



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ESCALA CARTOGRÁFICA NO RESULTADO DE UM MODELO DE PREVISÃO DE ÁREAS CRÍTICAS A DESLIZAMENTOS

Roberto Arnaldo Trancoso Gomes¹, Renato Fontes Guimarães², Osmar Abílio de Carvalho Júnior² e Nelson Ferreira Fernandes¹

¹ Depto de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
End.: Av. Brigadeiro Trompovski, s/n, Prédio do CCMN, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro.

² Depto de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília.

End.: Prédio do ICC, Ala Norte, Asa Norte, Brasília.

Email: ratgomes@ig.com.br

RESUMO

O uso de metodologias que consigam definir com precisão áreas críticas a deslizamentos vem crescendo muito nos últimos anos. Entretanto, estas metodologias se utilizam de dados topográficos digitais e de detalhe, que no Brasil são bastante escassos. Desta forma, o objetivo deste trabalho é verificar a influência da escala cartográfica na análise de parâmetros geomorfológicos (declividade e área de contribuição) e na previsão de áreas críticas a deslizamentos a partir do modelo SHALSTAB. A área de estudo foi a vertente Sul do Maciço da Tijuca, nas bacias que cortam as estradas Dona Castorina e Vista Chinesa. Foi feita uma análise de frequência dos parâmetros geomorfológicos nas diferentes escalas e uma análise qualitativa do resultado do modelo. Foi verificado que o parâmetro área de contribuição é muito susceptível a variação da escala e que a variação dos parâmetros geomorfológicos tem grande influência no resultado do modelo de previsão.

INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos naturais que modelam o relevo e dentre eles os escorregamentos vêm obtendo grande atenção da comunidade científica e autoridades porque estes fenômenos causam grandes prejuízos e também muitas perdas de vidas humanas. Nas cidades estes assumem, em geral, proporções catastróficas, uma vez que são feitas diversas modificações na paisagem natural através de diferentes ações antrópicas, gerando novas relações com os fatores naturais para a detonação dos deslizamentos (Silva Filho, 1992; Montgomery, 1994; Larsen & Torres-Sánchez, 1998; entre outros). A ação antrópica na paisagem, sem um estudo prévio e um posterior planejamento, contribui para a ocorrência dos deslizamentos. Um exemplo disso é a construção de estradas, que são importantes ações antrópicas que modificam as condições naturais da paisagem em que estão inseridas, através da alteração do padrão de drenagem



da área, de cortes na encosta, entre outros, favorecendo a ocorrência dos deslizamentos, principalmente nas estações chuvosas.

Muitas têm sido as metodologias desenvolvidas para a predição dos movimentos de massa como, por exemplo, as baseadas em inventários de deslizamentos, em que a sua distribuição no campo sugere futuros padrões de instabilidade no relevo (Wieczorek, 1984; Amaral, 1996; entre outros), ou aquelas baseadas em análises estatísticas de correlação entre as áreas deslizadas e certos atributos morfológicos e uso do solo (Carrara *et al.*, 1991; Gao, 1993; Larsen & Torres-Sánchez, 1998; entre outros). Outras metodologias confeccionam mapas de risco a partir da combinação de diversos tipos de planos de informação (por exemplo, geologia, vegetação, uso do solo, declividade) em que, são dados “pesos” e/ou “notas” para cada atributo (plano de informação), identificando o seu grau de importância para o deslizamento (Seeley & West, 1990; Xavier da Silva *et al.*, 1996; entre outros).

A utilização de modelos matemáticos integrados a um Sistema de Informação Geográfico (SIG) torna-se essencial, uma vez que o SIG possibilita trabalhar as variáveis espacialmente e em diferentes escalas, ou seja, em vez de se trabalhar em uma só encosta, pode-se trabalhar em diversas encostas ao mesmo tempo, tratando os resultados de forma espacializada (Wu & Sidle, 1995; Christofolletti, 1999). Alguns modelos matemáticos desenvolvidos para a previsão de deslizamentos são baseados em processos hidrológicos e mecânicos, seguindo as leis inerentes da natureza, para definir as áreas susceptíveis aos deslizamentos. Dentre eles destaca-se o modelo SHALSTAB desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994), que combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encosta para definir as zonas susceptíveis a escorregamentos. Os bons resultados que estes modelos apresentam estão relacionados com suas características de não delegar às técnicas de SIG o poder de decisão das áreas mais susceptíveis a ocorrência dos deslizamentos, mas sim, aos processos naturais vinculados ao fenômeno estudado, diminuindo assim a subjetividade da metodologia.

Diversos trabalhos demonstram a importância do conhecimento dos parâmetros morfológicos para a identificação das áreas mais propícias a escorregamentos (Carrara *et al.*, 1991; Gao, 1993; Guimarães *et al.*, 1998; Larsen & Torres-Sanchez, 1998; Guimarães, 2000; entre outros), além destes parâmetros influenciarem nos resultados obtidos nos modelos de previsão, como destacado anteriormente e verificado por Zhang & Montgomery (1994) e Gomes (2002). Entretanto, a obtenção destes parâmetros (declividade, área de contribuição, aspecto, elevação e forma do relevo) necessita de



modelos digitais de terreno (MDT) os quais, em sua maioria são obtidos a partir de cartas topográficas. O problema é que no Brasil, há falta de um mapeamento de detalhe (como por exemplo, escala 1:10.000) o que, dificulta a elaboração de trabalhos com escorregamentos pois estes normalmente iniciam em áreas pontuais e depois se propagam para grandes extensões através de suas corridas.

Dentro deste contexto, a realização de uma análise do comportamento dos parâmetros morfológicos e dos resultados provenientes de modelos de previsão de escorregamentos em diferentes escalas cartográficas torna-se fundamental. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a influência dos parâmetros morfológicos (declividade e área de contribuição) bem como o desempenho do modelo SHALSTAB em diferentes escalas cartográficas.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na vertente sul do Maciço da Tijuca, nas bacias cortadas pelas estradas Vista Chinesa e Dona Castorina abrangendo uma área de aproximadamente 35 km² (Figura 1). Esta área situa-se em ambiente florestado, onde anteriormente foram desenvolvidos alguns estudos demonstrando a influência da estrada nos deslizamentos de 1988 (Silva Filho, 1992) e a dinâmica hidrológica e erosiva das encostas (Silva Filho, 1992; Rocha Leão, 1997; entre outros). De acordo com Silva Filho (1992), os escorregamentos ocorridos ao longo das encostas nestes locais, tiveram influência direta das estradas.

Vários trabalhos demonstram que o processo de ocupação desordenada que vem ocorrendo no Rio de Janeiro e atinge o Maciço da Tijuca, deixa a floresta mais vulnerável a diversos processos erosivos (Oliveira, 1987; Fernandes, 1998; Menezes, 2000).

