

A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PARA ANÁLISE DE DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB

*The Influence of Cartographic's Products Quality on Analysis of Translational
Landslides through SHALSTAB Model Application*

**Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem, Yuzi Anaí Zanardo Rosenfeldt,
Carlos Loch & Rafael Augusto dos Reis Higashi**

¹Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Departamento de Engenharia Civil

Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis/SC, CEP 88037-000, Brasil
gabriel.rosolem@posgrad.ufsc.br; {yuzi.zanardo; carlos.loch; rafael.higashi}@ufsc.br

Recebido em 15 de Outubro, 2015/ Aceito em 6 de Outubro, 2016

Received on October 15, 2015/ Accepted on October 6, 2016

RESUMO

No Brasil, os movimentos de massa são um dos principais processos associados a desastres naturais com maior número de vítimas fatais. A Lei Federal 12.608/2012 como uma de suas diretrizes à prevenção de desastres naturais tornou obrigatório aos municípios incluídos no “Cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos” identificar e mapear as áreas de risco, além de elaborar uma carta geotécnica de aptidão a urbanização. Este trabalho tem por objetivo comparar os resultados do mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais com o uso de dados cartográficos de escala 1:2.000, e 1:50.000, por meio do modelo SHALSTAB para a bacia do Rio Forquilhas - localizada no município de São José-SC. Para tanto, os parâmetros topográficos de entrada, declividade e área de contribuição por comprimento de contorno, foram obtidos por meio de modelos ditais de terreno com resolução espacial de 1m e 10m com origem nos dados da cartas de escala 1:2.000 e 1:50.000, respectivamente. Já os parâmetros geotécnicos, coesão, ângulo de atrito interno e peso específico do solo, foram obtidos por meio de coleta e ensaios de solos subsidiados pelo mapa geotécnico, elaborado com base na metodologia de Dias (1995). O modelo SHALSTAB então foi aplicado utilizando os mesmos parâmetros geotécnicos de entrada para as duas escalas analisadas. Os resultados do modelo indicam que para um profundidade de ruptura de 5 metros a escala 1:2.000 obteve um desempenho superior a escala 1:50.000, com 84% das cicatrizes de deslizamentos e marcas de rastejos inseridas nas classes incondicionalmente instáveis do modelo, que correspondem a 7% da área da bacia. O mapa das áreas instáveis produzidos com a escala 1:50.000 mapeou uma área maior dentro das classes instáveis, porém com menos acurácia. Pode-se inferir que na bacia do rio Forquilhas tal fato está associado aos baixos valores de ângulo de atrito dos solos da encosta combinados à predominância de relevo com declividade próxima destes valores e à generalização do relevo proporcionando maiores valores de área de contribuição por comprimento de contorno ao longo do terço médio e inferior das encostas. Com esses resultados é possível afirmar que os mapas em escala grande oferecem o amparo técnico e consequentemente jurídico necessários aos processos de tomada de decisão nos assuntos referentes ao planejamento e gestão territorial, gestão do uso e ocupação do solo, incluindo a resolução de conflitos fundiários, servindo de embasamento para dar respostas com segurança aos rigores estabelecidos na legislação.

Palavras chaves: Deslizamentos Translacionais, Mapeamento Geotécnico, Cartografia em Grande Escala, Modelo SHALSTAB.

ABSTRACT

In Brazil, the mass movements are one of the main processes associated with natural disasters with the highest death toll. The Federal Law 12,608 / 2012 as one of its guidelines for the prevention of natural disasters has made it mandatory for municipalities included in the “National Register of municipalities with areas susceptible to the occurrence of high-impact landslides, sudden floods or related geological or hydrological processes” to identify and map areas of risk, as well as preparing a geotechnical map of aptitude to urbanization. This paper aims to compare the results of mapping areas susceptible to translational landslides with the 1: 50.000, and 1: 2.000 scales cartographic data using SHALSTAB model for the Forquilhas river watershed - located in the municipality of São José-SC. In order to do so, the topographic parameters input, slope angle and contributing area per unit contour length, were obtained using digital terrain models with spatial resolution of 1m and 10m from the 1:2.000 and 1:50.000 scale maps, respectively. The geotechnical parameters, cohesion, internal friction angle and soil bulk density were obtained through collecting and testing of soils supported by the geotechnical map, based on the methodology of Dias (1995). The SHALSTAB model was then applied using the same geotechnical input parameters for the two scales analyzed. The results of the SHALSTAB model indicate that for a rupture depth of 5 meters the 1: 2.000 scale achieved a superior performance to the 1: 50.000 scale, with 84% of the scars of landslides and creeps inserted in the unconditionally unstable classes of the model, which correspond to 7% of the area of the basin. The map of areas susceptible to landslides produced with the 1: 50.000 scale mapped more areas within the unstable classes, although with less accuracy. It can be inferred that in the Forquilhas river watershed this fact is associated with low values of internal friction angle of the soils coupled with the predominance of relief with slope angle close to these values and the generalization of the relief giving higher values of contributing area per unit contour length along the middle and lower third of the slopes. With these results it is possible to affirm that large scale maps offer technical and, consequently, legal support needed for decision-making in matters relating to planning and land management, land use and occupancy, including the resolution of land, serving as the legal basis for giving answers safely to the rigors established by law.

Keywords: Translational Landslides, Geotechnical Mapping, Large-Scale Cartography, SHALSTAB Model.

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais tem se tornado mais frequentes nos últimos anos, atingindo um numero cada vez maior de pessoas e causando crescentes prejuízos econômicos, sociais e ambientais (COPPOLA, 2015). Embora os desastres naturais tenham este adjetivo, estes não são “naturais”. A resposta emocional das pessoas durante um desastre pode acentuar a perspectiva sobre a falta de controle sobre o evento, porém as mortes e destruição resultam, em geral, da omissão e comissão das ações humanas que poderiam ser prevenidos (WORLD BANK & UNITED NATIONS, 2010).

As vistas deste conceito, a Organização das Nações Unidas (ONU) vem instituindo diversas políticas sobre a redução do risco de desastres, como o Marco de Ação de Hyogo (MAH) em 2005. O Marco estabeleceu três objetivos estratégicos a serem cumpridos até 2015: i) integração da redução dos riscos de desastres nas políticas de desenvolvimento e planejamento em todos os níveis, ii) fortalecimento e desenvolvimento de instituições, mecanismos e capacidades em todos os níveis, que sistematicamente contribuam

para aumentar a resiliência e iii) incorporação sistemática da redução do risco de desastres na implementação de programas e projetos de preparação, resposta e recuperação de áreas afetadas por desastres (UNISDR, 2005).

O Brasil como um dos signatários do Marco de Ação de Hyogo da Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu em 2012 a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) através da Lei Federal 12.608. Dentre os objetivos desta nova política destaca-se a incorporação da redução dos riscos de desastres e as ações do PNPDEC na gestão territorial e políticas setoriais. Dentre os diversos aspectos abordados pela lei ressalta-se o enfoque a prevenção, as competências individuais e conjuntas dos entes federados e o alinhamento às diretrizes do Marco de Ação de Hyogo. Além disto, a PNPDEC atribui a responsabilidade aos municípios incluídos no ‘cadastro de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos’ a elaboração do mapeamento de tais áreas e cartas geotécnicas de aptidão a urbanização (BRASIL, 2012).

No Brasil, os movimentos de massa, subgrupo ao qual os deslizamentos pertencem na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), são um dos principais processos associados a desastres naturais com maior número de vítimas fatais. Segundo UFSC/CEPED (2012) foram registradas 31909 registros oficiais de ocorrências de movimentos de massa no país entre os anos de 1991 e 2010. No Estado de Santa Catarina, para o mesmo período, foram realizados apenas 20 registros oficiais sem nenhuma ocorrência de vítima. Entretanto, os movimentos de massa, em especial os ocorridos em novembro de 2008, deixaram elevado número de mortes, que segundo a Defesa Civil do Estado de Santa Catarina chegaram a 135 óbitos confirmados (UFSC/CEPED, 2011).

Neste contexto apresentado, o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos é uma ferramenta imprescindível para a definição das áreas de risco sob o ponto de vista técnico e legal. Com a disponibilidade de dados do local, vários métodos podem ser aplicados para estabelecer os níveis de suscetibilidade em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), dentre os quais se destaca o *Shallow Landsliding Stability Model* (SHALSTAB).

O SHALSTAB é modelo determinístico, cujo influencia da topografia no gatilho dos deslizamentos translacionais rasos é desenvolvida por meio da combinação de dados digitais do relevo com modelos de estabilidade de taludes e fluxos de água subsuperficiais (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994). Por se utilizar de dados topográficos é importante se avaliar a qualidade e acurácia destes dados a sua aplicação.

Visando contribuir para uma determinação mais eficiente da suscetibilidade a deslizamentos, o objetivo deste trabalho é comparar os resultados do mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na bacia do rio Forquilhas em São José-SC por meio do modelo SHALSTAB, utilizando mapas topográficos de escala 1:50:000 e 1:2.000. A utilização do modelo foi realizada variando apenas os parâmetros relativos ao relevo, que são advindos dos mapas topográficos nas duas escalas supracitadas, e com a consequente validação dos resultados com base em cicatrizes de deslizamentos anteriores e marcas de rastejos.

