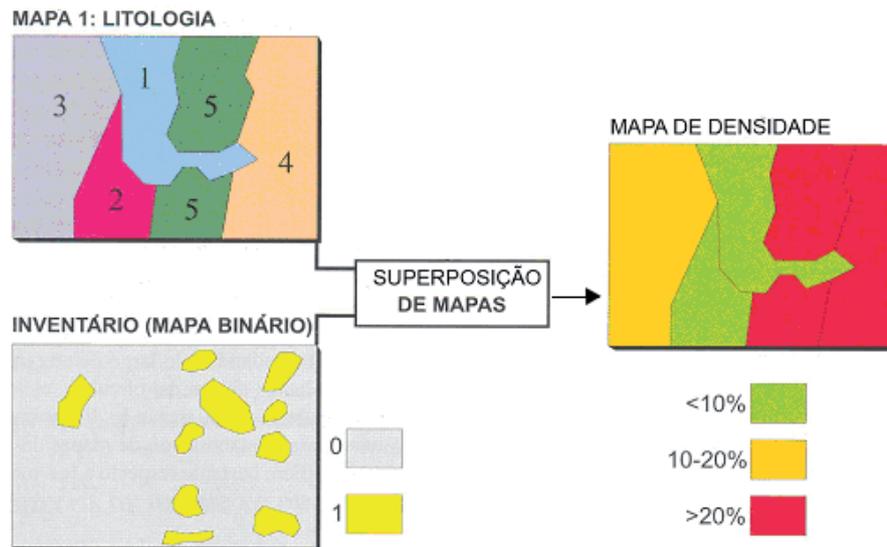
### 3.3 Operações entre mapas na fase de análise

De posse de uma categoria ou tema, por exemplo, litologia da região, busca-se as áreas afetadas por movimentos de massa recentes e remotos por meio de fotointerpretação, este procedimento é recomendado por Guzzetti et al. (1994), Ardizzone et al. (2002), Cardinalli et al. (2002), Guzzetti et al. (2003), Zuquette e Ahrendt (2003), Coronado (2006), Corominas et al. (2008) e JTC-1 (2008). Este tipo de trabalho é classificado por Braz e Riedel (2011) como hipotético-dedutivo. Os movimentos gravitacionais de massa são responsáveis pela formação da paisagem. Por meio de uma operação entre tabelas dentro do SIG é possível obter a densidade de movimentos em cada litologia e assim efetuar a avaliação estatística da frequência de incidências de movimentos.

As categorias submetidas à avaliação estatística de ocorrências de movimentos de massa, após os registros por fotointerpretação, foram litologia, hipsometria, geomorfologia, uso e cobertura,

pedologia e unidades geológico geotécnicas no *buffer* de 2 km.

Após a vetorização das áreas dos movimentos foram feitas as análises estatísticas de ocorrência em cada categoria, para isso utilizou-se o comando *Intersect* em *Analysis Tools* do ArcGis 9.3 que gerou um *shape* da interseção das áreas de movimentos e das áreas das feições, este resultado traz uma tabela de dados que é a união das tabelas dos *shapes* originais. Em seguida, foi realizada a operação *sumarize* nas colunas de dados de áreas movimentadas e frequência de ocorrências, no intuito de obter a quantidade de incidências (densidade) e a proporção de área atingida em cada categoria: litologia, pedologia, uso e cobertura, hipsometria, geomorfologia e unidades geológico geotécnicas no *buffer* de 2 km. A operação *sumarize* consolida a quantidade de ocorrências de MGM (movimento gravitacional de massa) e das áreas movimentadas em cada classe das categorias consideradas. A Figura 5, adaptada de Irigaray e Chacón (2003), traz o resumo desta operação.



**Figura 5** – Operação para obter densidade de MGM. No mapa de litologia as classes estão numeradas de 1 a 5. No mapa de inventário, as cicatrizes de movimento correspondem as áreas demarcadas. Após a superposição as classes que tiveram mais incidência de movimentos recebem valores maiores de densidade. Adaptado de Irigaray e Chacón (2003).

De posse dos resultados da operação *sumarize*, consegue-se relacionar as classes atingidas de cada categoria, atribuir pesos e efetuar a álgebra de mapas para a obtenção das áreas de perigo de ocorrência de MGM e trechos de risco de deslizamentos no traçado proposto para o TAV.

A álgebra de mapas é realizada através da ferramenta *weighted overlay* do ArcGis 9.3 que sobrepõe as matrizes (arquivos raster dos temas ou categorias), onde suas células possuem pesos atribuídos segundo a razão entre a porcentagem de ocorrência e a porcentagem de área movimentada

na classe (Pimentel, 2010), efetuando a soma dos pesos das células e retornando uma matriz final com o resultado dessa operação matemática. A matriz final (mapa de perigo) é classificada em intervalos de valores de células onde os valores mais altos correspondem às células de maior peso, indo até as células de menor peso com os valores menores. Assim o mapa pode ser classificado conforme a divisão do número de intervalos que se deseja, dividindo intervalos de valores iguais que vão desde a célula de menor até a de maior valor.

A classificação dos trechos de risco, para a obtenção do mapa de risco de deslizamento, são obtidos por meio de uma operação de interseção, *intersect* no ArcGis 9.3, entre o arquivo raster, ou matricial, resultado da álgebra de mapas e o vetor do traçado proposto para a ferrovia. Como o vetor possui um valor único e o raster apresenta valores de dados diferentes nas áreas resultantes da operação de álgebra, ao efetuar a interseção o vetor assume os valores correspondentes às áreas dos trechos por onde passa.

### 3.3.1 Distribuição dos pesos

Primeiramente os arquivos vetoriais foram transformados em raster, conforme preconizam Câmara (1995), Silva (1999), Coronado (2006) e INPE (2007). Para isso, foi aplicada a ferramenta *Feature to Raster (converter)* do ícone *Toolbox* do *Software ArcGis 9.3*.

A metodologia utilizada corresponde à mesma adotada por Pimentel (2010) na análise de áreas de risco na região de Angra dos Reis após as várias ocorrências de MGM naquela região em 2010. Pimentel (2010) efetua a distribuição dos pesos por meio da razão entre a porcentagem de ocorrências e a área movimentada em cada classe dentro das feições (pesos equivalentes). Os pesos entre as feições foram distribuídos de forma igualitária até completar o valor de 100%, na ferramenta *weighted overlay* do ícone *Toolbox* do *ArcGis 9.3*.

Os pesos inseridos no *software* podem ser de NODATA a 9 de forma discreta. Como os valores obtidos nas razões são contínuos foi feita uma discretização dos pesos. Na Tabela 4 observa-se o critério de discretização adotado.

**Tabela 4** – Discretização dos pesos.

Pesos equivalentes	Peso inserido no software
Até 0,4	1
0,4 a 0,8	2
0,8 a 1,2	3
1,2 a 1,6	4
1,6 a 2,0	5
2,0 a 2,4	6
2,4 a 2,8	7
2,8 a 3,2	8
3,2 a 3,6	9
3,6 ou mais	9

## 4 RESULTADOS

A geomorfologia da região foi analisada por Ross e Moroz (1997) e Almeida e Carneiro (1998), cujas conclusões foram consideradas neste trabalho, além das avaliações dos aspectos climáticos da região, feitas por Nunes e Calbete (2000) e Silva e Leite (2000). As avaliações estatísticas foram resultado das interpretações das cicatrizes sobre as imagens do aerolevanteamento.

### 4.1 Geomorfologia

O trecho do vale do Paraíba que possui o tálus do Itatiaia compreende um vale entre duas serras, a serra da Mantiqueira, onde está localizado o pico do Itatiaia e a serra da Bocaina que se liga à serra do Mar. Sua localização pode ser vista na Figura 6 que foi gerada com dados SRTM3 onde é possível perceber a formação do graben do Paraíba.