METODOLOGIA

Geração do MDT

Para a análise da escala cartográfica dos parâmetros morfológicos e dos resultados provenientes do modelo SHALSTAB, foram escolhidas as cartas na escala de 1:10.000 e 1:50.000.

Como o menor detalhe que se pode representar em um mapa é 0,2 mm, foi possível a elaboração do MDT com resolução de 2 metros para a escala de 1:10.000 e de 10 metros para a escala de 1:50.000. As cartas digitais foram fornecidas pelo Instituto Pereira Passos e pelo laboratório de cartografia do departamento da UFRJ. A geração do MDT foi feita através do módulo *TOPOGRID*, do software *ARCINFO* (Esri, 1993), o qual foi desenvolvido para criar um modelo topográfico digital voltado para a hidrologia e que, de



acordo com Guimarães (2000) e Gomes *et al.* (2002), em estudos comparativos entre diversas metodologias para geração de MDT, apresentou o melhor resultado.

Análise dos Parâmetros Geomorfológicos e Identificação das Áreas Críticas a Deslizamentos

A análise da frequência de cada classe na área de estudo foi elaborada a partir de um percentual derivado da razão entre o número de células de cada classe do parâmetro analisado (CELCLAS) e o número total de células da área estudada (CELTOT) (equação 1).

$$Freq = \frac{CELCLAS}{CELTOT} \quad (1)$$

Modelo SHALSTAB

O modelo SHALSTAB (*Shallow Stability*) combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encosta, dentro de um ambiente SIG. O modelo de estabilidade de encosta é baseado na teoria do Talude Infinito, proveniente de Mohr-Coulomb, que define a tensão tangencial, no momento da ruptura (Carson & Kirkby, 1972). Já o modelo hidrológico utilizado pelo modelo de predição está baseado no modelo desenvolvido por O'Loughlin (1986) para estimar o nível de umidade do solo no relevo a partir dos fluxos a montante do ponto considerado, do ângulo da encosta e da transmissividade do solo. Este modelo considera que o fluxo infiltra até um plano de mais baixa condutividade, seguindo posteriormente um caminho determinado pela topografia. Deste modo, a condição de saturação do solo, em estado de equilíbrio, pode ser definida por um índice de umidade.

De acordo com Montgomery & Dietrich (1994), tanto o modelo hidrológico quanto o modelo de estabilidade de encosta podem ser desenvolvidos em função da razão da altura da coluna d'água pela espessura do solo para que seja possível a combinação entre os modelos.



Cidade do Rio de Janeiro

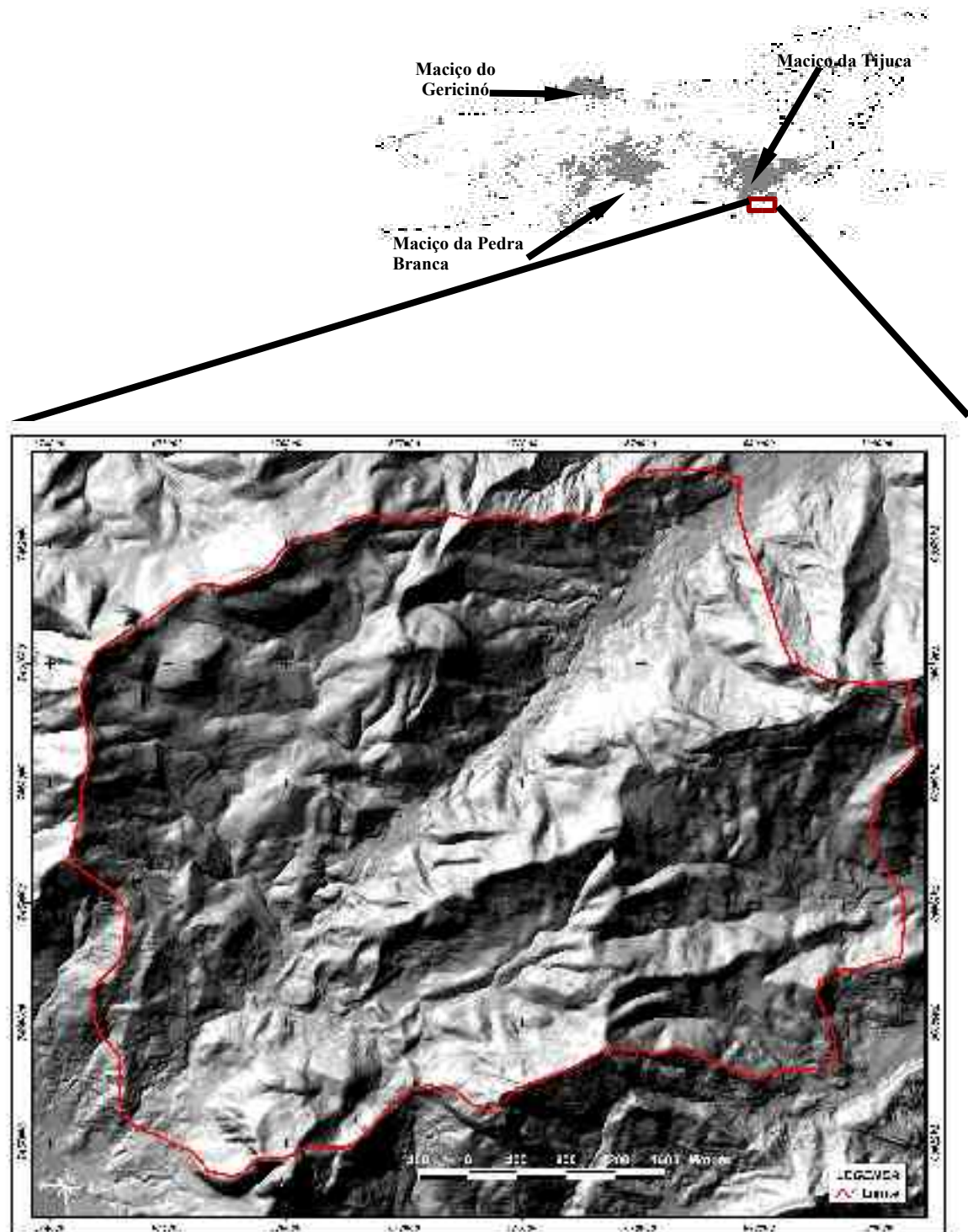


Figura 1- Localização da área de estudo e relevo sombreado de parte do maciço da Tijuca.