2. SHALSTAB

O SHALSTAB é modelo determinístico para avaliar as áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos. Os deslizamentos translacionais são caracterizados por superfícies de ruptura plana associada a descontinuidades mecânicas ou hidrológicas, na maioria das vezes com profundidade variando entre 0,5 a 5 metros (TOMINAGA, 2009). O modelo SHALSTAB é composto por outros dois modelos: um de estabilidade de taludes infinitos e um hidrológico de estado uniforme (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994).

O modelo de estabilidade de taludes infinitos é de comum aplicação em situações em que o comprimento da encosta é muito superior a profundidade do solo, sendo sua formulação fundamenta na lei de Mohr-Coulomb. Já o modelo o modelo hidrológico de estado uniforme é baseado nos trabalhos de Beven & Kirkby (1979) e O'loughlin (1986), que determina a saturação relativa do solo com base na análise da área de contribuição por comprimento de contorno, declividade e transmissibilidade do solo (MICHEL, KOBIYAMA & GOERL, 2014).

Combinando os dois modelos, o modelo SHALSTAB pode ser definido em função dos parâmetros hidrológicos, resultando na equação (1).

$$\log \frac{Q}{T} = \frac{\text{sen } \theta}{a/b} \left[\frac{c}{\rho_w \cdot g \cdot \cos^2 \theta \cdot \text{tg } \varphi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\text{tg } \theta}{\text{tg } \varphi} \right) \right] \quad (1)$$

onde: Q é taxa de recarga uniforme (mm/dia); T é transmissibilidade do solo (m²/dia), θ é declividade da encosta (graus); a/b é a área de contribuição por comprimento de contorno (metros); c é a coesão do solo (N/m²); φ é o ângulo de atrito do solo (graus); ρ_s é a massa específica do solo (kg/m³); ρ_w é a massa específica da água (kg/m³); g é a aceleração da gravidade (m/s²); z é a espessura do solo (metros).

Os componentes do modelo podem ser classificados em parâmetros topográficos, geotécnicos e hidrológicos. Os parâmetros topográficos são a declividade (θ), área de contribuição por comprimento de contorno (a/b), obtidos a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT). Os parâmetros geotécnicos coesão (c),

peso específico (produto da massa específica e gravidade - $\rho_s \cdot g$), ângulo de atrito do solo (φ) são obtidos através de ensaios laboratoriais ou estimados se houver estudos desenvolvidos com solos do local. Já os fatores hidrológicos, transmissibilidade do solo (T) e a precipitação (Q) - recarga uniforme - são variáveis ao longo do tempo (GUIMARÃES *et al.*, 2003).

Baseado na equação (1), o SHALSTAB classifica a sete classes de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos: as classes mais extremas 'incondicionalmente estável e saturado' e 'incondicionalmente instável e não saturado' definidas na equação (2) e (3), respectivamente, e as outras em função do valor de $\log(Q/T)$. A equação (2) analisa o valor de declividade que mesmo com o solo saturado estaria estável, enquanto que na equação (3) verifica-se o valor da declividade da encosta, a partir do qual, mesmo que com o solo seco estaria instável.

$$\operatorname{tg} \theta \leq \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\rho_w \cdot z \cdot g \cdot \cos^2 \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \theta \geq \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\rho_w \cdot z \cdot g \cdot \cos^2 \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (3)$$

O modelo SHALSTAB vem sendo aplicado em diferentes locais no Brasil onde se verificaram a ocorrência de deslizamentos. Dentre as diversas pesquisas que vem sendo desenvolvidas fundamentadas neste modelo citam-se: Guimarães *et al.* (2003), Fernandes *et al.* (2001) e Gomes (2006) aplicaram o modelo para estudar as bacias hidrográficas no estado do Rio de Janeiro; Ramos *et al.* (2002), em Minas Gerais, e Michel, Kobiyama e Goerl (2014) e Reginatto *et al.* (2012) em Santa Catarina. Ainda em Santa Catarina, destaca-se o trabalho de Sbroglia *et al.* (2016) e Sakamoto *et al.* (2015), que aplicaram o modelo a partir do mapeamento geotécnico desenvolvido por meio da metodologia de Dias (1995).

3. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Forquilhas localiza-se totalmente dentro do município de São José-SC, que faz parte da região da Grande Florianópolis-

SC. Com aproximadamente 54 km² e com um comprimento de cerca de 11km, a bacia do Rio Forquilhas corresponde a aproximadamente 30% do município (Figura 1).

O relevo da bacia é mais alto no seu extremo norte e noroeste, entre 400 e 530m, e predominantemente baixo em seu restante - variando entre 0 a 50m. Com relação a declividade, a bacia possui encostas fortemente onduladas.

Geologicamente a bacia é composta por 3 unidades geológicas principais: Depósitos Inconsolidados localizado nas áreas planas e Suíte Maruí e Complexo Águas Mornas nas encostas. Os Depósitos Inconsolidados são formados pelos depósitos colúvio-aluvionares representados por sedimentos geralmente arenosos no sopé das encostas e depósitos aluvionares, constituídos por camadas de areias, cascalhos e argila nas áreas planas. A Suíte Maruí é constituída por tonalitos, granodioritos e granitos, enquanto o Complexo Águas Mornas, por gnaisses e migmatitos (FLORES *et al.*, 2016).

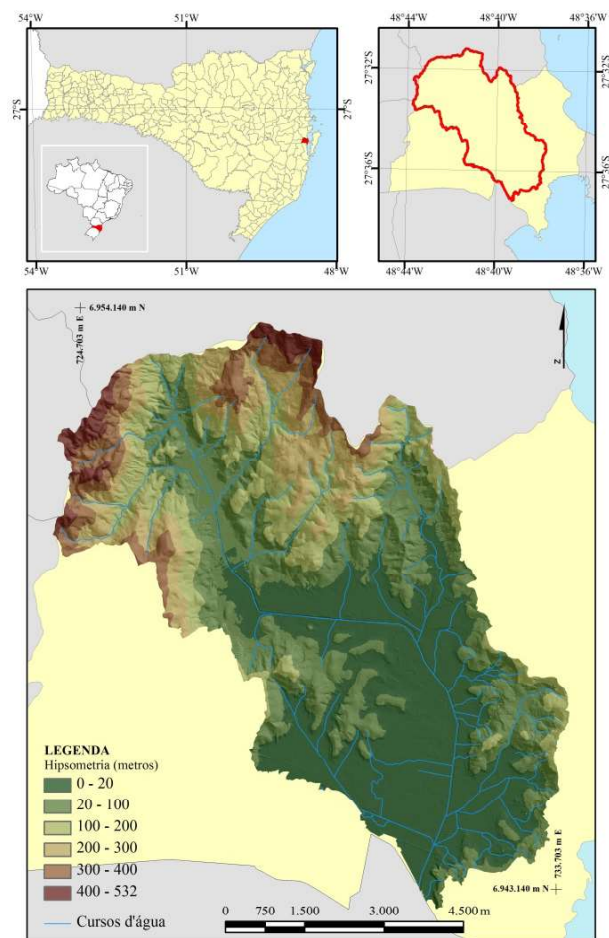


Fig. 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Forquilhas em São José-SC.

Já pelo aspecto pedológico a bacia é composta principalmente pelas ordens e subordens Argissolos Vermelho-Amarelo (PVa7 e PVa17) e Cambissolos Háplicos (Ca8, Ca28 e Ca28). Os Cambissolos são solos poucos desenvolvidos, caracterizados por horizonte B incipiente e grande porcentagem de minerais primários, enquanto os Argissolos são solos com a presença de horizonte B textural, proporção de argila muito superior em relação ao horizonte A, e mais desenvolvidos do ponto de vista pedogenético. As unidades de Argissolos Vermelho-Amarelo encontrados na bacia possuem argila de baixa atividade e horizonte A com textura variando entre cascalhenta a média, podendo ser encontrado inclusões de Cambissolos e Neossolos Litólicos em setores íngremes das encostas. Já as unidades de Cambissolo Háplico possuem em geral argila de alta atividade e horizonte A com textura argilosa, com possibilidade de inclusão de Gleissolos Háplicos nas áreas planas e Neossolo Litólico nas áreas íngremes (PMSJ, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em quatro etapas: i) coleta e preparação os dados cartográficos; ii) cálculo dos parâmetros topográficos; iii) obtenção dos parâmetros geotécnicos; (iv) aplicação do modelo SHALSTAB.

3.1 Coleta de dados pré-existentes e preparação dos dados cartográficos

Dentre os dados cartográficos adquiridos para desenvolvimento do trabalho citam-se: (i) restituição aerofotogramétrica, produzida pela empresa Aeroimagem S/A, escala 1:2.000, ano 2001, com curvas de nível com intervalos de 1 metro de todo o município, em SAD69, disponibilizada pela Prefeitura Municipal de São José; (ii) restituição aerofotogramétrica, escala 1:50.000, ano 1981, com curvas de nível com intervalos de 20m, em SAD69, disponibilizada por Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina Epagri/IBGE 2004 (ii) mapa pedológico adaptado de Santos (1997), ano 1997, escala 1:60.000, em SAD69, e (iii) mapa geológico, escala 1:25.000, ano 2013, em SIRGAS 2000, produzido e disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de

Santa Catarina (UFSC).