Almeida e Carneiro (1998) descrevem a formação do graben do Paraíba como resultado do soerguimento da serra do Mar seguido de um recuo erosivo para a sua posição atual. Nunes e Calbete (2000) descrevem o vale do Paraíba como parte integrante do planalto Atlântico, formando uma depressão de origem tectônica.

A serra da Mantiqueira, segundo Almeida e Carneiro (1998), resultou de um importante evento tectônico iniciado no Paleoceno, que também influenciou a formação da serra do Mar. Os autores relatam que por cerca de três a quatro dezenas de milhões de anos a serra do Mar recuou até a posição atual por efeito de processos erosivos.

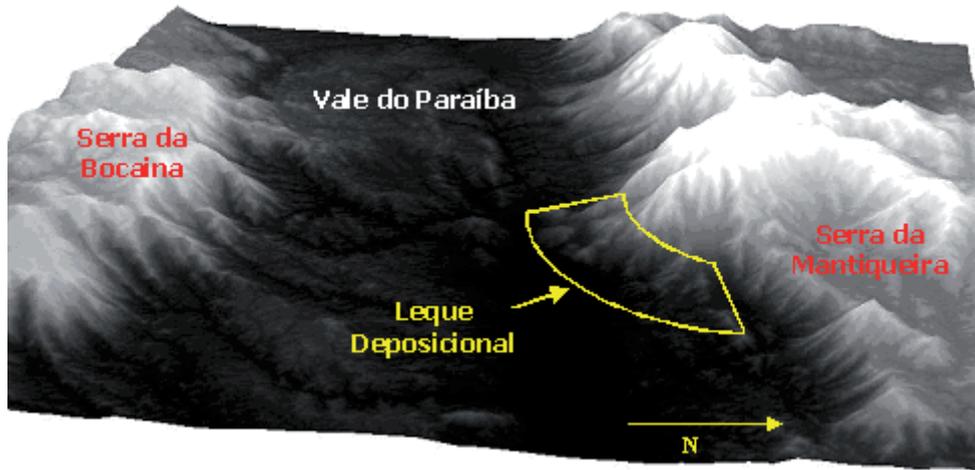


Figura 6 – Graben do vale do Paraíba com destaque para o depósito de tálus. (MENDONÇA *et al.*, 2011)

Na Figura 7 observam-se as linhas de perfis traçadas sobre o MDE para extrair os perfis topográficos no vale do Paraíba.

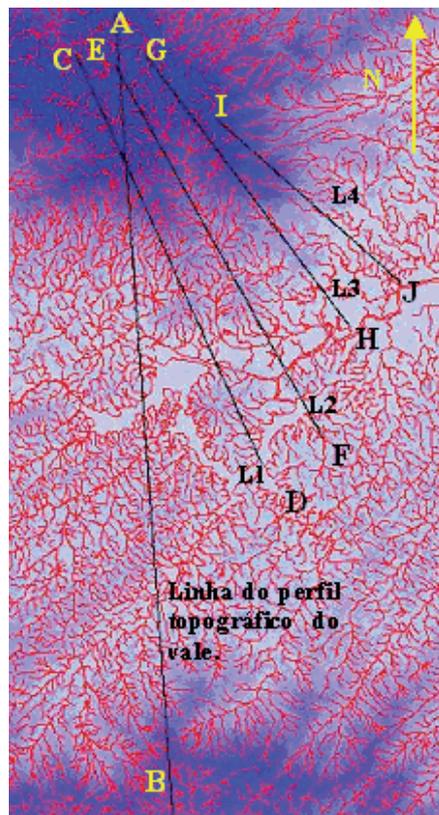


Figura 7 – Traçado das linhas para extração dos perfis topográficos. O Trecho 4 está compreendido entre os limites laterais da imagem

O vale do Paraíba apresenta-se conforme o perfil topográfico da Figura 8, extraído do modelo SRTM3, onde à direita tem-se a serra do Mar e à esquerda a serra da Mantiqueira. Na elevação da

esquerda é possível visualizar o topo do pico do Itatiaia atingindo cota em trono de 2.700 m. A cota no leito do rio Paraíba do Sul nesse trecho está em 450 m.

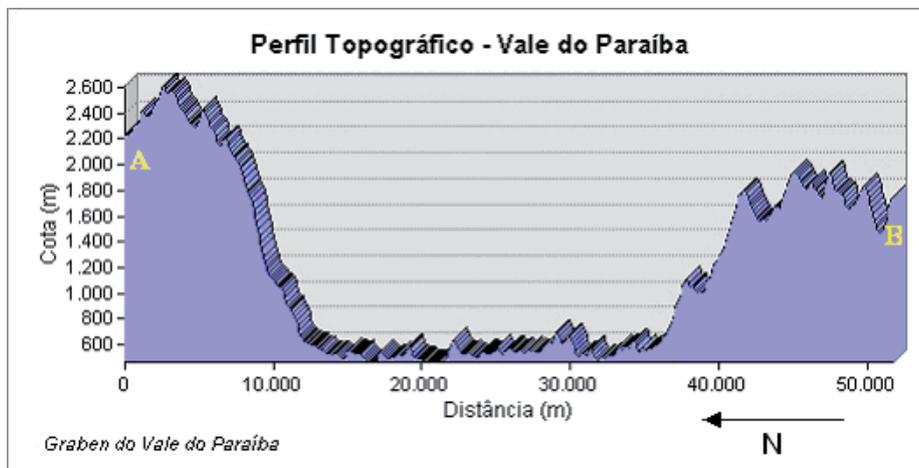


Figura 8 - Perfil topográfico do vale do Paraíba no trecho estudado.

Os perfis topográficos obtidos desde a calha do rio Paraíba do Sul até o topo do pico do Itatiaia podem ser vistos na Figura 9.

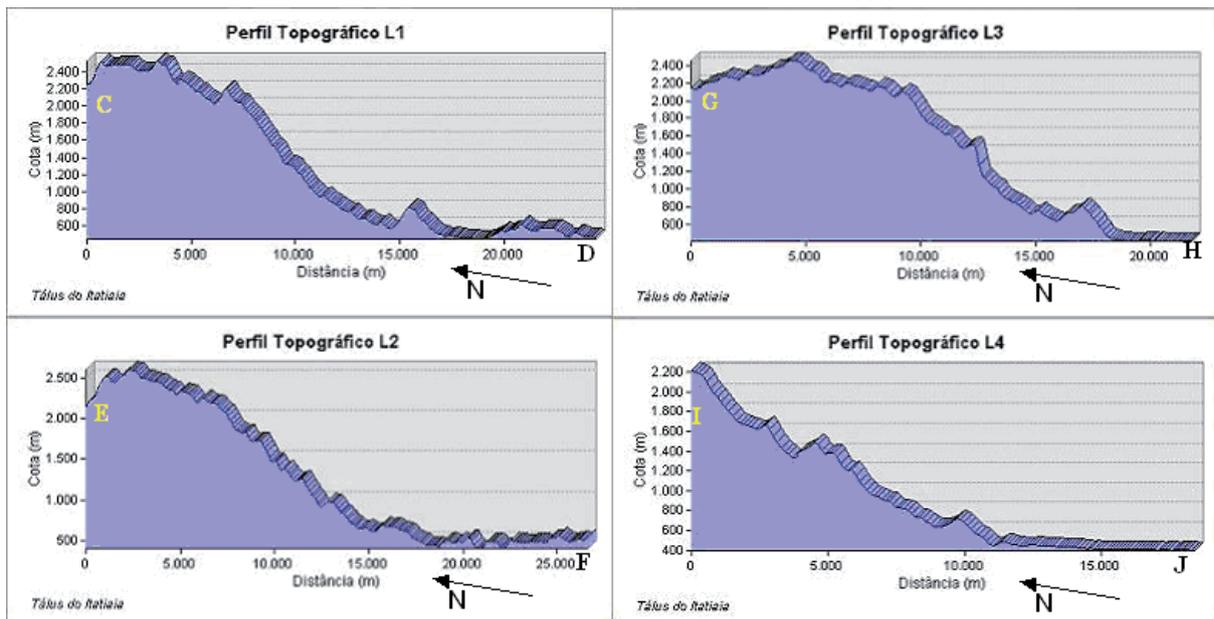


Figura 9 - Perfis topográficos do Tálus do Itatiaia.