Deste modo, o resultado da combinação destes dois modelos resulta numa equação definida pela razão da quantidade de chuva pela transmissividade do solo que determina o grau de susceptibilidade a escorregamentos de uma área, conforme pode ser verificado pela seguinte equação:

$$\frac{Q}{T} = \frac{\text{sen } \theta}{(a/b)} \left(\left(\frac{C'}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi} \right) + \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right) \quad (2)$$

onde: Q é a chuva, T é a transmissividade, θ é a declividade, a é a área de contribuição, b lado do pixel, C' é a coesão do solo, ϕ é o ângulo de atrito, ρ_s é o peso específico do solo, g a aceleração da gravidade, z a espessura vertical do solo e ρ_w o peso específico da água.

Para este trabalho optou-se pela utilização de um modelo simplificado que não considera a coesão dos solos (Equação 3). Apesar desta limitação, Guimarães *et al.* (2003) efetuaram vários testes constatando que este modelo, produz bons resultados.

$$\frac{Q}{T} = \frac{\text{sen } \theta}{(a/b)} \left(\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right) \quad (3)$$

Os parâmetros geomorfológicos (declividade e área de contribuição) utilizados no modelo foram obtidos diretamente do MDT. Os parâmetros do solo, ângulo de atrito interno (ϕ) e densidade (ρ_s) foram utilizados de trabalhos preexistentes em regiões com características semelhantes. Desta forma, foram utilizados valores de 45° para o ângulo de atrito e de $2,0 \text{ g/cm}^3$ para a densidade do solo. Estes valores foram retirados de bibliografia em áreas similares com as estudadas (Costa Nunes, 1969 e De Ploey e Cruz, 1979).

RESULTADOS

Com relação à distribuição das classes de declividade verifica-se que tanto para a escala de 1:10.000 e 1:50.000, há uma concentração entre as classes de 11° a 40° , entretanto, na escala de 1:50.000 esta concentração é maior chegando a 82% da distribuição das classes na área de estudo (Figura 2). Verifica-se também que nesta escala a maior classe de declividade é a de $61-70^\circ$ enquanto, que a escala de 1:10.000 atinge a classe de $71-80^\circ$, conforme pode ser verificado nos mapas da figura 3. Tanto para a escala de 1:10.000 como para a escala de 1:50.000, nota-se uma queda brusca da frequência das classes acima de 30° entretanto, esta queda é mais acentuada na escala de 1:50.000 demonstrando uma tendência a suavização da área devido ao tamanho do *grid* da célula.



Isto também pode ser verificado nos mapas da figura 3 em que, a frequência das classes de maior declividade pouco aparecem no mapa de declividade na escala de 1:50.000.

Verifica-se no gráfico da figura 2 que ocorre uma inversão do cenário entre as escalas de análise em que, esta inversão ocorre no limite da classe 21-30° e 31-40°. Inicialmente as classes de menor declividade na escala de 1:50.000 eram superestimadas em relação a escala de 1:10.000 entretanto, nas classes de maior declividade esta situação se inverte passando a ser subestimada.

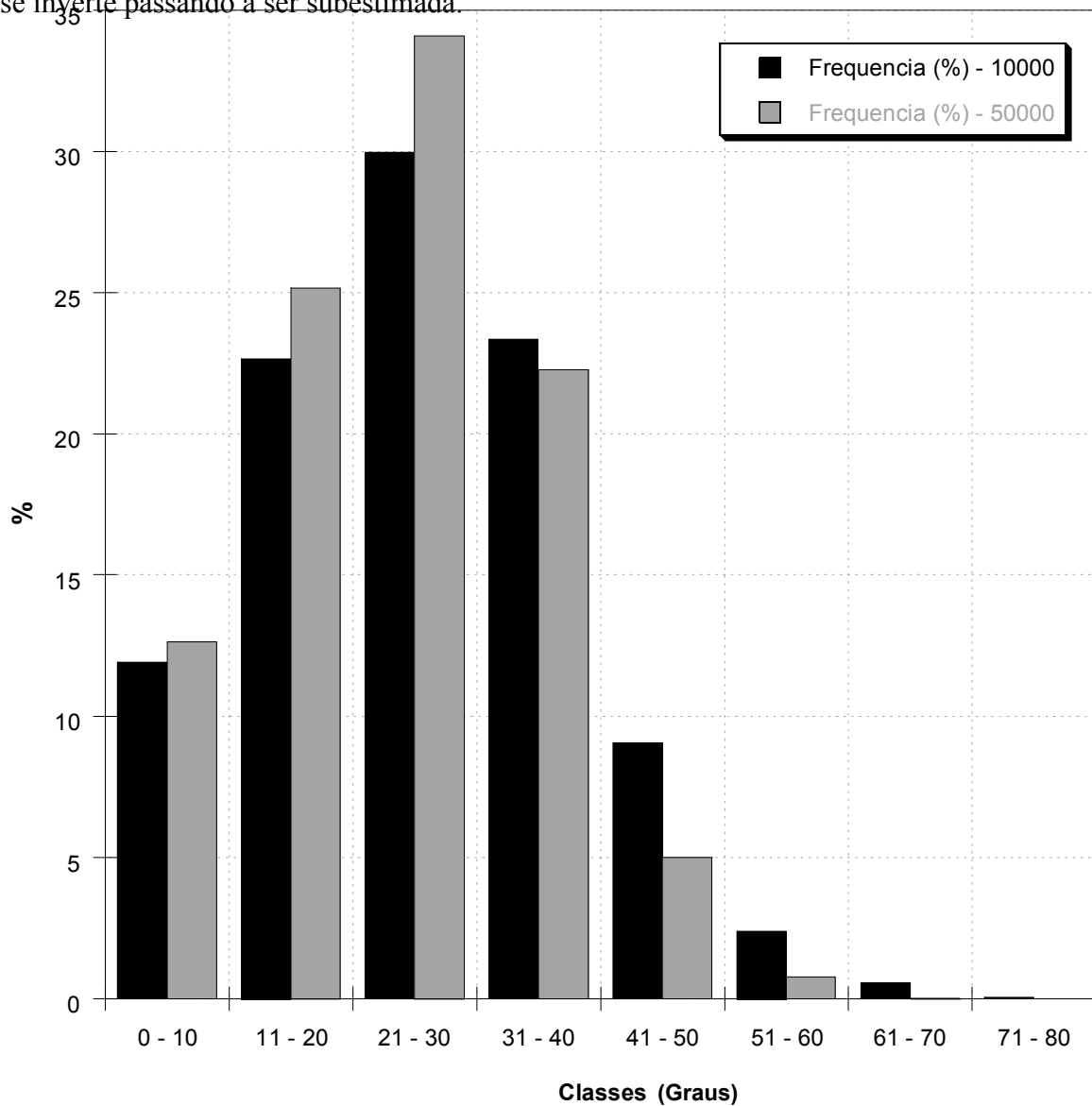


Figura 2- Frequência das classes de declividade da área de estudo. Apesar de não ser possível visualizar o percentual na classe de 71-80°, esta classe apresenta uma frequência na escala de 1:10.000.