Para unificar todos os dados cartográficos em SIRGAS2000 utilizou-se o método NTV2, que trabalha com *grids* para modelar as transformações especificadas. Para tanto se seguiu o procedimento recomendado por Técnomapas (2014), que utiliza os *grids* do software *ProGRID*, disponibilizado gratuitamente pelo IBGE, para realizar as transformações no software *ArcGIS®*. Assim, todos os produtos cartográficos gerados estão adequados ao sistema geodésico brasileiro, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22 sul e foram elaborados com o uso do software de geoprocessamento *ArcGIS 10®*.

3.2 Cálculo dos parâmetros topográficos

Ao utilizar o modelo SHALSTAB, os parâmetros topográficos são de suma importância para se determinar as áreas com suscetibilidade a deslizamentos uma vez que a superfície topográfica rege a drenagem e a declividade, e estas por sua vez tem grande efeito na estabilidade da encosta (DIETRICH, BELLUGI & ASUA, 2001). Para mensurar e aplicar estes parâmetros utilizou-se as curvas de nível com intervalos de 1 metro, da restituição aerofotogramétrica, escala 1:2.000, ano 2001 e para efeito de comparação de resultados as curvas de nível com intervalos de 20 metros da restituição aerofotogramétrica, escala 1:50.000, ano 1981, disponibilizada pela Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina EPAGRI/IBGE 2004.

Com base nas curvas de nível, para cada escala, produziu-se um Modelo Digital de Terreno (MDT) em formato de malha regular retangular (*raster*) por meio do método de interpolação intitulado "*topo to raster*". Este método foi desenvolvido por Hutchinson (1989) para produzir modelos digitais de elevação mais corretos do ponto de vista hidrológico. Para definir a resolução dos modelos seguiu-se a recomendação de Felgueiras & Câmara (2001) de que a resolução espacial ideal deve ser menor ou igual à menor distância entre duas amostras com cotas diferentes, como no exemplo da Figura 2. De forma a manter a acurácia altimétrica das cartas topográficas e otimizar o tempo de análise computacional, adotou-se a resolução espacial quadrática de 10m para os dados topográficos da escala 1:50.000 e 1m para os da escala 1:2.000.

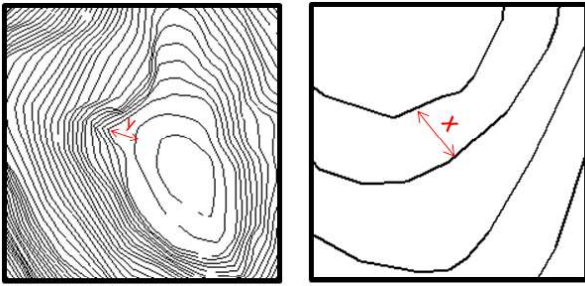


Fig. 2 - Exemplo representativo das duas amostras em escala diferentes, a esquerda escala 1:2.000 e a direita 1:50.000.

A partir do MDT, produziram-se mapas de declividades das encostas (θ) para cada uma das escalas com suas respectivas resoluções. Também foram calculadas a partir do MDT, para cada uma das escalas, as áreas de concentração por comprimento de contorno (a/b) utilizando o método D-Infinito desenvolvido por Tarboton (1997). Este método interpreta o fluxo de água subsuperficiais como sendo proporcional aos dois *pixels* que limitam a faceta triangular de declive mais íngreme e pode ser utilizado no software *ArcGIS 10*[®] por meio da extensão *TauDEM*.

3.3 Obtenção dos parâmetros geotécnicos

A obtenção dos parâmetros geotécnicos que serão os dados de entrada no modelo SHALSTAB foram obtidos a partir de ensaios laboratoriais, no qual os pontos de coleta foram definidos por meio do mapa geotécnico.

3.3.1 Produção do mapa geotécnico

Para obter o mapa geotécnico e as unidades geotécnicas, utilizou-se a metodologia de Dias (1995). A metodologia consiste na estimativa de unidades geotécnicas, que são unidades territoriais homogêneas com ocorrência de solos de gênese, geomorfologia e comportamento geotécnico semelhantes frente ao uso e ocupação do solo (DIAS, 1995).

Para se estimar as unidades geotécnicas utilizam-se cartas pedológicas, geológicas e topográficas. As cartas pedológicas permitem inferir os atributos dos horizontes superficiais do solo. As cartas geológicas permitem inferir os atributos do horizonte saprolítico. Já as cartas topográficas auxiliam na delimitação das unidades, uma vez que há variação de tipos de solos em diferentes posições da declividade do terreno (DIAS, 1995).

A metodologia sobre põe a informação dos mapas geológico e pedológico, conjuntamente a outros fatores físicos, com indicações de comportamento dos solos para elaborar o mapa geotécnico preliminar. A partir deste procede-se a trabalhos de campo para verificar unidades geradas e confirmar seus limites e coletar amostras para averiguar as propriedades geotécnicas.

A Figura 3 apresenta simplificada o procedimento de estimativa das unidades geotécnicas, na qual a simbologia, por exemplo, PVA_g, adota as letras maiúsculas referentes a classificação pedológica e as letras minúsculas referentes a classificação geológica. O mapa geotécnico preliminar foi produzido a partir da sobreposição das informações do mapa geológico elaborado pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFSC, em escala 1:25.000, e o mapa pedológico disponibilizado por Santos (1997), em escala 1:60.000 de forma a orientar a amostragem de solos tanto para caracterização geotécnica quanto para correções nos limites das unidades devido a diferença das escalas dos mapas que o compõe. Dias (1995) ressalta que nos trabalhos de campo a classificação dos solos da metodologia deve ser feita com vistas à engenharia, assim com menos rigor que à vista dos estudos pedológicos resultando por vezes que unidades pedológicas distintas derivem em unidades geotécnicas similares.

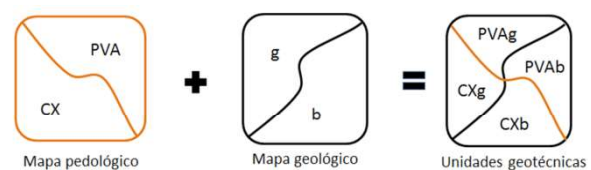


Fig. 3 - Procedimento simplificado da estimativa de unidades geotécnicas a partir da metodologia proposta por Dias (1995).

3.3.2 Ensaios geotécnicos

A partir do mapa geotécnico e análise conjunta com modelo digital de terreno foram definidos os pontos de amostragem para a coleta de solos para caracterização das unidades geotécnicas e assim obter os parâmetros que compõem o modelo SHALSTAB. Estes pontos foram escolhidos de forma representativa,

visando obter os parâmetros geotécnicos das unidades mapeadas, fazer os ajustes nos mapas e serem de fácil acesso, preferencialmente em locais públicos.

Para obter os parâmetros de coesão (c), ângulo de atrito (ϕ) e peso específico, optou-se pelo ensaio de o ensaio de cisalhamento direto, por ser um ensaio de simples execução, rápido e comum na mecânica dos solos e baseou-se no critério de Mohr-Coulomb, seguindo a norma estadunidense ASTM D3080.

Para o ensaio de cisalhamento direto, os corpos de provas foram moldados em molde metálicos *in loco* e coletados no horizonte/camada C, devido aos deslizamentos na bacia comumente acontecerem neste horizonte. Adotou-se a consolidação com condição drenada e tensão normal aplicada de 32kPa, 75kPa e 124kPa e um deslocamento cisalhante a uma taxa controlada de 0,307mm/min.

A partir dos resultados dos ensaios, cada um dos parâmetros dos solos foi georreferenciado como atributo nas unidades geotécnicas e posteriormente produzidos mapas temáticos da coesão, ângulo de atrito interno e peso específico do solo em formato *raster* com resolução quadrática de 1 e 10m.

3.4 Avaliação da escala da base topográfica nas áreas suscetíveis a deslizamentos rasos

De posse de todos os parâmetros topográficos (θ , a/b), geotécnicos (c , ϕ , ρ) e profundidade de ruptura de 5 metros, em mapas de formato *raster*, foi utilizado o algoritmo desenvolvido por Michel (2013) por meio da álgebra de mapas. Cabe ressaltar que a aplicação do algoritmo na álgebra de mapas para cada escala combinou os mapas com mesma resolução, portanto para os mapas de suscetibilidade a deslizamentos rasos utilizou-se todos os parâmetros em mapas com resolução quadrática de 1m e 10m para escala 1:2.000 e 1:50.000, respectivamente. Os resultados dos mapas foram classificados em intervalos de estabilidade, conforme os valores de $\log(Q/T)$ na Tabela 1.

Foi adotado o limiar dos valores de $\log(Q/T)$ de -3,1, baseado na indicação de Dietrich & Montgomery (1998) para mapas com resolução espacial maiores que 10m – segundo a experiência destes autores cerca de 60%

das cicatrizes de deslizamentos rasos seriam classificadas dentro deste limiar.

Tabela 1: Intervalos de estabilidade

Classes de estabilidade	Critério
Incond. instável e não saturado	Equação (3)
Incond. instável e saturado	$\text{Log}(Q/T) \leq -3,1$
Instável e saturado	$-2,8 \geq \text{Log}(Q/T) \geq -3,1$
Instável e não saturado	$-2,5 \geq \text{Log}(Q/T) \geq -2,8$
Estável e não saturado	$2,2 \geq \text{Log}(Q/T) \geq -2,5$
Incond. estável e não saturado	$\text{Log}(Q/T) \geq -2,2$
Incond. estável e saturado	Equação (2)
Incond. = Incondicionalmente	

Fonte: adaptado de Dietrich e Montgomery (1998).