#### 4.2 Avaliação estatística da distribuição espacial das cicatrizes

Após a conclusão do inventário de cicatrizes foi feita a verificação do padrão de distribuição das ocorrências de MGM na área de estudo. No mapa da Figura 10 nota-se que o padrão de distribuição de pontos de ocorrência de MGM não é uniforme na área, porém com o teste de  $\chi^2$  (Qui Quadrado) foi possível confirmar que a distribuição segue a geomorfologia da região, como pode ser visualizado no mapa, uma vez que a

concentração dos registros de MGM estão no sopé do maciço alcalino do Pico do Itatiaia.

A distribuição Qui Quadrado -  $\chi^2$  parte da premissa que a distribuição é equidistante (Montgomery e Runger, 2003). Além disso, essa distribuição funciona como um teste não paramétrico de hipóteses que visa encontrar um valor de dispersão entre duas variáveis, permitindo avaliar a relação existente entre variáveis qualitativas. A divisão em subáreas foi feita na quadrícula do mapa conforme a Figura 10.

O mapa foi dividido por 40 subáreas de igual tamanho, aproveitando a quadrícula, e computadas a quantidade de pontos de MGM em cada uma delas. Adotou-se um nível de significância de 5%.

Como algumas subáreas não apresentam registro de MGM, Hines *et al.* (2006) recomenda que as subáreas sejam aglutinadas até somarem no mínimo três ocorrências. Dessa forma o número de subáreas foi reduzido para 20.

$k = 20$  (nº de subáreas)

$v = 20 - 2 = 18$  (graus de liberdade), que permitem mediar a possibilidade de combinações ao acaso.

Com estes valores na tabela de  $\chi^2$  tem-se o valor crítico de 28,86 para um nível de significância de 5%.

Teste de hipóteses:

H0: o padrão de distribuição de pontos é uniforme.

H1: o padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

Tem-se então que "N" é o número total de observações na área selecionada (264), "E" o número esperado em cada subárea e "O", número de pontos observados em cada subárea.

$E = N/k$ , onde  $E = 13,20$ .

O valor de  $\chi^2$  é dado pela expressão (1):

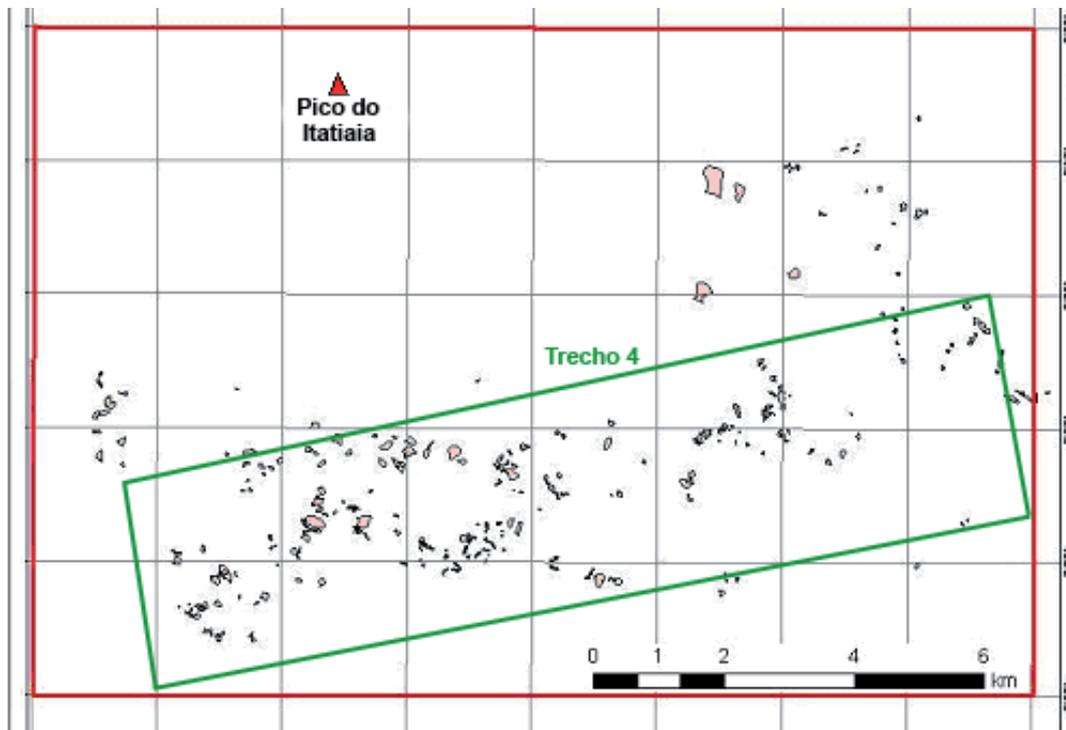


Figura 10 - Divisão de subáreas para teste de hipótese.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E)^2}{E} \quad (1)$$

Onde,

O = frequência observada para cada subárea;

E = frequência esperada para aquela subárea.

Dessa forma, obtém-se o valor de  $\chi^2$  na Tabela 5. Como o valor de  $\chi^2$  é maior que o valor crítico ( $206,60 > 28,86$ ), rejeita-se a hipótese. O padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

**Tabela 5** – Cálculo de  $\chi^2$

Subárea	Subáreas aglutinadas	O <sub>i</sub>	(O <sub>i</sub> -E)/E
1	1a 8	4	6,412121
2	9 a 14	3	7,881818
3	15	14	0,048485
4	16 e 17	8	2,048485
5	18 a 21	4	6,412121
6	22	14	0,048485
7	23	11	0,366667
8	24	15	0,245455
9	25	4	6,412121
10	26	16	0,593939
11	27	39	50,42727
12	28	47	86,54848
13	29	14	0,048485
14	30	21	4,609091
15	31	7	2,912121
16	32-34	24	8,836364
17	35	3	7,881818
18	36	4	6,412121
19	37	8	2,048485
20	38 a 40	4	6,412121
	S =	264	<b>206,6061</b>

Porém, é possível visualizar no padrão de distribuição da Figura 10 que os movimentos de

massa se distribuem ao longo da área deposicional de sedimentos, em torno do sopé do Pico do Itatiaia. Na região do Pico não foram observados movimentos de massa remotos nem recentes.

Nas elevações maiores a superfície apresenta diversos blocos de rocha que podem ser oriundos de corridas de blocos que só poderiam ser confirmadas com visitas de campo ou sensoriamento de alta resolução multitemporal. Desta forma, os dados aqui analisados tendem a ocorrer nas elevações mais baixas, na região do sopé do Pico do Itatiaia.

### 4.3 Avaliação estatística da distribuição espacial das cicatrizes na litologia e nas geoformas

As unidades de terreno foram distribuídas em cinco classes para análise, onde se levou em consideração: litologia, geoforma, amplitude, altimetria e declividade.

Os dados de litologia foram obtidos no mapa litológico da CPRM. Geoforma, amplitude, altimetria e declividade foram extraídas de Ross e Moroz (1997) e dos dados de campo da CPRM nos estudos geológico geotécnicos para a otimização do traçado do TAV. A Tabela 6 traz o resumo dos valores observados.