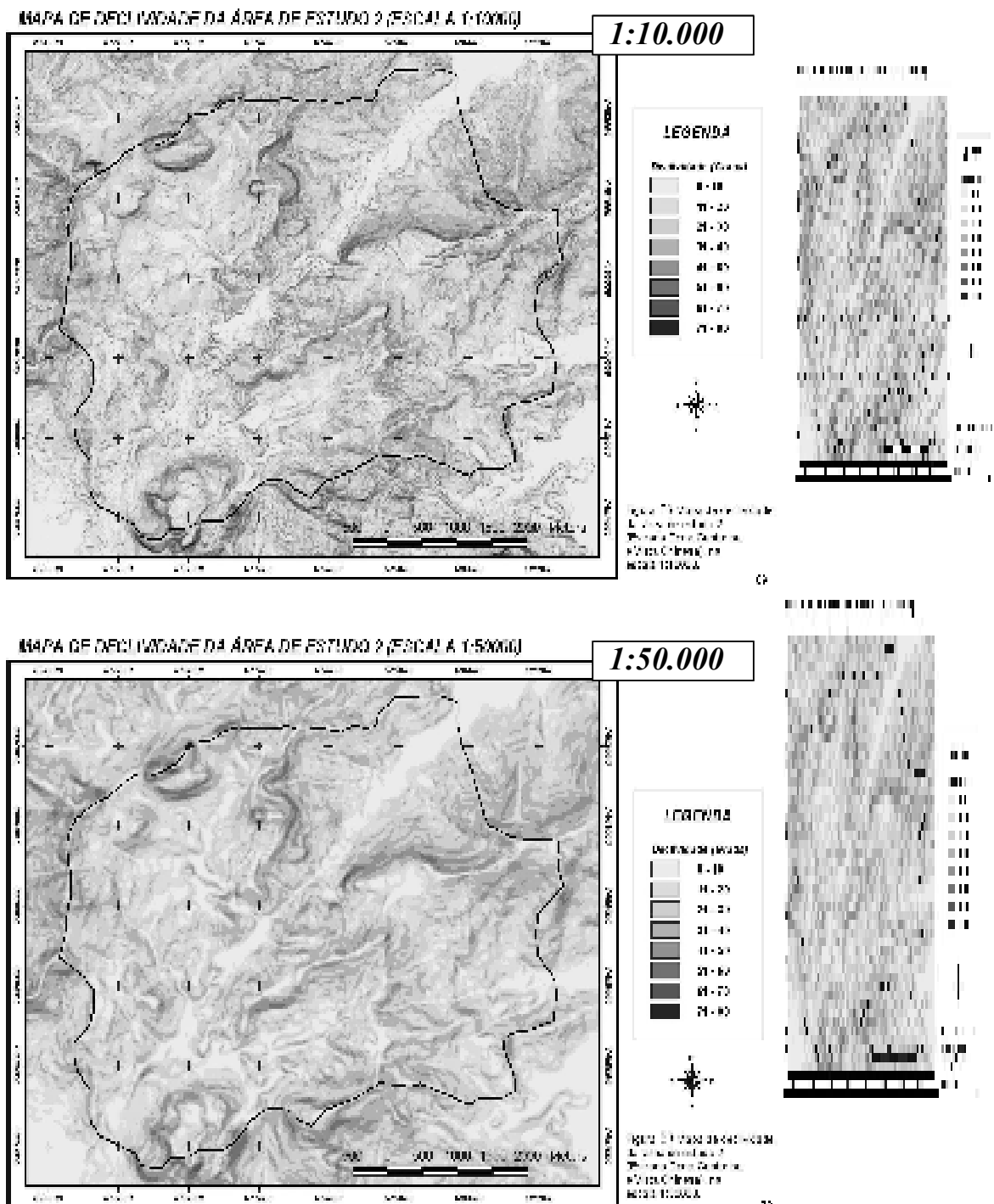


Figura 3- mapas de delimitação na escala de 1:10.000 (mapa superior) e na escala de 1:50.000 (mapa inferior).

Com relação à área de contribuição, verifica-se para a escala de 1:10.000 que a classe de maior frequência é a de 50-100 *pixels* (com 27%) havendo uma diminuição gradativa com o aumento do valor das classes de área de contribuição (Figura 4). Nota-se também que, as classes de menor área de contribuição, nesta escala de análise, abrangem



praticamente 60% da frequência da área enquanto, que para a escala de 1:50.000 estas classes não atingem 40% da área. Verifica-se que na escala de 1:50.000, a classe de maior frequência é a de 100-200 *pixels*, com cerca de 27% de frequência chegando a 4% de frequência na última classe, acima de 4.000 *pixels* (Figura 4).

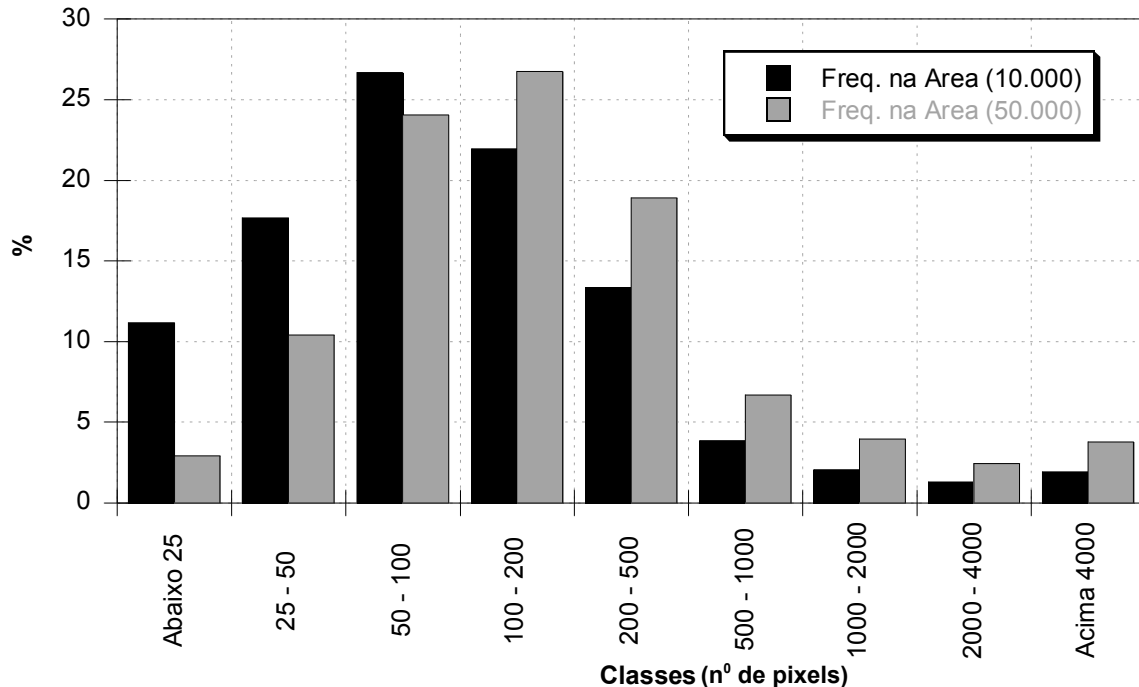


Figura 4- Distribuição das classes de área de contribuição na área de estudo, nas duas escalas de análise. Nota-se que a frequência das classes, para ambas as escalas, concentra-se basicamente até 500 *pixels*.