Deste modo as classes mais extremas – incondicionalmente estável e saturada e incondicionalmente instável e não saturado são consideradas conforme a eq. (2) e eq. (3), respectivamente, enquanto as outras são definidas por intervalo de valores de $\log(Q/T)$, sendo que quanto menor o valor mais instável.

Os resultados então foram comparados com um mapa de cicatrizes de deslizamentos e marcas de rastejo cedido pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de Santa Catarina, que foi produzido com base na literatura, dados cedidos pela Defesa Civil municipal, fotointerpretação e levantamento de campo. Os polígonos das cicatrizes foram delimitados desde o início dos deslizamentos até o alcance da massa mobilizada e sobrepostos sobre os mapas de suscetibilidades gerados tanto com os dados topográficos da escala 1:2.000 quanto para 1:50.000. Para a aferição foi sobreposto os polígonos sobre o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos e contabilizado o *pixel* de menor valor de $\log(Q/T)$, conforme proposto por Dietrich, Bellugi & Asua (2001).

4. RESULTADOS

A partir do mapa geotécnico preliminar foram definidos nove pontos de coleta para realização dos ensaios e ajustes no mapa geotécnico com vistas à compatibilização de escala e limites das unidades geotécnicas.

Após definição dos nove pontos de coleta para realização dos ensaios, o mapa geotécnico ajustado, conforme Figura 4,

resultou em 5 unidades: Cambissolo de substrato granito(Cg), Cambissolo de substrato gnaiss e migmatitos(Cgn), Cambissolos de substrato depósitos de encostas (Cde), Argissolo Vermelho-Amarelo de substrato gnaisses e migmatitos (PVAgn) e Depósitos aluvionares de substrato sedimentos quaternários (ASq).

Cabe destacar que apenas ASq não se localiza nas encostas. Os resultados dos ensaios foram compilados e calculados os valores médios de cada unidade geotécnica conforme Tabela 2.

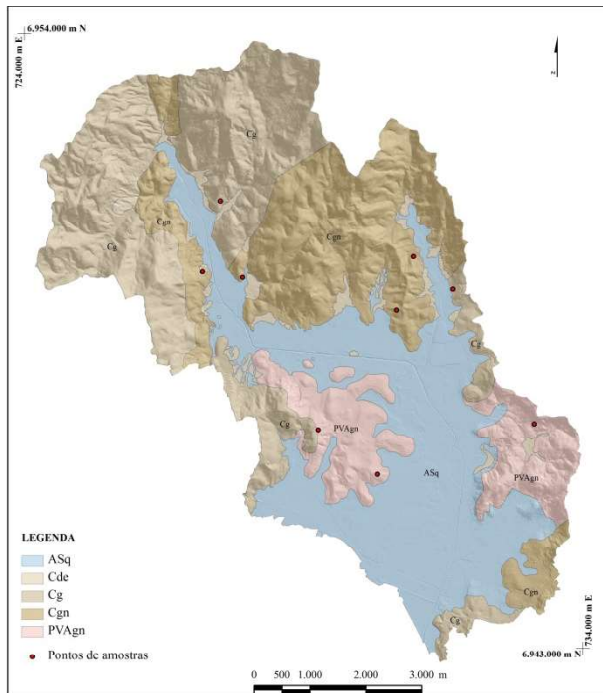


Fig. 4 – Mapa geotécnico ajustado com base nos pontos de amostras elaborado a partir da metodologia proposta por Dias (1995).

Tabela 2: Valores dos parâmetros geotécnicos ensaiados e de entrada no modelo SHALSTAB

Unidade Geotécnica	ρ_g (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (graus)
Asq	18,5	9,86	36
Cde	18,7	3,00	28
Cg	17,0	1,79	19
Cgn	19,6	3,22	30
PVAgn	18,2	1,32	25

Analisando os resultados obtidos com alguns valores obtidos para cambissolos e argissolos vermelhos-amarelo de substratos granito no estado de Santa Catarina, Tabela 3, nota-se que a coesão está dentro do intervalo observado, entretanto comparativamente os valores de ângulo

de atrito interno são considerados baixos. Segundo Claessens *et al.* (2005), valores mais altos do coeficiente de atrito interno dos solos tendem a diminuir a suscetibilidade a deslizamentos no modelo SHALSTAB.

Tabela 3: Valores de coesão e ângulo de estudos geotécnicos realizados em Cambissolos e Argissolos Vermelho-Amarelo

Localidade	Tipo de Solo	c (kN/m ²)	ϕ (graus)
Tubarão ¹	Horiz. C de granito silto-argiloso	11,0	31,4
	Horiz. C de gran. colov.arenoso-siltoso	3,6	32,1
	Horiz. B/C de granito argilo-siltoso	13,4	35,1
	Horiz. C de granito arenoso	13,0	38,7
	Horiz. C de granito arenos-argiloso	-	41,3
	Horiz. C de granito silto-arenoso	1,4	31,5
	Horiz. B/C de granito silto-argiloso	11,8	23,2
	Horiz. C de granito silto-argiloso	11,0	31,6
	Horiz. C de granito arenoso	7,3	33,7
Florianópolis ²	Granito / hor. C - Ilha-PVg1	17,9	35,0
	Granito / hor. C - Ilha-PVg1	25,6	-
	Granito / hor.B/C - Itacorubi-PVg2	33,1	28,0
	Granito / hor. B - Canasvieiras-Cde	-	34,0
	Granito / hor. C - Canasvieiras-Cde	-	30,0
Florianópolis ³	Granito / hor. C - Cacupé	5,2	35,9
	Granito / hor. C - Jardim Guarani	16,8	32,4
	Gran_plano arg. - Jardim Guarani	2,1	26,6
Santo Amaro da Imperatriz ⁴	Amostra 14 Granito / hor. C	15,9	30,9
	Amostra 24 Granito / hor. C	4,2	30,4
	Amostra 34 Granito / hor. C	6,0	35,4

NOTA₁: ¹Higashi (2006)/ ²Santos (1997)/ ³Raimundo *et al.* (2002)/ ⁴Meirelles & Dias (2004)

Por meio das curvas de nível foram produzidos os modelos digitais de terreno com resolução espacial de 1 metro para escala 1:2.000 e 10 metros, para escala 1:50.000. Destes modelos foram produzidos os mapas de declividade e área de concentração por comprimento de contorno para ambas as escalas, com a resolução dos seus respectivos MDT de origem.

Ao analisar a Figura 5, observa-se que a bacia possui o relevo predominante fortemente ondulado, com menos de 20% do relevo em áreas mais íngremes em ambas as escalas. O mapa de declividade advindo das curvas de nível com intervalo de 20 metros não representa mudanças mais significativa do relevo e por consequência possui mais áreas com menor declividade, plano ao ondulado, quando comparado ao mapa gerado a partir das curvas de intervalo de 1 metro.

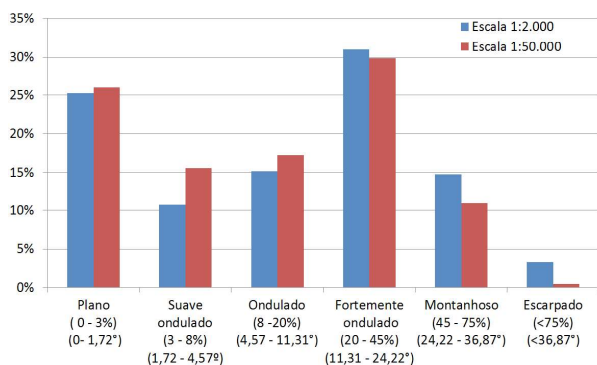


Fig. 5 - Relação da porcentagem de cada intervalo de relevo em azul para a escala 1:2.000 e em vermelho, para a escala 1:50.000.

Ao analisar o cálculo das áreas de contribuição por comprimento de contorno (a/b) para escala 1:2.000 (Figura 6a) e escala 1:50.000 (Figura 6b), verifica-se que a simulação do fluxo subsuperficial realizada pelo método D-Infinito para ambas as escalas é similar visualmente a registrada nas suas restituições aerofotogramétricas, Figura 6c e 6d, respectivamente. É importante notar que enquanto na escala 1:2.000 se observa um padrão dendrítico no fluxo subsuperficial, com a predominância de valores de a/b maiores de 100 metros nos talvegues ocupando pequenas áreas, o oposto acontece na resolução espacial de 10 metros - onde o fluxo está disperso, com valores a/b maiores de 100 metros ao longo de toda vertente ocupando grandes áreas.

Isto se deve ao fato das curvas de nível com intervalos de 1 metro representarem melhor as feições do relevo quando comparamos às curvas de nível com intervalos de 20 metros (Figuras 6c e 6d). Tal fato é evidenciado quando visto os perfis da encosta nos dois MDTs, como demonstrado na Figura 7a e 7b. Nos dois cortes longitudinais (Figura 7c e Figura 7d) verifica-se que a escala 1:50.000 representa o relevo como uma superfície mais suave, enquanto na escala

1:2.000 se observa maior rugosidade. Na Figura 7e esta condição é ainda mais nítida, uma vez que se nota a existência de canais de pequena ordem e variações mais bruscas na declividade da encosta na escala 1:2.000, ao passo que as mesmas feições não são captadas no relevo na escala 1:50.000.