**Tabela 6** – Dados de unidades de terreno consolidados ao inventário de cicatrizes.

LITOLOGIAS	Geoformas	Amplitude (m)	Cota (m)	Decliv.	Áreas Lito (km <sup>2</sup> )	Quant. MGM	Área MGM (km <sup>2</sup> )	Soma áreas de MGM (%)	Freq. MGM (%)
Rochas Alcalinas	Escarpas	300	2000	30%	127,68	13	0,39	7,97%	4,50%
Granitóides	Morros	200	1000	25%	15,05	1	0,01	0,14%	0,35%
Granitos	Morros	200	800	25%	17,55	2	0,10	2,12%	0,69%
Gnaisses	Morrotos	100	700	18%	677,21	101	2,04	42,03%	34,95%
Dep. Sed. Aluvionar	Planícies	50	600	5%	7,56	1	0,03	0,69%	0,35%
Dep. Sed. Coluvionar - Tálus	Morrotos	50	600	8%	267,24	171	2,29	47,06%	59,17%
				TOTAL	1112,3	289	4,86	100,00%	100,00%

Os depósitos sedimentares estão divididos em depósito sedimentar coluvionar - tálus e depósito sedimentar aluvionar assinalados pela CPRM

em trabalho de campo. O mapa específico de cicatrizes de MGM sobre a litologia pode ser visualizado na Figura 11.

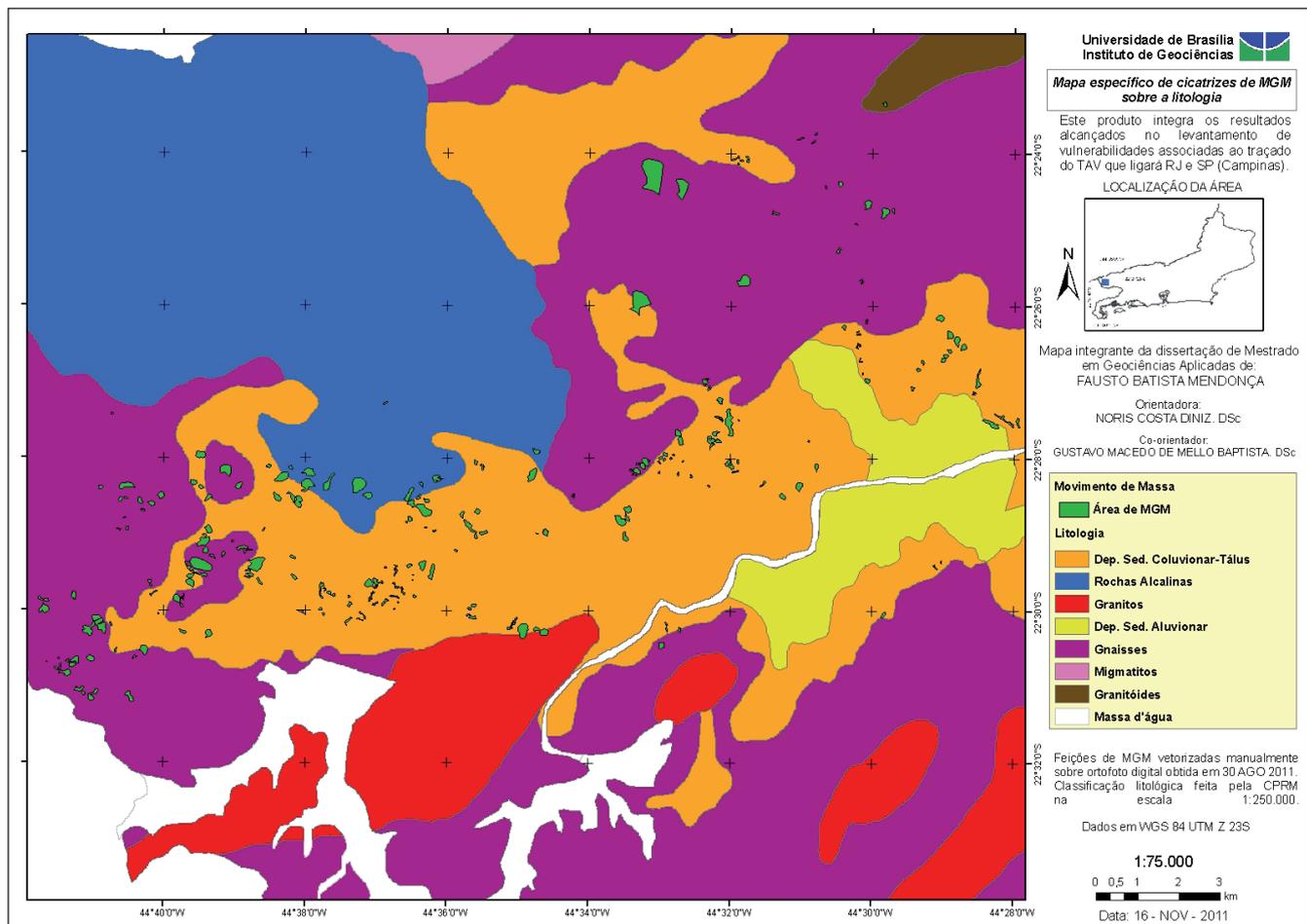


Figura 11 – Mapa de cicatrizes sobre a litologia. O Trecho 4 está compreendido entre os limites laterais da área do mapa

Observa-se que os depósitos sedimentares coluvionares – tálus apresentaram mais de 59% das ocorrências. O gnaiss apresentou 34,95% de todas as ocorrências, ficando com a segunda maior quantidade de incidências. As rochas alcalinas apresentaram 4,50% das ocorrências de MGM, entretanto nas regiões que apresentam esta litologia, acima de 1250 m, não foram detectadas ocorrências de movimentos. Os granitos apresentaram 0,69% do total de áreas e nos granitóides foram registrados apenas 0,35% dos movimentos, assim como nos depósitos sedimentares aluvionares.

A maior quantidade de ocorrências de MGM foi observada nos depósitos sedimentares coluvionar - tálus, 171 casos. Nota-se que nos gnaisses ocorreram 101 casos, porém a área desta litologia é quase três vezes maior que a dos depósitos de tálus.

Observa-se no mapa que mesmo com uma elevada quantidade de ocorrências de MGM nos depósitos sedimentares coluvionar – tálus as

áreas de movimentação são pequenas em relação ao gnaiss. Fica claro, ao verificar nos gráficos, que as áreas de movimentação apresentam diferença de 0,25 km<sup>2</sup> e a quantidade de ocorrências é quase o dobro nos depósitos sedimentares de tálus em relação ao gnaiss. Isso denota que os MGM nos gnaisses apresentam maior movimentação de material do que nos depósitos sedimentares de tálus, apesar de ocorrerem em menor quantidade na região observada.

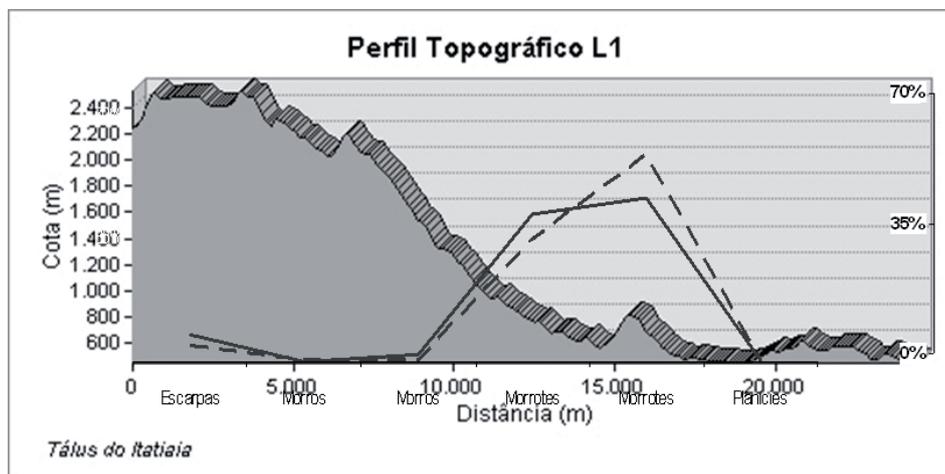
Os depósitos sedimentares aluvionares apresentaram apenas uma incidência. Isso se deve ao fato de estar em uma área muito baixa, praticamente na região mais plana junto ao rio. Os granitos e granitóides tiveram apenas duas e uma ocorrência respectivamente, essas litologias são mais íntegras, apresentando baixa fragilidade a MGM.