Verifica-se também que classes até 100 *pixels*, na escala de 1:50.000, apresentam um percentual de subestimação em relação a escala de 1:10.000. Isto ocorre devido ao fato destas classes estarem concentradas em pequenas áreas de contribuição o que não é representado na escala de 1:50.000 devido ao tamanho maior da célula do *grid*.

Isso pode ser observado na primeira classe de área de contribuição (Abaixo de 25) em que, na escala de 1:10.000, apresenta um percentual de frequência de 11% enquanto que, para a escala de 1:50.000, esta frequência cai para 3%, ou seja, há uma queda de quase três vezes do valor da frequência entre as escalas de análise. Entretanto, nota-se uma inversão do cenário inicial a partir das classes acima de 100 *pixels* em que, estas classes de maior área de contribuição são superestimadas em relação à escala de 1:10.000. A figura 5 mostra os mapas de área de contribuição elaborados nas duas escalas em que é possível observar a falta de detalhamento das pequenas áreas de contribuição para a escala de 1:50.000.



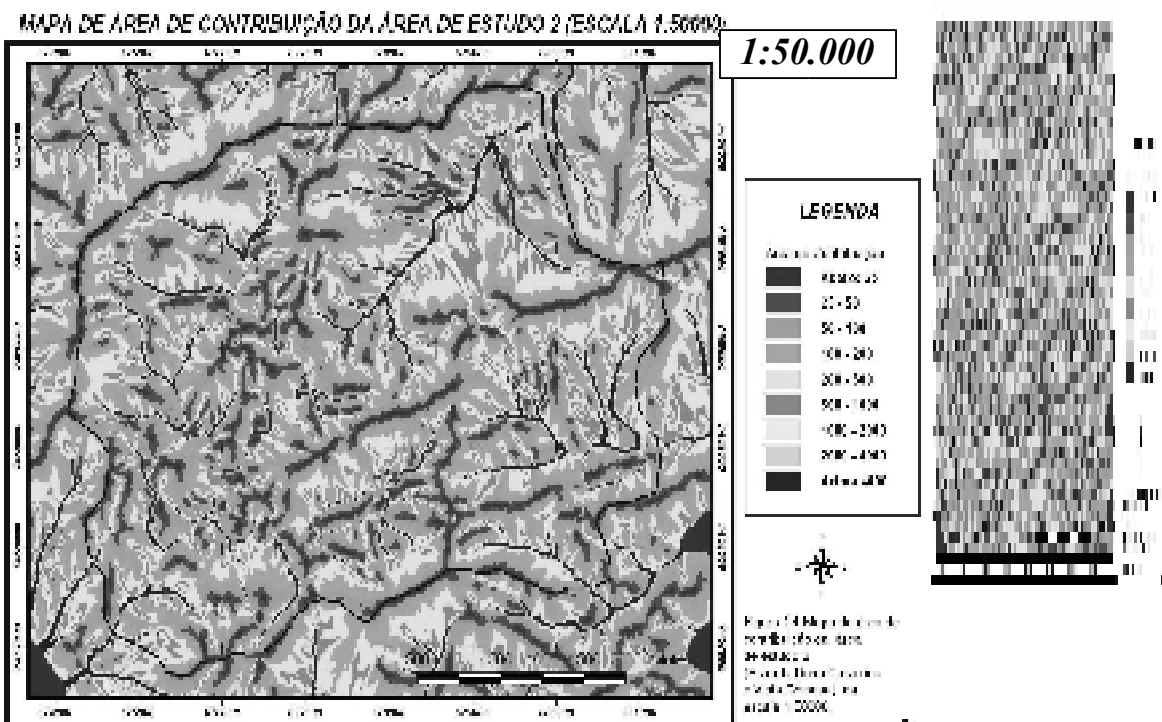
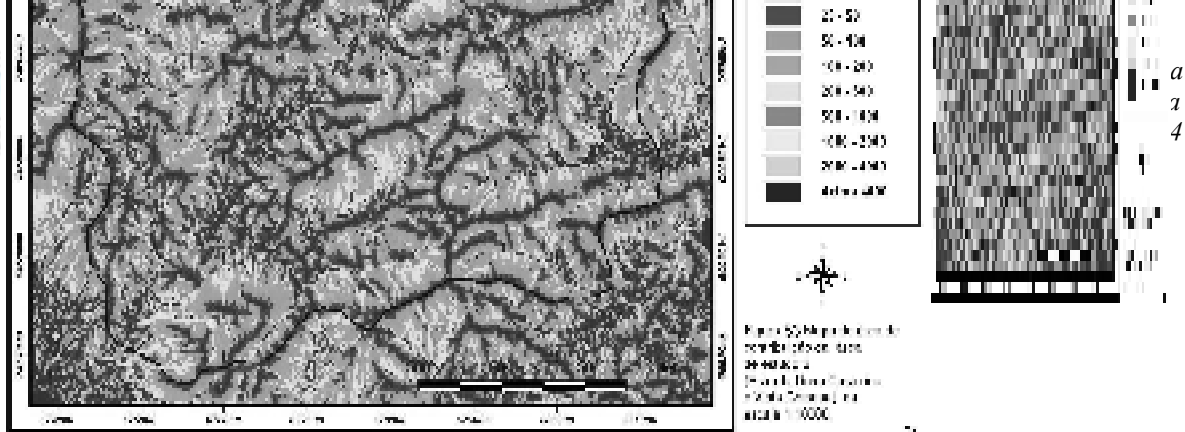


Figura 5- Mapas de área de contribuição na escala de 1:10.000 (mapa superior) e na escala de 1:50.000 (mapa inferior).