Conseguir capturar estas feições do relevo é essencial para o modelo SHALSTAB prever com maior precisão os deslizamentos rasos, uma vez que segundo Montgomery & Dietrich (1994) áreas íngremes convergentes, como os canais de pequena ordem e vales, são em geral mais suscetíveis a deslizamentos.

4.1 Avaliação das áreas suscetíveis a deslizamentos

Para o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos na bacia do Rio Forquilha, utilizou-se o modelo SHALSTAB por meio do algoritmo desenvolvido por Michel (2013) com a ferramenta álgebra de mapas. Para tanto, cada um dos parâmetros de entrada deve estar georreferenciado e representado em formato *raster*.

Os parâmetros geotécnicos, ângulo de atrito interno, coesão e peso específico do solo, foram georreferenciados no mapa geotécnico e representados com resolução espacial de 1 metro, para aplicação do modelo SHALSTAB com os parâmetros topográficos advindos da escala 1:2.000 e com resolução espacial de 10 metros, para com os da escala 1:50.000. Procedimento análogo foi realizado para a entrada da profundidade de ruptura no modelo, a qual foi atribuída o valor de 5 metros. As figuras 8a e 8b demonstram os mapas resultantes da modelagem com resolução espacial de 1 metro e resolução espacial de 10 metros, respectivamente, com as cicatrizes de deslizamentos e marcas de rastejos identificados na bacia.

Quantificando as áreas classificadas no modelo (Tabela 4), verificou-se que a resolução espacial de 1 metro, do MDT a partir da escala 1:2.000, classificou uma área maior da bacia como incondicionalmente instável quando comparado a resolução espacial de 10m advinda da escala 1:50.000, 5,1% contra 1,3%, respectivamente. No outro extremo da classificação, o oposto ocorre, com 77,5% da área mapeada como incondicionalmente estável pela resolução de 10m contra 70,2% da resolução de 1m. Esta diferença na classificação era esperada, visto que a escala 1:2.000 registrou área maior da bacia nos relevos montanhoso e escarpado ao passo que a escala 1:50.000 nos relevos mais suaves, como no suave ondulado e ondulado.

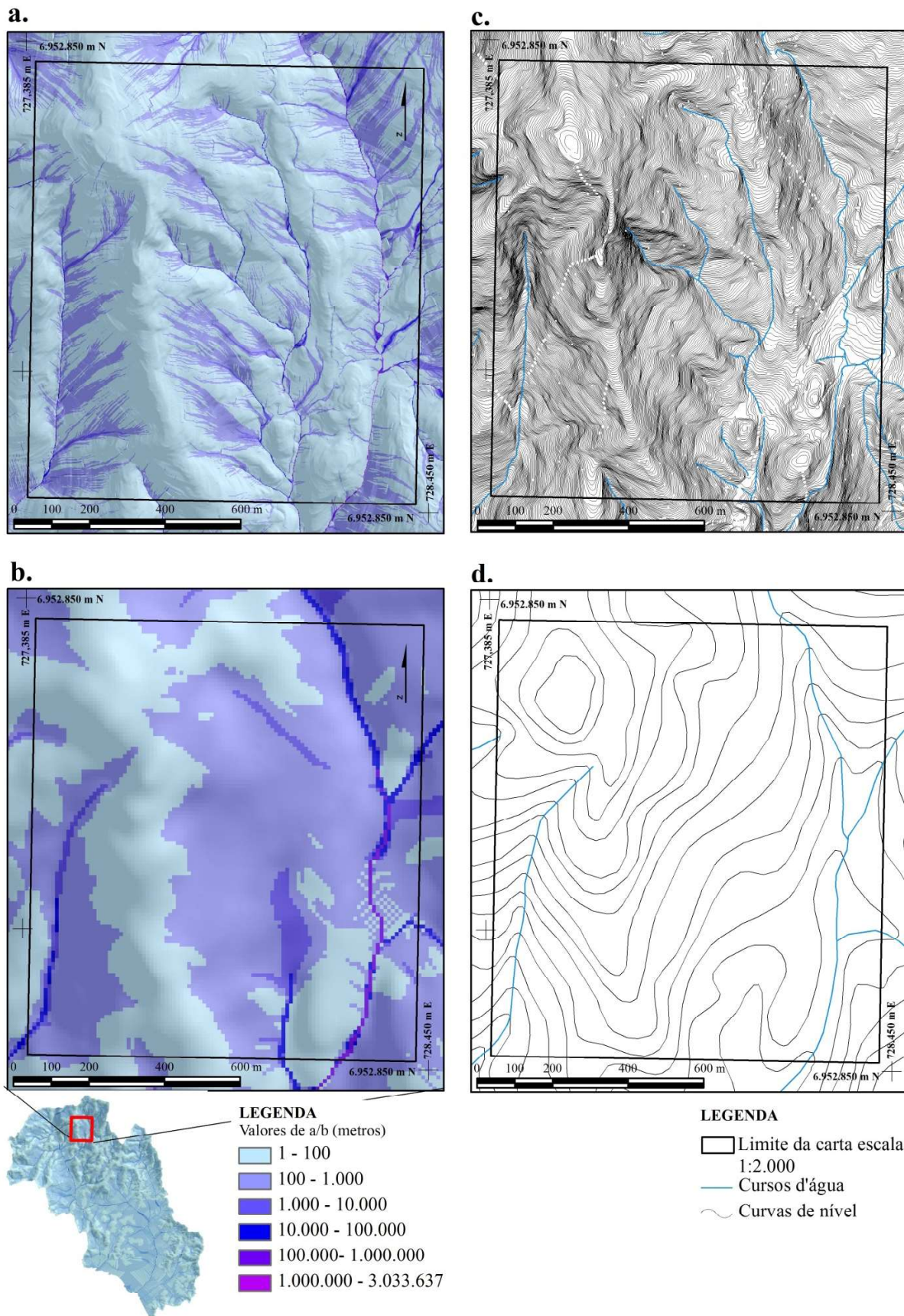


Fig. 6 – Comparação entre o mapa da área de contribuição por comprimento de contorno e as curvas de nível de origem dos MDT; a. área de contribuição por unidade de comprimento da escala 1:2.000; b. área de contribuição por unidade de comprimento da escala 1:50.000; c. curvas de nível com intervalos de 1m e hidrografia restituída (1:2.000); d. curvas de nível com intervalos de 20m e hidrografia restituída (1:2.000).

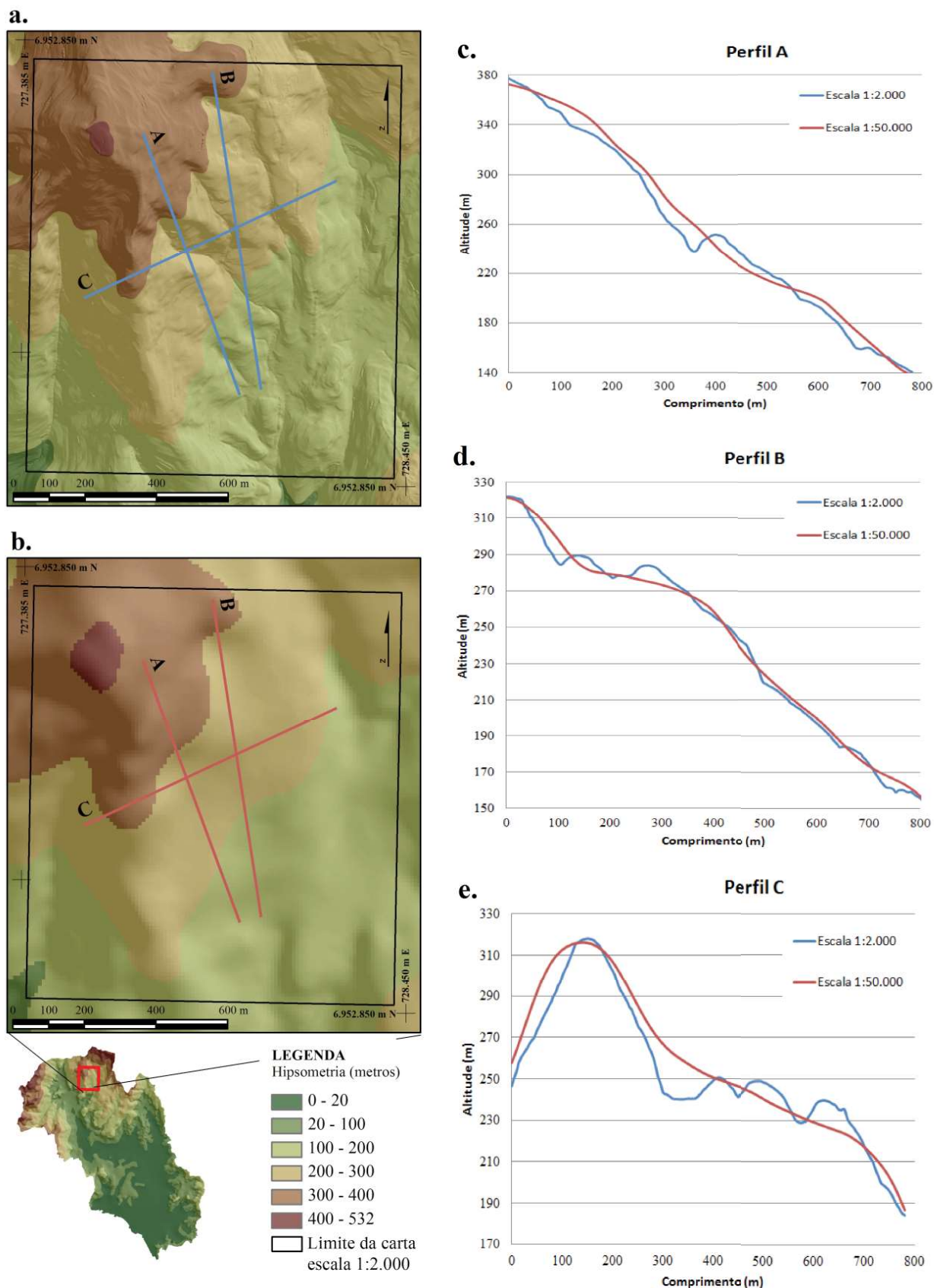


Fig. 7 – Representação dos perfis esquemáticos nas escalas, em azul a escala 1:2.000 e em vermelho a escala 1:50.000; a. Posição dos perfis A, B e C sobre o MDT da escala 1:2.000; b. Posição dos perfis A, B e C sobre o MDT da escala 1:50.000; c. Análise comparativa do perfil longitudinal A; d. Análise comparativa do perfil longitudinal B; e. Análise comparativa do perfil transversal C.