As treze ocorrências nas rochas alcalinas estão na transição do material mais íntegro para aquele oriundo de movimentos que vieram a formar o depósito coluvionar – tálus. Os depósitos estão mais

sujeitos a ocorrência de MGM, em função de ser um material mal classificado e heterogêneo.

As regiões de depósitos sedimentares coluvionar – tálus apresentaram maior incidência de MGM em todas as análises apresentadas, sendo

assim, classificados como litologia com maior suscetibilidade aos movimentos. Na Figura 12 é possível observar essa afirmação ao superpor os gráficos de frequência de MGM por geoformas e declividade, no perfil topográfico da área.



**Figura 12** – Superposição das estatísticas de MGM nas geoformas sobre perfil do tálus. A linha tracejada representa a frequência de MGM em função das geoformas e da declividade. A linha cheia representa a soma das áreas movimentadas em função das geoformas e da declividade.

Os depósitos sedimentares coluvionar – tálus apresentaram assim maior suscetibilidade aos movimentos, seguidos dos gnaissees que estão presentes numa boa concentração nas baixas elevações.

Ressalta-se a importância de acompanhar as intervenções de corte e aterro nestas litologias no intuito de evitar ocorrências de novos movimentos de massa que possam comprometer os trabalhos de engenharia.

#### 4.4 Geração do mapa de perigo

A análise sobre a frequência de ocorrência de MGM foi feita ainda para os temas de uso e

cobertura, hipsometria, pedologia e geomorfologia, totalizando junto com litologia cinco temas. As classes dentro dos temas deveriam receber pesos quanto à influência na ocorrência de MGM, para isso foi aplicado o método adotado por Pimentel (2010), onde a razão entre a porcentagem de ocorrência (frequência) e a porcentagem de área movimentada em cada classe forneceu o peso da classe dentro do tema, e entre os temas foram divididos em pesos iguais até completar 100% (Pimentel, 2010).

A Tabela 7 traz a distribuição dos pesos, resultado da operação descrita acima, que foi inserida na ferramenta *Weighted Overlay* do ícone *Toolbox* do *Software ArcGis 9.3*.

**Tabela 7** – Distribuição dos pesos das classes e das feições.

	% Ocorrência	% de área de MGM	Razão	Peso%	Peso ArcGis
<b>LITOLOGIA</b>				<b>20</b>	
Rochas Alcalinas	4,89%	7,97%	0,61335	0,6	2
Granitóides	0,38%	0,14%	2,714288	2,7	7
Granitos	0,75%	2,12%	0,3537	0,4	1
Gnaisses	30,08%	42,03%	0,71568	0,7	2
Depósito Sedimentar	63,91%	47,75%	1,344	1,3	4
<b>HIPSOMETRIA</b>				<b>20</b>	
1750-2650	0,00%	0,00%	NODATA	0	1
1250-1750	0,00%	0,00%	NODATA	0	1
750-1250	2,00%	9,00%	0,222222	0,2	1
500-750	39,00%	51,00%	0,764706	0,8	2
380-500	59,00%	40,00%	1,475	1,5	4
<b>USO E COBERTURA</b>				<b>20</b>	
Pecuária	60,35%	50,72%	1,189866	1,2	3
Floresta Estacional Semidecidual	5,83%	5,72%	1,019231	1,0	2
Floresta Ombrófila Densa	21,87%	33,68%	0,649347	0,7	2
Florestamento / Reflorestamento	0,58%	0,65%	0,892308	0,9	2
Agricultura	0,87%	0,97%	0,896907	0,9	2
Influência Urbana	4,37%	3,64%	1,200549	1,2	3
Savana Florestada	2,62%	1,48%	1,77027	1,8	5
Vegetação Secundária Inicial	3,50%	3,14%	1,11465	1,1	3
<b>GEOMORFOLOGIA</b>				<b>20</b>	
Domínio de Colinas Dissecadas	72,00%	0,11%	654,5455	6,6	9
Domínio Colinoso - Mar de Morros	35,13%	33,04%	1,063257	1,1	3
Tabuleiros	21,15%	16,38%	1,291209	1,3	3
Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais	0,36%	0,15%	2,4	2,4	6
Planícies Aluviais	1,43%	1,22%	1,172131	1,2	3
Maçãos Intrusivos Alcalinos	41,22%	49,09%	0,839682	0,8	2
<b>PEDOLOGIA</b>				<b>20</b>	
Urbano	1,14%	1,48%	0,77027	0,8	2
PVa1	24,43%	36,90%	0,66206	0,7	2
PVa2	27,84%	18,02%	1,54495	1,6	4
PVa5	3,98%	6,47%	0,615147	0,6	1
Ce	0,57%	1,61%	0,354037	0,4	1
LAa2	42,05%	35,51%	1,184173	1,2	3
LVa13	59,09%	92,51%	0,638742	0,6	1
Ca6	9,09%	29,41%	0,309079	0,3	1