Com relação à distribuição das classes de susceptibilidade a escorregamentos verifica-se que a classe Estável é a que apresenta a maior frequência na área, tanto para a escala de 1:10.000 (que apresenta cerca de 52% de frequência) quanto para a escala de 1:50.000 (que apresenta quase 60% de frequência na área), conforme podemos verificar na figura 6. Verifica-se também que para a classe Instável, na escala de 1:50.000, há uma diminuição



grande de sua freqüência apresentando somente 2% de freqüência enquanto que para a escala de 1:10.000, este valor triplica. Ao analisarmos os mapas verifica-se que a classe estável se sobressai muito mais na escala de 1:50.000 do que na escala de 1:10.000 (Figura 7).

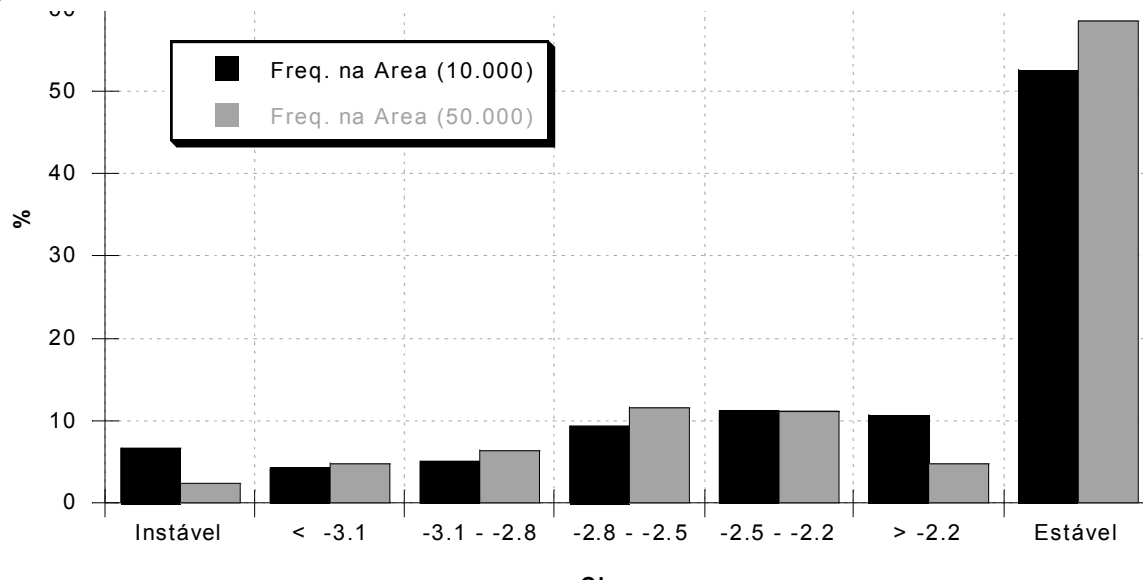
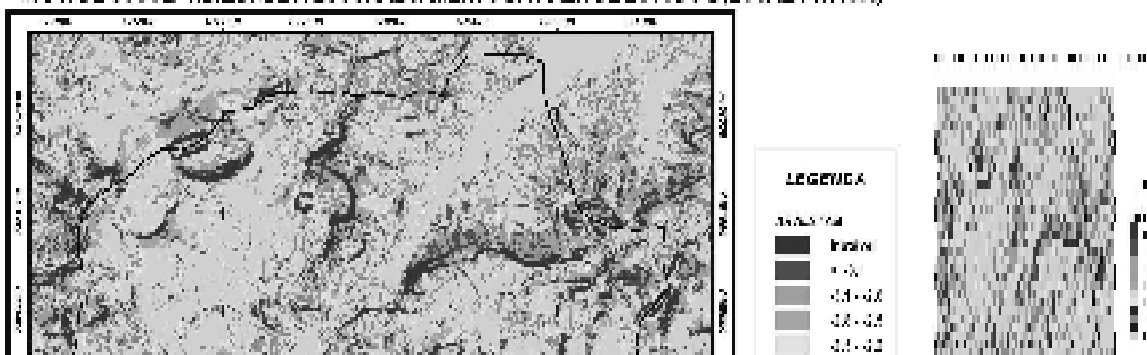
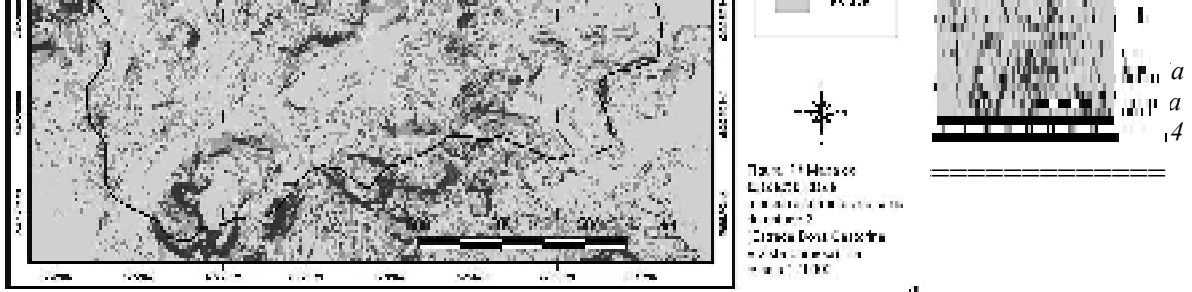


Figura 6- Freqüência das classes de susceptibilidade a escorregamentos na área de estudo 2. Nota-se que a classe de maior freqüência na área é a Estável para as duas classes de análise.

Foi feita uma análise qualitativa do modelo a partir de alguns pontos selecionados em campo que demonstraram ser áreas correspondentes a antigos e/ou recentes escorregamentos. A localização destes pontos foi feita através de *GPS* e posteriormente, plotados nos mapas de susceptibilidade a escorregamento, tanto para a escala de 1:10.000 quanto para a escala de 1:50.000 (Figura 8). Verifica-se para as duas escalas de análise que a resposta do modelo foi diferente em que, as áreas estáveis aumentaram na escala de 1:50.000. Observa-se também que alguns pontos na escala de 1:10.000 posicionam-se dentro das classes instáveis, ao passo que na escala de 1:50.000 posicionam-se em classes estáveis.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO 2 (ESCALA 1:10000)





MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO 2 (ESCALA 1:50.000)