Para validar os resultados da modelagem da suscetibilidade, foi sobreposto o mapa contendo os polígonos das cicatrizes dos deslizamentos e marcas de rastejo em ambas as escalas e contabilizada a classe mais instável inserida dentro do polígono. Para analisar o desempenho entre as duas escalas, utilizou-se o critério utilizado por Dietrich, Bellugi & Asua (2001), que o resultado do modelo é melhor quanto maior a porcentagem de cicatrizes coincidente nas classes mais instáveis e estas por sua vez representarem a menor área da bacia.

Os resultados da sobreposição dos polígonos sobre os resultados dos modelos indicaram que na escala 1:2.000 84% das cicatrizes e marcas de rastejos foram classificadas nas classes incondicionalmente instáveis e estas por sua vez representam uma área acumulada na bacia do Rio Forquilhas de aproximadamente 7%. Já para o resultado para a escala 1:50.000, cerca de 15% foram coincidentes com as classes incondicionalmente instáveis e estas

somam 4,7% da área da bacia. Comparando ambos os desempenhos, verifica-se que a escala 1:2.000 apresenta um melhor desempenho no mapeamento da áreas suscetíveis a deslizamentos comparado a escala 1:50.000.

Tal resultado converge com os estudos de Dietrich & Montgomery (1998) e Claessens *et al.* (2005) que analisaram o efeito da resolução espacial dos MDT no resultado do modelo e Guimarães *et al.* (2004), que analisou as escalas 1:50.000 e 1:10.000.

Ainda analisando os resultados de porcentagem das áreas classificadas como instáveis através dos valores de $\log(Q/T)$, nota-se que os valores na escala 1:50.000 são ligeiramente maiores. Uma vez que para um *pixel* ser classificado em uma destas três classes os valores de $\log(Q/T)$ devem ser menores que -2,5 e sendo que os parâmetros geotécnicos são iguais para ambas as escalas, os parâmetros variantes para a análise são a declividade e a área de contribuição por comprimento de contorno.

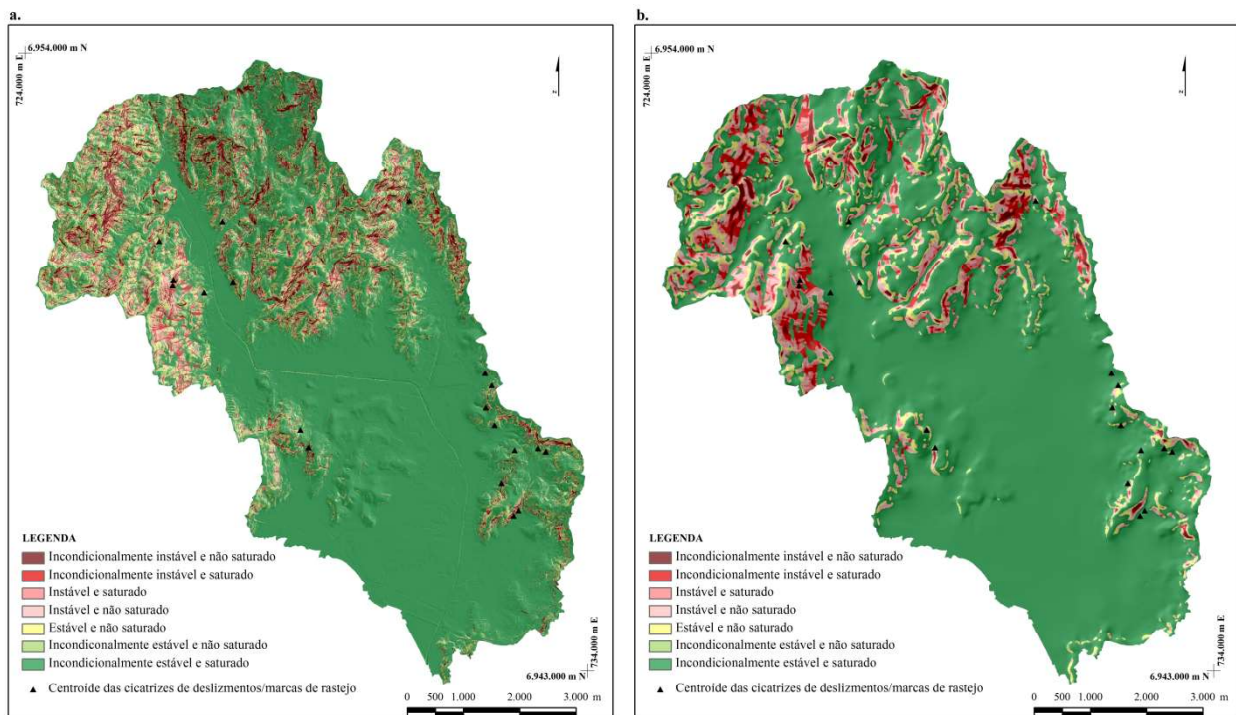


Fig. 8 – a. Mapas de suscetibilidade a deslizamentos rasos a partir das curvas de nível em escala 1:2.000; b. Mapas de suscetibilidade a deslizamentos rasos a partir das curvas de nível em escala 1:50.000.

As figuras 9 e 10 exemplificam a variação dos valores de $\log(Q/T)$ para a unidade geotécnica cambissolo de substrato gnaisse e migmatitos (Cgn) e cambissolo de substrato granito (Cg)

em função dos valores de declividade e área de contribuição por unidade de contorno, sendo estas respectivas unidades os maiores e menores valores resistivos do solo definidos conforme a Tabela 3.

Tabela 4: Quantificação da área de cada classe de estabilidade e a acurácia do modelo SHALSTAB para as escalas 1:2.000 e para a escala 1:50.000

Classes de estabilidade	Escala 1:2.000 (MDT - resolução 1m)					escala 1:50.000 (MDT - resolução 10m)				
	nº cicatrizes	(%) cicatrizes	(%) cic. acumul.	(%) área classe	(%) área classe acumul.	nº cicatrizes	(%) cicatrizes	(%) cic. acumul.	(%) área classe	(%) área classe acumul.
Incondicionalmente instável e não saturado	13	68,4%	68,4%	5,1%	5,1%	0	0,0%	0,0%	1,3%	1,3%
Incondicionalmente instável e saturado	3	15,8%	84,2%	2,2%	7,3%	3	15,8%	15,8%	3,4%	4,7%
Instável e saturado	0	0,0%	84,2%	2,3%	9,6%	0	0,0%	15,8%	4,6%	9,3%
Instável e não saturado	1	5,3%	89,5%	4,3%	13,9%	5	26,3%	42,1%	6,7%	15,9%
Estável e não saturado	1	5,3%	94,7%	6,1%	20,0%	3	15,8%	57,9%	4,9%	20,8%
Incondicionalmente estável e não saturado	1	5,3%	100,0%	9,8%	29,8%	0	0,0%	57,9%	1,6%	22,5%
Incondicionalmente estável e saturado	0	0,0%	100,0%	70,2%	100,0%	8	42,1%	100,0%	77,5%	100,0%

(%) Cic acumul. = (%) cicatrizes acumulada; (%) área classe acumul = (%) área classes acumulada.

Verifica-se que para a unidade geotécnica Cgn (Figura 9), valores de declividade da encosta menores que 17° a encosta é incondicionalmente estável e maiores que 32° é incondicionalmente instável, e para a unidade Cg (Figura 10), 10° e 20°, respectivamente. Nota-se que em ambas as unidades para o valor de log Q/T ser menor que -2,5, a declividade está no intervalo do fortemente ondulado (12° a 24°) e os valores a/b maiores que 100 metros, podendo-se extrapolar esta tendência para as outras unidades geotécnicas.