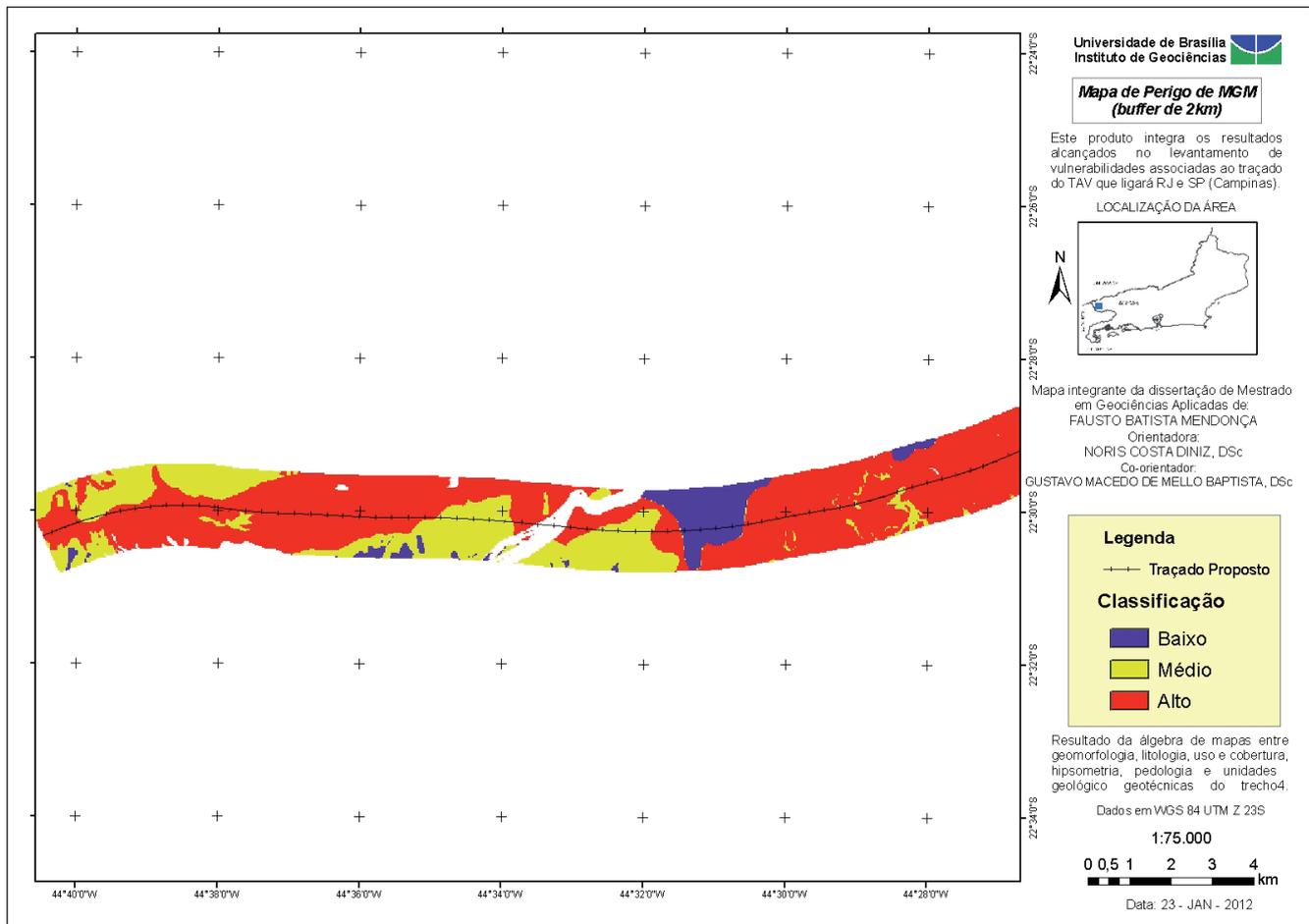


**Tabela 8** – Distribuição dos pesos das classes nas unidades GG.

	% Ocorrência	% de área de MGM	Razão	Peso %	Peso ArcGis
<b>UNID. GG</b>				<b>15</b>	
Tálus	41,18%	28,75%	1,432348	1,4	4
Colúvio e Matacões	10,59%	12,98%	0,815871	0,8	2
Colúvio	42,35%	40,54%	1,044647	1,1	3
Solo Residual	5,88%	17,73%	0,331641	0,3	1
Aluvião	0,00%	0,00%	NODATA	NODATA	1
Colúvio Aluvionar	0,00%	0,00%	NODATA	NODATA	1

O resultado foi o mapa de perigo dentro do *buffer* de 2 km, visto na Figura 14. Da mesma forma que no mapa de perigo da área, nota-se que a área de alta suscetibilidade de ocorrer MGM abrange boa parte do traçado no *buffer* de 2 km.

Em função da área de resposta da operação de álgebra de mapas ser menor, o resultado apresentado pelo *software* ArcGis 9.3 permitiu classificar apenas em três níveis de perigo, diferente do mapa da área que permitiu classificar em cinco níveis.



**Figura 14** – Mapa de perigo resultado da álgebra de mapas com o *buffer* de 2km. O Trecho 4 está compreendido entre as laterais da área do mapa.

#### 4.5 Proposta de mapa de risco

Após uma operação de interseção, *intersect* na ferramenta *Analysis Tools* do ArcGis 9.3, sem

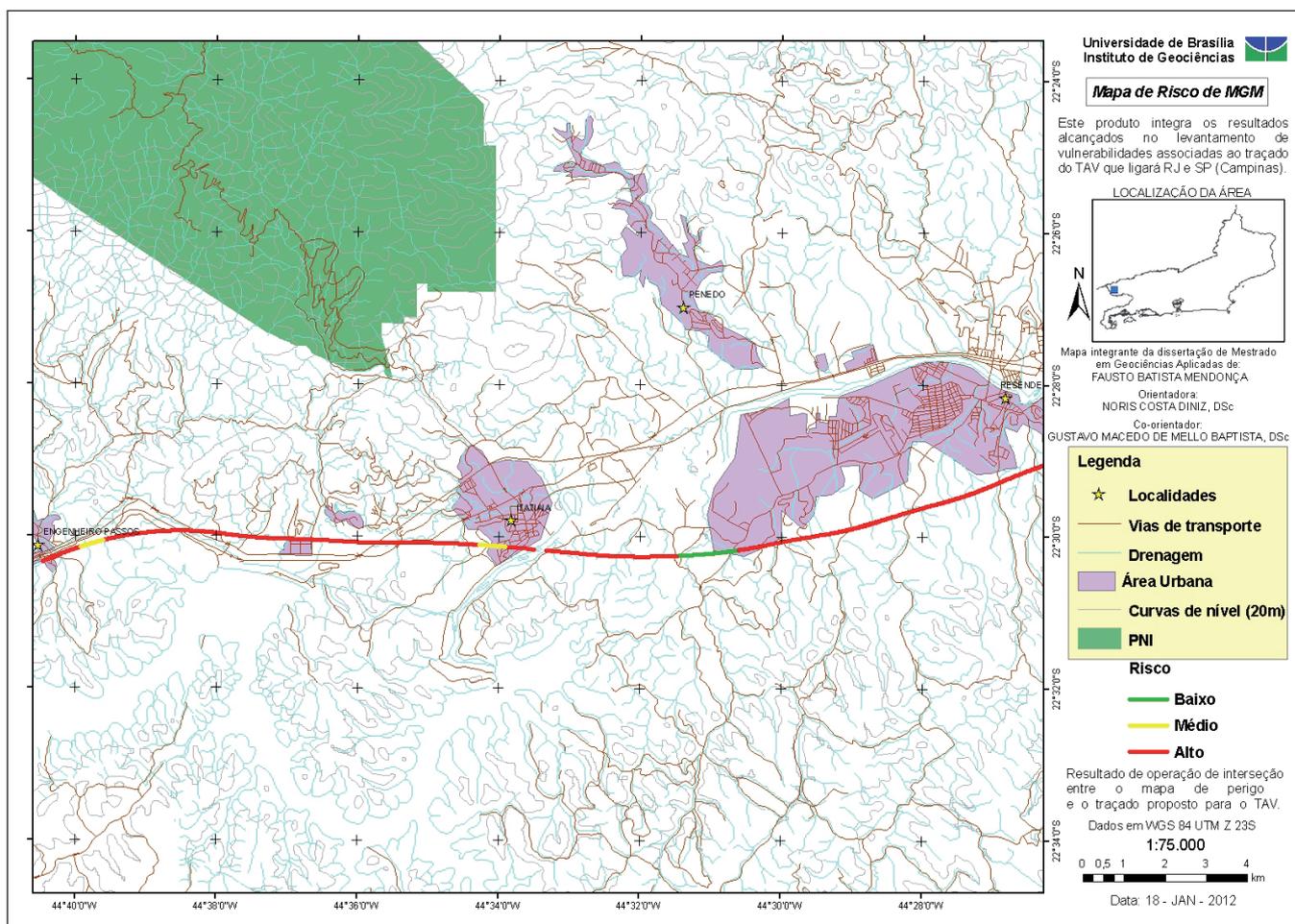
ponderações de pesos, entre o mapa de perigo da área (raster), Figura 13 , e o traçado proposto para o TAV (vetor), foi obtido o mapa de risco a movimento gravitacional de massa no traçado.

Nesta operação de interseção considera-se o perigo de MGM (mapa de perigo) e o elemento em risco (ferrovia). O resultado pode ser vista na Figura 15.

Os elementos ao fundo do traçado, como área do PNI (Parque Nacional do Itatiaia), cidades, curvas de nível, hidrografia e estradas, são apenas para a ilustração da região, pois são vetores que não foram utilizados na álgebra do *software* para a geração do mapa de risco.