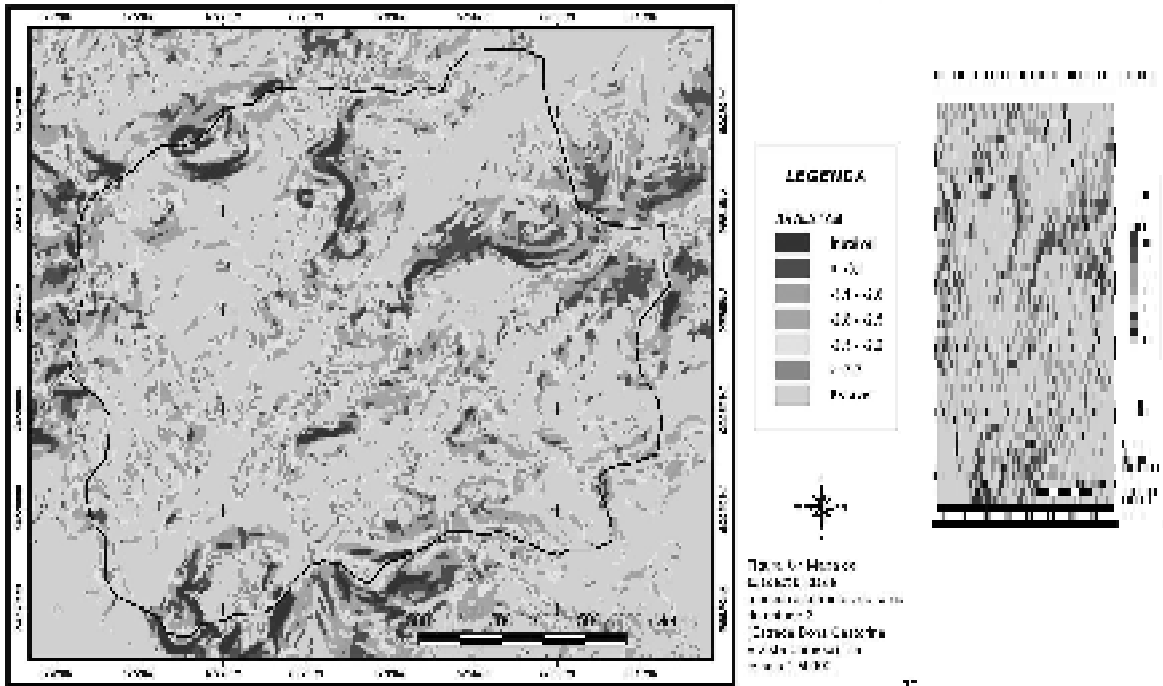
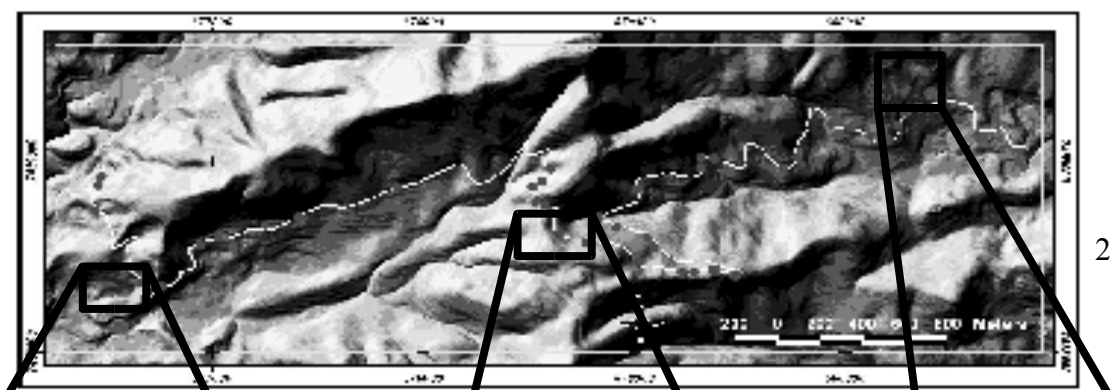


Figura 7- Mapas de susceptibilidade a escorregamentos na escala de 1:10.000 (mapa superior) e na escala de 1:50.000 (mapa inferior).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada nas duas escalas cartográficas de análise (1:10.000 e 1:50.000) permitiu evidenciar os diferentes comportamentos dos parâmetros geomorfológicos (declividade e área de contribuição), bem como o desempenho do modelo SHALSTAB.



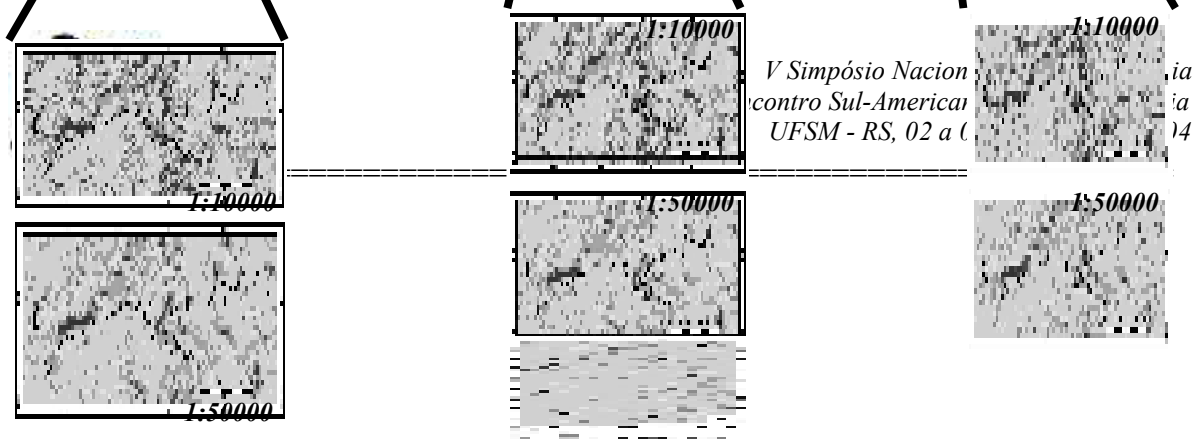


Figura 8- Detalhe do resultado do modelo nas duas escalas de análise.

Observou-se que as áreas de declividade em escalas de 1:50.000 tendem a aumentar o seu percentual na área e diminuir a sua frequência em altas declividades. Ou seja, em baixos declives verifica-se uma superestimação dos valores de declividade e em altos declives isto se inverte, gerando uma subestimação destes valores. Já quando analisamos o parâmetro área de contribuição nota-se o mesmo processo só que de forma inversa, ou seja, pequenas áreas de contribuição são subestimadas e grandes áreas de contribuição são superestimadas. Isto ocorre, pelo fato de na escala de 1:10.000 podermos ter uma melhor discretização do relevo e conseqüentemente detalhar melhor áreas de contribuição menores demonstrando o comportamento distinto das duas escalas de análise.

A partir disso, as classes Instável e Estável de susceptibilidade a escorregamentos vão ter comportamentos diferentes, pois, seus resultados estão intimamente interligados aos resultados dos mapas de declividade e área de contribuição. Em conseqüência disso, há uma diminuição das classes instáveis na escala de 1:50.000 das áreas susceptíveis a escorregamentos e aumento das classes estáveis.