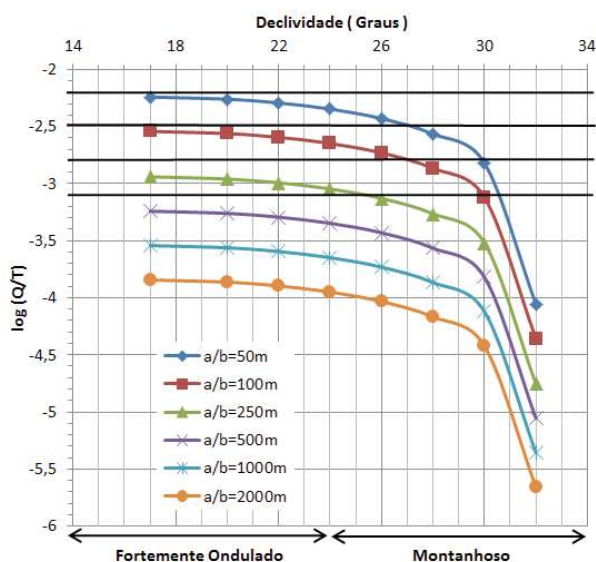


Fig. 9 – Variação dos valores de log(Q/T) em relação a declividade e a/b para a unidade geotécnica Cgn tendo a coesão igual a 3,22 kN/m², ângulo de atrito, 30°, e peso específico, 19,6 kN/m³.

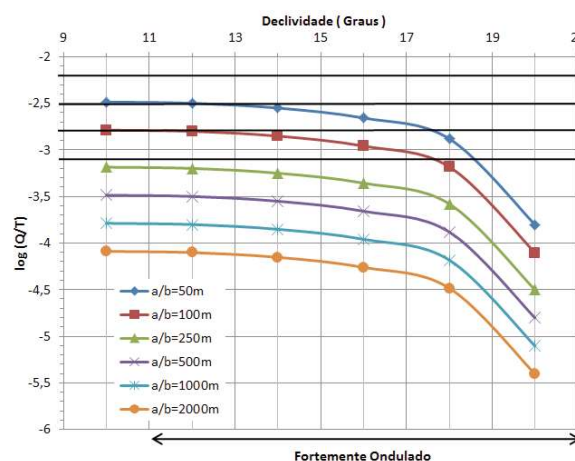


Fig. 10 – Variação dos valores de log(Q/T) em relação a declividade e a/b para a unidade geotécnica Cg tendo a coesão igual a 1,79 kN/m², ângulo de atrito, 19°, e peso específico, 17,0 kN/m³.

Ao comparar as figuras 9 e 10 com a Tabela 5, verifica-se que a porcentagem de área de valores a/b maior que 100 metros é muito superior na escala 1:50.000 em comparação a escala 1:2000. É possível verificar que 15% da área da bacia na escala 1:50.000 possui valores de a/b entre 100 e 1000 metros coincidentes com relevo fortemente ondulado – este relevo é responsável por 30% da área da bacia.

Deste modo, pode-se inferir que na bacia do Rio Forquilhas a maior porcentagem de log(Q/T) menor que -2,5 para a escala 1:50.000 é associada aos baixos valores de ângulo de atrito dos solos da encosta combinados à predominância de relevo com declividade próxima destes

valores, neste caso, o fortemente ondulado, e a generalização do relevo proporcionando maiores valores de a/b espalhados ao longo do terço médio e inferior das encostas. As figuras 11b, 11d e 11f ilustram este padrão na bacia, indicadas pela setas, dentro do limite de uma carta 1:2.000.

Tabela 5: Porcentagem de áreas dos intervalos de a/b em relação a área total da bacia para cada intervalo de declividade

Declividade	1 - 100m		100 - 1000m		<1000m	
	1:2.000	1:50.000	1:2.000	1:50.000	1:2.000	1:50.000
Plano	20,8%	9,5%	3,3%	12,2%	2,68%	8,24%
Suave ondulado	9,3%	6,9%	1,1%	7,2%		
Ondulado	12,7%	8,1%	2,0%	7,9%		
Fortemente ondulado	24,5%	13,7%	5,9%	15,0%		
Montanhoso	11,7%	5,0%	2,9%	5,8%		
Escarpado	2,6%	0,2%	0,5%	0,3%		
Total	81,6%	43,4%	15,7%	48,4%		

Nota-se que além de possuírem acurácia distinta, a distribuição espacial das áreas mais instáveis também possui diferença como apontado Dietrich & Montgomery (1998). Nas figuras 11a, 11c e 11e, verifica-se que o padrão do fluxo subsuperficial é mais dendrítico, com diversos tributários para os canais de maior ordem, declividade mais heterogênea e as áreas instáveis concentradas nos canais e vales íngremes na escala 1:2000. Já para a escala 1:50.000, figuras 11b, 11d e 11f, o fluxo subsuperficial é espalhado, a declividade é mais homogênea com as classes bem agrupadas e as áreas instáveis maiores e espalhadas ao longo da vertente.

5. CONCLUSÕES

A análise da influência da escala cartográfica dos mapas nos resultados das áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos utilizando o modelo SHALSTAB foram realizadas utilizando os mesmos parâmetros geotécnicos (coesão, ângulo de atrito interno e peso específico do solo) para as duas escalas, variando apenas os parâmetros topográficos (declividade e área de contribuição por comprimento de contorno). Para a produção dos modelos digitais de terreno utilizou-se o mesmo interpolador e para o mapa de declividades e as áreas de contribuição por comprimento de contorno, o mesmo algoritmo.

A produção do mapa geotécnico mostra-se uma importante ferramenta para fornecer subsídios ao conhecimento das características dos solos e a espacialização dos dados de entrada diminuindo diminuir incertezas no método.

As análises dos mapas de declividade e área de contribuição por comprimento de contorno permitiram verificar que a escala 1:2.000 representa melhor os detalhes e as nuances do relevo, uma vez que consegue representar até pequenas feições íngremes e concavidades da superfície.

Os resultados do modelo SHALSTAB indicam que para um profundidade de ruptura de 5 metros a escala 1:2.000 obteve um desempenho superior a escala 1:50.000, com 84% das cicatrizes de deslizamentos e marcas de rastejos inseridas nas classes incondicionalmente instáveis do modelo, que correspondem a 7% da área da bacia.

Este trabalho complementou os estudos realizados com por Dietrich & Montgomery (1998), Classens *et al.* (2005) e Guimarães *et al.* (2004), demonstrando ainda graficamente a diferença da acurácia dos resultados no modelo para ambas as escalas. Além disto, o trabalho também justifica a maior área classificada dentro das classes instáveis ($\log Q/T < -2,5$) para a escala 1:50:000. Pode-se inferir na bacia do Rio Forquilhas tal fato está associado baixos valores de ângulo de atrito dos solos da encosta combinados a predominância de relevo com declividade próxima destes valores e a generalização do relevo proporcionando maiores valores área de contribuição por comprimento de contorno ao longo do terço médio e inferior das encostas.

Conclui-se que o mapa geotécnico e o mapa de suscetibilidade quando produzidos a partir de cartografia em escala grande permite maior detalhamento, identificam pontualmente e com maior precisão a ocorrência de movimentos de massa, ora provocada por processos naturais decorrentes da formação geodinâmicas ou até mesmo por possíveis alterações das condições físico-ambientais de responsabilidade antrópica. São de grande aplicabilidade, pois permitem análises ao nível da parcela cadastral, resguardando o direito de propriedade, de vizinhança implicando na necessidade do respeito quanto às alternativas distintas de uso do solo segundo a sua aptidão. Oferece o amparo técnico e conseqüentemente

jurídico necessários aos processos de tomada de decisão nos assuntos referentes ao planejamento e gestão territorial, gestão do uso e ocupação do solo, incluindo a resolução de conflitos fundiários. O reconhecimento

técnico passa a servir de embasamento jurídico para a Lei 12608/2012 e demonstrar como é possível responder com segurança aos rigores estabelecidos na legislação. (ROSENFELDT & LOCH, 2012).