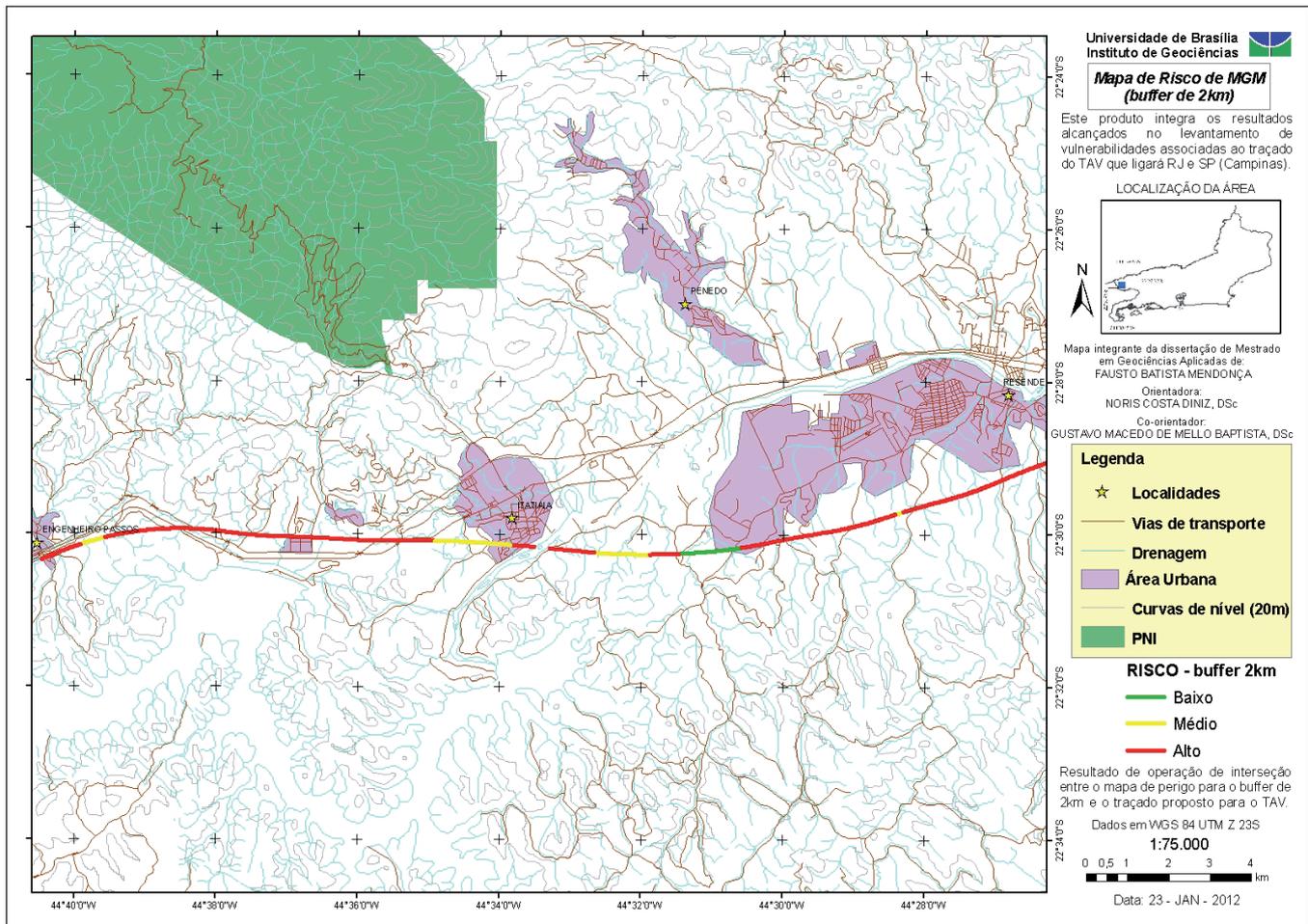
Nota-se que a maior parte do trecho foi classificada como de alto risco a ocorrência de MGM. Junto à cidade de Resende observa-se um trecho com risco baixo, porém na sequência há uma mudança para alto risco. Próximo a Itatiaia e a Engenheiro Passos observam-se dois pequenos trechos de risco médio.

Os resultados desta operação classificaram 33,25 km como risco alto, 2,62 km como risco médio e 1,5 km como risco baixo a MGM.



**Figura 15** – Mapa de risco a MGM no trecho estudado do traçado do TAV. Resultado da operação *intersect* entre o mapa de perigo e o traçado da ferrovia. O Trecho 4 está compreendido entre as laterais da área do mapa.

Efetuuou-se então a mesma operação, porém utilizando o mapa de perigo do *buffer* de 2 km em lugar do mapa de perigo da área. O resultado consta na Figura 16.



**Figura 16** – Mapa de risco a MGM no *buffer* de 2 km do trecho estudado no traçado do TAV. Resultado da operação *intersect* entre o mapa de perigo do *buffer* de 2 km e o traçado da ferrovia. O Trecho 4 está compreendido entre as laterais da área do mapa.

Estes mapas configuram uma proposta de mapa de risco com base na metodologia aplicada. É possível notar diferenças em alguns trechos, por exemplo, junto à cidade de Itatiaia, onde, considerando as unidades geológico-geotécnicas, o trecho de risco médio é maior. Observa-se o surgimento de um trecho de risco médio entre Itatiaia e Resende que no mapa sem as unidades geológico-geotécnicas era de risco alto.

Junto a Resende surge um trecho de risco médio que anteriormente estava classificado como risco alto. Nesta segunda operação a classificação dos trechos ficou com 23,18 km com alto risco de MGM, 6,09 km com risco médio e 1,53 km com baixo risco.

Entretanto, os trechos de risco alto continuam sendo a classificação predominante, no trecho avaliado do traçado proposto, para as duas operações de álgebra de mapas.

Os mapas de risco propostos comprovam que existe risco, pois a probabilidade de ocorrer um MGM que atinja a ferrovia existe; neste caso o elemento vulnerável é a ferrovia que está localizada em uma área suscetível a MGM. O risco é real já na fase de construção da ferrovia, que ocupará a região de suscetibilidade a movimentos de massa com canteiros de obra e operários, ambos configuram elementos em risco. Durante a fase de operação da ferrovia existe o risco para os usuários, uma vez que existe a probabilidade de uma composição estar passando no momento exato da ocorrência de um MGM.

Caso o traçado seja alterado é possível efetuar a operação novamente, obtendo-se uma nova classificação de risco.

## 5 CONCLUSÕES

Ficou claro que existe perigo de ocorrência de movimento gravitacional de massa associado ao corte a ser realizado no depósito de tálus no sopé do Pico do Itatiaia. A presença de diversas áreas de movimentações remotas e recentes são indícios claros de que os terrenos na região estão sujeitos a movimentações.

O levantamento de cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa por meio de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução demonstrou ser um método eficaz, pois permitiu que o mapeamento fosse concluído com alto grau de detalhamento.

No mapeamento das cicatrizes de movimentos ocorridos foi possível visualizar que as áreas de incidência de movimentos se distribuem ao longo da base do depósito de tálus. As áreas que se mostraram mais frágeis foram exatamente as mais próximas e dentro do *buffer* de 2 km que foi estabelecido na definição do traçado. Entretanto, áreas próximas com litologias distintas também apresentaram elevada incidência de movimentos, como as litologias de gnaisses na base das encostas do Pico do Itatiaia.

Constatou-se, como era esperado, que a região apresenta perigo ou suscetibilidade ao surgimento de movimentos gravitacionais de massa, mesmo sem a intervenção de obras de corte nas encostas, trata-se de uma característica natural da região. Essa afirmação foi comprovada por gráficos de ocorrência de MGM nas litologias e geofor-mas da área avaliada.

A realização de cortes no depósito de tálus, desestabilizando a encosta, confere um risco ao TAV por MGM na região classificada como perigosa, que não pode ser desprezado na realização do empreendimento. Os mapas de risco ao TAV, de atingimento por MGM, gerados nesse trabalho apontam boa parte do trecho avaliado como de alto risco. Sendo assim, a região é suscetível e apresenta perigo alto a ocorrência de MGM. A probabilidade da ocorrência de MGM desde a fase de construção, pondo em risco operários e equipamentos, até a fase de operação, pondo em risco os usuários da ferrovia e a própria via, é real, uma vez que a região apresentou alta suscetibilidade a MGM. O mapeamento detalhado do depósito de tálus faz-se necessário para que não haja prejuízos

de vidas e nem econômicos nas benfeitorias existentes e nas futuras.