Na validação qualitativa dos modelos verifica-se que as classes estáveis aparecem mais no mapa do que as classes instáveis, na escala de 1:50.000 o que faz com que, vários pontos que antes estavam localizados em classes mais instáveis na escala de 1:10.000 agora apareçam em classes mais estáveis. Isto acarreta um grave problema para o planejamento



urbano, quando é considerado uma área sendo estável e na verdade existe a possibilidade de ocorrência de escorregamentos.

Isto demonstra que a utilização da escala de 1:50.000 neste tipo de estudo deverá ser feita para uma análise regional, identificando-se as porções do relevo com maior instabilidade para posteriormente, nestas áreas, se aplicar a metodologia com um MDT obtido por uma escala de maior detalhe. Todos os esforços devem ser feitos para que o mapeamento de áreas estáveis, obtidas pelo modelo SHALSTAB, realmente correspondam as porções do relevo que não tenham susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, C. P. D. (1996) *Escorregamentos no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes e Redução do Risco*. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 262p.
- CARRARA, A. C., M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. (1991) *GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard*. Earth Surface Processes and Landforms, 16(5), pp.427-445.
- CARSON, M. A. e KIRKBY, M. J. (1972) *Hillslope Form and Process*. Cambridge University Press, Cambridge, 475p.
- CHRISTOFOLETI, A. (1999) *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Ed. Edgard Blücher Ltda, 1ª ed., São Paulo, 236p.
- COSTA NUNES, A. J. (1969) *Landslides in Soils of Decomposed Rock due to Intense Rainstorms*. VII Intern. Confer. on Soil Mech. and Found. Eng., Mexico. pp.547-554.
- DE PLOEY, J. e CRUZ, O. (1979) *Landslides in the Serra do Mar, Brazil*. Catena. v. 6, pp. 111-122.
- ESRI (1993) *Understanding GIS – The ARC/INFO Method*. Environmental Systems Research Institute, Wiley, New York., 535p.
- FERNANDES, M. C. (1998) *Geoecologia do Maciço da Tijuca - RJ: Uma Abordagem Geo-Hidroecológica*. Tese de Mestrado, Depto. de Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro, 141p.
- GAO, J. (1993) *Identification of Topographic Settings Conducive to Landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A*. Earth Surface Processes and Landforms, 18, pp.579-591.
- GOMES, R. A. T. *Condicionantes Geomorfológicas e o Efeito da Escala Cartográfica na Previsão de Áreas Críticas a Deslizamentos*. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. 109 p.
- GOMES, R. A. T., M. C. FERNANDES, R. F. GUIMARÃES, O. A. CARVALHO JR., P. M. L. MENEZES & N. F. FERNANDES. Avaliação de Alguns Métodos Interpoladores de Construção de Modelos Digitais de Elevação. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Geomorfologia. São Luis (MA), 2002. 46 p.
- GUIMARÃES, R. F. (2000) *A Modelagem Matemática na Avaliação de Áreas de Risco a Deslizamentos: O Exemplo das Bacias dos Rios Quitite e Papagaio (RJ)*. Tese de Doutorado, Depto. de Geologia. UFRJ, Rio de Janeiro, 157p.
- GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., FERNANDES, N. F. (1998) *Avaliação Estatística de Parâmetros Fito-Morfológicos nas Cicatrizes dos Movimentos de Massa da Bacia do Rio Quitite, Jacarepaguá (RJ)*. XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte (MG), p.417.



- GUIMARÃES, R. F., D. R. MONTGOMERY, H. M. GREENBERG, N. F. FERNANDES, R. A. T. GOMES & O. A. CARVALHO JR. *Parameterization of Soil Properties for a Model of Topographic Controls on Shallow Landsliding: Application to Rio de Janeiro*. *Engineering Geology*, v.69, n.1-2, April, p.99-108. 2003.
- LARSEN, M. C. e TORRES-SANCHEZ, A. J. (1998) *The Frequency and Distribution of Recent Landslides in three Montane Tropical Regions of Puerto Rico*. *Geomorphology*, 24, pp.309-331.
- MENEZES, P. M. L. (2000) *Geoecologia, Cartografia e Geoprocessamento: Ferramentas Integrativas de Análise*. Tese de Doutorado, Depto. de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro, 250p.
- MONTGOMERY, D. R. (1994) *Road Surface Drainage, Channel Initiation, and Slope Stability*. *Water Resources Research*, 30(6), pp.1925-1932.
- MONTGOMERY, D. R. e DIETRICH, W. E. (1994) *A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding*. *Water Resources Research*, 30, pp.1153-1171.
- O'LOUGHLIN, E. M. (1986) *Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis*. *Water Resources Research*, 22, pp.794-804.
- OLIVEIRA, R. R. (1987) *Produção e Decomposição da Serrapilheira do Parque Nacional da Tijuca – Rio de Janeiro*. Tese de Mestrado, Depto. de Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro, 107p.
- ROCHA LEÃO, O.M. (1997) *Potencialidades e Limitações da Revegetação no Controle da Hidrologia e Erosão Superficial*. Tese de Mestrado, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 142 p.
- SEELEY, M. e WEST, D. O. (1990) *Approach to Geologic Hazard Zoning for Regional Planning, Inyo, National Forest, California and Nevada*. *Bulletin of the Association of Engineering and Geologists*, v. 27, pp.23-35.
- SILVA FILHO, E. P. (1992) *Movimentos de Massa na Vertente Sul Florestada do Maciço da Tijuca: Casos de Fevereiro/1988 nas Estradas Dona Castorina e Vista Chinesa*. Tese de Mestrado, Departamento de Geografia (UFRJ), Rio de Janeiro, 227p.
- WIECZOREK, G. F. (1984) *Preparing a Detailed Landslide-Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction*. *Bulletin Association of Engineering Geologists*, 21(3), pp.337-342.
- WU, W. e SIDLE, R. C. (1995) *A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Basins*. *Water Resources Research*, 31(8), pp.2097-2110.
- XAVIER DA SILVA, J., GOES, M. H. B., FERREIRA, A. L., BERGAMO, R. B. A. A., IERVOLINO, P., ROCHA, E. N., PACHECO, E. A., SILVEIRA, R. S., MACHADO, R. D. e COSTA, W. P. (1996) *Estimativa de Riscos de Deslizamentos/Desmoronamentos no Maciço do Tinguá e Arredores*. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia, 4, pp.273-276.
- ZHANG, W. M. e MONTGOMERY, D. R. (1994) *Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, Hydrologic Simulations*. *Water Resources Research*, 30, pp.1019-1028.