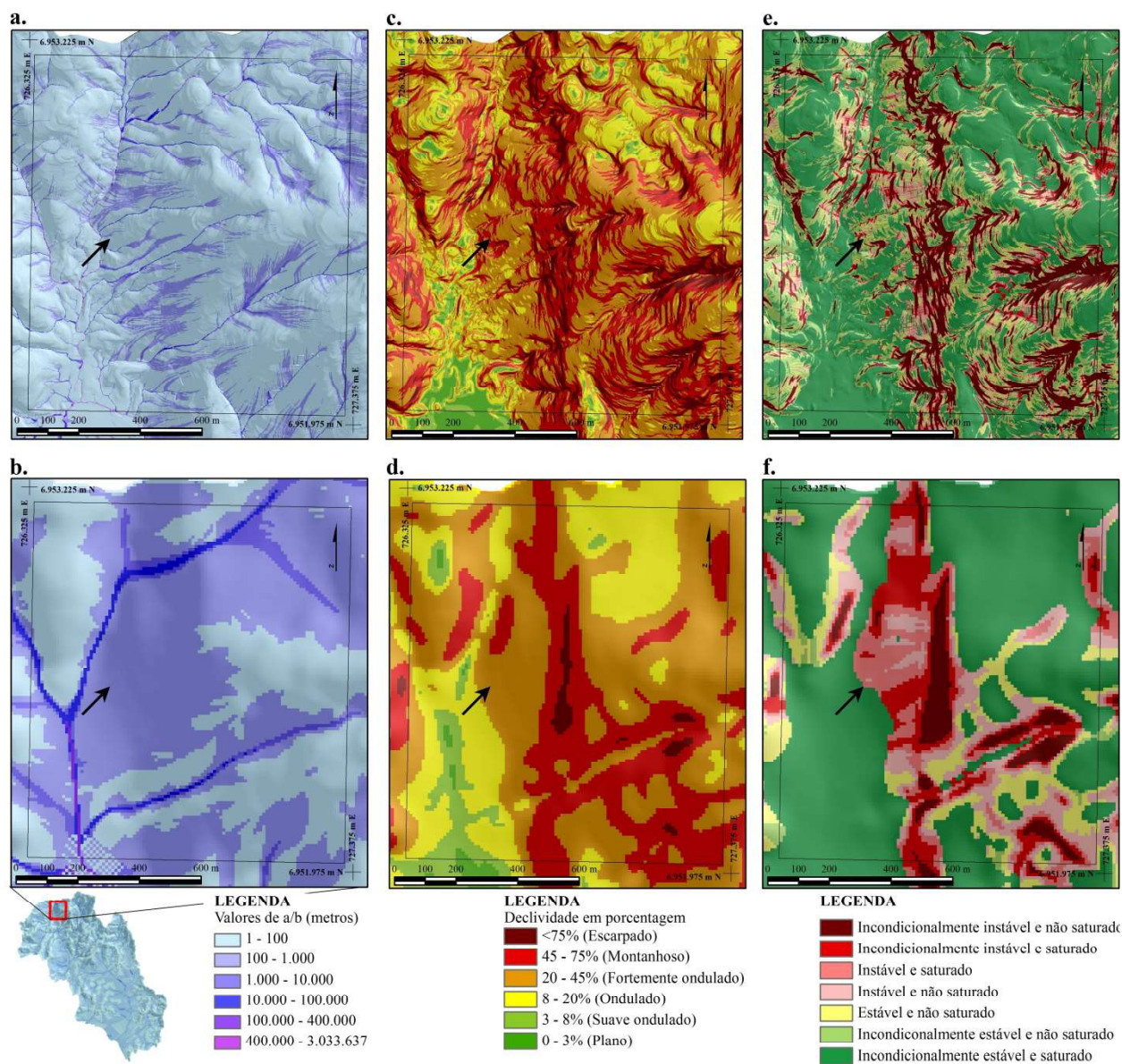


Fig. 11 – Seta indicando a influência dos valores de a/b e declividade na variação das classes de estabilidade do modelo SHALSTAB para a bacia do Rio Forquilha; a. Valores de a/b para escala 1:2.000 b. Valores de a/b para escala 1:50.000; c. Valores de declividade para escala 1:2.000; d. Valores de declividade para escala 1:50.000; e. Mapa de suscetibilidade a deslizamento translacionais rasos para escala 1:2.000; f. Mapa de suscetibilidade a deslizamento translacionais rasos para escala 1:50.000.

Por fim, é importante destacar que os dados gerados, combinados a outros métodos reconhecidos no meio científico, como geoprocessamento e fotointerpretação de série histórica de fotografias aéreas; permitem aperfeiçoar, validar e ajustar os mapas pedológicos e geotécnicos, bem como as áreas suscetíveis a deslizamentos para posterior aferição em campo. Além disto,

permitem inventariar outros dados importantes para estudos desta natureza, por exemplo, as cicatrizes de deslizamentos passados, a cobertura florestal, classificação do uso do solo e expansão da mancha urbana. Estes métodos são ferramentas de mediação e controle ao planejamento e gestão territorial bem como ferramentas para uso no campo da engenharia e obras civis.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. **Hydrological Sciences Journal**, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

BRASIL. **Lei N° 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em : 10 de julho de 2016.

CLAESSENS, L; HEUVELINK, G. B. M.; SCHOORL, J. M.; VELDKAMP, A. DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling. **Earth Surf Proc Landforms**. v. 30, p. 461–477, 2005.

COPPOLA, D. P. **Introduction to international disaster management**. 3. ed. Burlington, MA, US : Elsevier, 2015. 733p.

DIAS, R. D. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.16, p.51-55, 1995.

DIETRICH, W. E.; BELLUGI, D.; ASUA, R. R. Validation of the Shallow Landslide Model, SHALSTAB, for Forest Management. Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas. **Water Science and Application**, v. 2, p. 195-227, 2001.

DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.R. **A digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. 1998. 36p. Disponível em: < <http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph/shalstab/index.htm> > Acesso em: 21 Nov. 2016.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2. ed (revista e ampliada). São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line). p. 7-1 – 7-36

Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 29 de setembro de 2015.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FLORES, J. A. A. PELLERIN, J. R. G. M.; ABREU, J. J. de; TOMAZZOLI, E. R.; SILVA, E. ; GRÉ, J. C. R. HIGASHI, R. A. R.; ESPÍNDOLA, M.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R. F.; DESTRO, J. N. **Elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de São José, Estado de Santa Catarina**. Relatório Técnico. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos - Ministério das Cidades. Florianópolis: UFSC, 2015. 80p.

GOMES, R. A. T. **Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa**. 2006. 180p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, O. A. de; GOMES, R. A. T.; FERREIRA, N. Comparative analysis of the SHALSTAB model from 1: 10,000 and 1: 50,000 scales. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS'04. Proceedings**. 2004 IEEE International. IEEE, 2004. p. 1307-1309.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES R. A. T.; CARVALHO JUNIOR, O.A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering**

Geology, v. 69, n. 1, p. 99-108, 2003.

HIGASHI, R.A.R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. 2006. 486 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Área de Concentração: Infra-Estrutura e Gerência Viária) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, p. 211–232, 1989.

MEIRELLES, M. C. E; DIAS, R. D. Estudo da Erodibilidade de Solos Residuais do Complexo Granito-Gnáissico – Município de Santo Amaro da Imperatriz, SC. In: **5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados**, São Carlos, 2004, v. 1, p. 465-470.

MICHEL, G. P. **Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação**. 2013. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) - Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R. F. Comparative analysis of SHALSTAB and SINMAP for landslide susceptibility mapping in the Cunha River basin, southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**. v.14, n., 7, p. 1266–1277, 2014.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, Abril 1994.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. **Water Resources Research**, v.22, n. 5, p. 794-804, 1986.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ (PMSJ). Elaborado por GT-CADASTRO/FEESC/UFSC. **Leitura da cidade de São José, SC (Tendências e Potenciais)**. Florianópolis, 2004, 337 p, mapas (92) - Projeto de Revisão do Plano Diretor de São José-SC.

RAIMUNDO, H. A.; SANTOS, G. T; DIAS, R.

D. Aspectos Geotécnicos do Contato Granito/Diabásio Associados à Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC. In: **GEOSUL – III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul**, Joinville - SC, 2002, p. 251-263.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R.F.; REDIVO, A.L.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A. Aplicação do modelo SHALSTAB, em ambiente ArcView, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do Quadrilátero Ferrífero (MG). **Espaço & Geografia**, Brasília, v.5, n. 1, p. 49-67, 2002.

REGINATTO, G. M. P.; MACCARINI, M.; KOBAYAMA, M.; HIGASHI, R. A. R.; GRANDO, A.; CORSEUIL, C. W.; CARAMÉZ, M. L. Shalstab application to identify the susceptible areas of shallow landslides in Cunha River watershed, Rio dos Cedros city, SC, Brazil. **Proceedings of the 4th GEOBIA**, Rio de Janeiro - Brazil. p.108-113, 2012.

ROSENFELDT, Y.A.Z. ; LOCH, C. Necessidade Técnica e Cartográfica como Amparo Jurídico aos Processos de Regularização Fundiária. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. 64/2, p. 213-226, 2012.

SAKAMOTO, M. Y.; ABREU, R.P.; CONTESSI, R. J. ; OLIVEIRA, M. C. G. de ; GUESSER, L. H. ; HIGASHI, R. A. R. Mapeamento geotécnico de áreas de risco da Bacia do Itacorubi. In: XV Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2015, Buenos Aires - AR. **XV Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**, 2015. p. 3073- 3080.

SANTOS, G. T. **Integração de Informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. 1997. 209p. Tese (Doutorado em Engenharia) Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SBROGLIA, R. M.; HIGASHI, R. A. R. ; TOMAZZOLI, E. R. ; GUIMARÃES, R. F. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na Microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática. **RBC. Revista Brasileira de Cartografia**

(Online), v. 68, p. 339-354, 2016.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water resources research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

TÉCNOMAPAS. **Transformação entre o SAD 69 e o SIRGAS2000 no ArcGIS**. 18p. Disponível em: < https://geobases.es.gov.br/Media/Geobases/documentos/manuais/032_SAD69_SIRGAS2000_ArcGis_NTV2.pdf >. Acesso em: 12 de agosto de 2017.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In : TOMINAGA, L. K ; SANTORO, J ; AMARAL, R. **Desastres naturais : conhecer para prevenir**. São Paulo : Instituto Geológico, 2009. 1 ed. p. 25-38.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (CEPED). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil**. Centro Universitário

de Estudos e Pesquisas sobre Desastre. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012. 183p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (CEPED). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Santa Catarina**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastre. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011. 168p.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNSDR). Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters. In: **Final report of the World Conference on Disaster Reduction, A/CONF. 206/6**, 18-22 Jan, 2005, Kobe, Hyogo, Japan.

WORLD BANK; UNITED NATIONS. **Natural Hazards, UnNatural Disasters: The Economics of Effective Prevention**. Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2010. 254p.