A metodologia de inventário de cicatrizes para a análise de risco mostrou-se eficiente, pois conseguiu quantificar a existência do risco geológico em forma de gráficos e mapas por meio de fotointerpretação e ferramentas de SIG. Esta metodologia é uma recomendação da JTC-1. Em diversos países há cerca de dez anos, já se vem trabalhando dessa forma, proporcionando maior precisão nas decisões mitigadoras das causas de movimentos gravitacionais de massa ou em medidas preventivas.

Estudos de sedimentologia na região poderiam comprovar a hipótese de formação do corpo do tálus por deslizamentos, sendo assim uma recomendação de trabalhos futuros.

Inventário de cicatrizes sob uma análise multitemporal e por tipologia de movimento configura outra sugestão para trabalhos futuros, que somariam no conhecimento comportamental da dinâmica superficial das massas de solo dessa região.

Análises sobre raio de alcance de deslizamento e de rastejo das massas movimentadas poderiam auxiliar na prevenção de eventos de MGM durante atividades futuras na obra da via do TAV. Recomenda-se que estudos com esse objetivo sejam realizados para proporcionar maior segurança para o empreendimento.

A metodologia aplicada no trecho 4 poderia ser considerada para os outros trechos, auxiliando os executores do projeto nas fases de estudo e planejamento. Claro que as particularidades de cada trecho demandariam outras informações que não foram consideradas aqui, como por exemplo, a presença de dutos enterrados, o comportamento da água subterrânea, o comportamento geotécnico sob regime de chuvas intensas e prolongadas, entre outras.

As oportunidades que uma obra desta monta traz para o desenvolvimento de metodologias e técnicas de análise são palpáveis e não podem ser desprezadas. Pelo fato desta obra ser a primeira no Brasil, utilizando um veículo moderno de transporte de massa, os aprendizados associados a sua execução podem trazer ganhos elevados de conhecimento a diversas áreas, como geologia, engenharias, geotecnia em especial, sensoriamento remoto, ciências ambientais, gestão e monitoramento de risco, entre outras.

## REFERÊNCIAS

- Almeida F. F. M. de., Carneiro C. D. R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Rev. Brasileira de Geociências*. Vol. 28, 2:135-150.
- Ardizzone F., Cardinali M., Carrara A., Guzzetti F., Reichenbach P. 2002. Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Rev. Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2:3-14.
- Assis A. P., Diniz N. C., Azevedo A., Pfaltzgraf P., Shinzato E. 2009. Modelos geológico-geomecânicos e seus riscos associados ao longo do traçado do TAV – Etapa III. 54p.
- Augusto Filho O. 2001. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 196p.
- Braz P. S., Riedel P. S. 2011. Análise entre condicionantes geológicos estruturais rupteis, geográficos e as cicatrizes de escorregamentos nos entornos de Cubatão – SP. In: 13° CBGE. 13° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais, 9p. CD.
- Câmara G. 1995. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. Tese de Doutorado. INPE, São José dos Campos, 252p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/>>. Acessado em: 23 dez 2011.
- Cardinali M., Reichenbach P., Guzzetti F., Ardizzone F., Antonini G., Galli., Cacciano M., Castellani M., Salvati P. 2002. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Rev. Natural Hazards and Earth System Science*. 2:57-72.
- Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P. 1999. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Rev. Natural Hazards*. 20:117-135.
- Copons R., Vilaplana J. M. 2008. Rockfall susceptibility zoning at a large scale: from geomorphological inventory to preliminary land use planning. *Rev. Engineering Geology*, 102:142-151.
- Corominas J., Fell R., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Rev. Engineering Geology*, 102: 85-98.
- Coronado J. A. 2006. Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos por meio do uso de sistemas de informações geográficas: aplicação em uma área do Eixo Cafeteiro Colombiano. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 92 p.
- Fernandes N. F., Amaral C. P. 1996. Movimento de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: A. J. T. Guerra & S. B. da Cunha (eds.) Geomorfologia e meio ambiente, 3, BCD União de editoras S.A., p.: 123-186.
- Florenzano T. G. (Org.) 2008. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Teresa Gallotti Florenzano, São Paulo, Oficina de Textos, 318 pp.
- Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P. 1994. The AVI project: a bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. *Rev. Environmental Management*. 18:623-633.
- Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Ardizzone F., Galli M. 2003. The impact of landslides in the Umbria region, Central Italy. *Rev. Natural Hazards and Earth System Science*. 3:469-486.
- Guzzetti F., Tonelli G. 2004. Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Rev. Natural Hazards and Earth System Sciences*. 4:213-232.
- Hines W. W., Montgomery D. C., Goldsman D. M., Borrer C. M. 2006. Probabilidade e estatística na engenharia. Tradução da quarta edição por Vera Regina Lima de Farias e Flores; revisão técnica Ana Maria Lima de Farias Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 588 pp.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Fundamentos de geoprocessamento: teórica. 2007. Apostila do Curso de Fundamentos de Geoprocessamento, São José dos Campos, SP.
- Irigaray C., Chacón J. 2003. Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. In: F. J. Ayala-Carcedo & J. Corominas (eds.)

- Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG, 2, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p.: 21-36.
- JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engeneering Slopes. 2008. Guidelines for landslides susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. *Rev. Engeneering Geology*. **103**: 85-98.
- Mendonça F. B., Diniz N. C., Baptista G. M. M. 2011. 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. In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais, p. 7478-7485.
- Montgomery D. C., Runger G. C. 2003. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Tradução da segunda edição por Verônica Calado, Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 462 pp.
- Nunes H. L., Calbete N. O. 2000. Variabilidade pluviométrica no Vale do Paraíba paulista. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-cfc9695191732667cea358c24ec28827.PDF>>. Acessado em 23 mar 2011.
- Pimentel J. 2010. Projeto áreas de risco na região de Angra dos Reis, RJ: modelagem espacial de dados em SIG para a geração de mapa previsional de áreas de risco geológico – Rio de Janeiro – CPRM – Serviço Geológico do Brasil e KIGAM – Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources. 113p.
- Ross J. L. S., Moroz I. C. 1997. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo – Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia – FFLCH – USP / Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT / FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – Mapas e Relatórios – São Paulo. Escala 1:500.000.
- Silva A. B. 1999. Sistema de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Editora da UNICAMP, Campinas – SP, 236 pp.
- Silva J. U. L., Leite W. C. A. 2000. Distribuição do coeficiente de variação da pluviosidade na região “oriental” paulista – Brasil. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, p.1-8. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-060.pdf>>. Acessado em: 23 mar 2011
- Tominaga L. K. 2009. Escorregamentos. In: L. K. Tominaga, J. Santoro & R. Do Amaral (eds.) Desastres Naturais: conhecer para prevenir, 2, Instituto Geológico, São Paulo, p.: 25-38.
- van Westen C. J., Castellanos E., Kuriakose S. L. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Rev.Engineering Geology.*, **102**:112-131.
- Vargas M. 1999. Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos da serra do Mar. *Rev. Solos e Rochas*. 1:53-83.
- Varnes D. J. 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, Paris, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, p.: 10-26.
- Vedovello R. 2009. Resgate histórico da atuação do Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais. In: M. M. N. Pressinotti & R. do Amaral (eds.) O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais, 1, Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo, p.: 1-7.
- Vilaplana J. M., Pallás R., Guinau M., Falgás E., Alemany X., Muñoz A. 2002. Propuesta para una cartografía de peligrosidad geológica asociada a los movimientos de ladera en el noroeste de Nicaragua. *Rev. Serie Geográfica.*, **10**:109-119
- Wolle C. M., Carvalho C. S. 1989. Deslizamentos em encostas na serra do Mar - Brasil. *Rev. Solos e Rochas*. V 12, nº único:27-36.
- Wolle C. M., Carvalho C. S. 1994. Taludes naturais. In: F. F. Falconi, A. Negro Jr. (eds.) Solos do litoral de São Paulo, Mesa Redonda, ABMS, São Paulo, p.: 179-203.
- Zuquette L. V., Ahrendt A. 2003. Triggering Factors os Landslides in Campos do Jordão City, Brazil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **62**:231-244.