

# CARTAS DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS E PLANOS DE SEGURO NO BRASIL: UM ENSAIO EM CARAGUATATUBA (SP)

Landslides risk maps and insurance plans in Brazil:  
an essay in Caraguatatuba (SP)

Oswaldo Augusto Filho \*

**RESUMO** – O artigo apresenta os principais resultados de pesquisa voltada à obtenção de método de elaboração de cartas de risco de escorregamento quantificadas. Também é discutida a utilização destas cartas de risco como subsídio para implementação de planos de seguro na mitigação dos danos sociais e econômicos decorrentes da deflagração de escorregamentos em áreas urbanas brasileiras. O método proposto está estruturado em três etapas principais: Inventário, Análise de Perigo e Análise de Risco. O Sistema de Informação Geográfica - SIG foi utilizado como ferramenta básica para o registro, análise e cartografia em todas estas etapas. A pesquisa também compreendeu um ensaio de aplicação em uma área piloto localizada em Caraguatatuba, SP.

**SYNOPSIS** – The paper presents the main results related to a research on landslide risk mapping that applies quantitative models for risk evaluation. It also discusses the use of these risk maps as a technical base for insurance plans in order to reduce the economic and social consequences of landslide hazards in Brazilian urban areas. The proposed method for landslide risk mapping comprises three main steps: Inventory, Hazard Analysis and Risk. The Geographic Information System - GIS was used as basic tool for the record, analysis and mapping in all these steps. The research also comprised an application essay in a pilot area, located in Caraguatatuba, São Paulo State.

## 1 – INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, muitas pesquisas e trabalhos aplicados têm sido realizados com a obtenção de avanços na identificação, análise e implementação de medidas de prevenção e redução dos acidentes geológicos exógenos no Brasil, em particular, os associados à deflagração de escorregamentos e processos correlatos. Entre estes, destacam-se: utilização de cartas/mapas geotécnicos e de risco no planejamento urbano; implementação de obras civis corretivas e mitigadoras em áreas de risco geológico; criação de sistemas para situações de emergência nos acidentes geológicos e de planos preventivos de defesa civil para escorregamentos e enchentes; aprimoramento das legislações ligadas às questões do uso do solo, nas esferas municipal, estadual e federal; e disseminação de informações públicas e treinamento (congressos, cursos, eventos culturais e outros).

Os principais tipos de risco hidrológico e geológico no território brasileiro, em termos de danos sociais e econômicos, são os processos da dinâmica superficial, abrangendo as inundações e as enchentes, os movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos, no seu sentido amplo), os fenômenos erosivos, o assoreamento, as subsidências e os colapsos de solo. Também já foi claramente

---

\* DSc. Professor – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo  
– USP – oafilho@sc.usp.br

identificada a relação direta entre a frequência de acidentes relacionados à deflagração de escorregamentos nas cidades brasileiras e o intenso processo de urbanização vivido no país a partir da década de 70 que, combinado com a falta de recursos e de políticas habitacionais adequadas, resultaram na ocupação desordenada de áreas geologicamente desfavoráveis e na consequente geração de graves situações de risco.

Tendo-se em conta as particularidades do Brasil, no que diz respeito à tipologia e à forte influência dos aspectos sociais e econômicos na dinâmica dos acidentes naturais e geológicos, as cartas ou mapas de risco têm sido elaborados geralmente em grandes escalas, abrangendo áreas urbanas e periurbanas, utilizando análises de risco não quantificadas e sendo voltados, principalmente, para ações emergenciais ou de curto prazo.

Na década de 70-80, artigos como de Arnould (1976), Smolka e Berz (1981) já discutiam a implementação de planos de seguro como medida mitigatória para os acidentes naturais, e entre estes, os de origem geológica. Estes autores apontavam vários fatores responsáveis pelo aumento da importância dos desastres naturais para a indústria de seguros, incluindo entre estes: o crescimento da população mundial; o incremento da concentração dos valores em áreas urbanas, altamente industrializadas; o desenvolvimento de novas e sensíveis tecnologias; e a cobertura crescente de seguros contra os perigos naturais em relação aos outros tipos de cobertura mais tradicionais (vida, saúde, veículos, etc).

As experiências de utilização de seguros como medida de redução dos danos causados por acidentes naturais e geológicos ainda são restritas no Brasil. Na verdade, os valores totais envolvidos na indústria nacional de seguros, considerando todos seus ramos (vida e não vida), podem ser considerados modestos, quando comparados com outros países, ocupando apenas o 15.º lugar no *ranking* mundial. Os ramos de responsabilidade civil geral, riscos de engenharia, riscos de petróleo, riscos nucleares e riscos rurais estão relacionados diretamente com acidentes naturais e geológicos, tema do presente artigo.

Apesar de atualmente não existirem programas de seguro para desastres naturais no Brasil, incluindo os de natureza geológica, o fim do monopólio de seguros na constituição, o desenvolvimento tecnológico neste campo e o fortalecimento do próprio mercado nacional de seguros, indicam que este tipo de medida poderá vir a ser aplicado em alguns casos, se somando às demais ações de redução e prevenção de acidentes geológicos atualmente utilizadas no país.

Os planos de seguro também tendem a se firmar ainda mais nos grandes empreendimentos e obras civis, nas suas fases de projeto, implantação e operação, bem como na área de mitigação dos impactos ambientais gerados pelas diferentes intervenções antrópicas.

O objetivo do artigo é apresentar os principais resultados obtidos durante pesquisa voltada à proposição de método de elaboração de cartas de risco de escorregamentos, utilizando modelos quantitativos para avaliação dos riscos. A referida pesquisa também abordou a análise preliminar da utilização destas cartas de risco como subsídio para a implementação de planos de seguro como medida de mitigação dos danos sociais e econômicos decorrentes da deflagração de escorregamentos em áreas urbanas brasileiras.

Entre as principais etapas desenvolvidas, destacam-se: treinamento realizado no Grupo de Análise de Perigos de Escorregamentos do Serviço Geológico Americano, na cidade de Golden, Colorado (Landslide Hazards Group of United States Geological Survey - USGS, Golden, Colorado) e um ensaio de aplicação do método proposto em uma área piloto, localizada no município de Caraguatatuba, no Litoral Norte do estado de São Paulo, Brasil.

## 2 – BASE TEÓRICA E MÉTODO PROPOSTO

O método proposto para elaboração de cartas de risco de escorregamentos quantificadas foi estruturado nos seguintes fundamentos ou pressupostos:

- Adoção de conceitos diferenciados entre suscetibilidade, perigo e risco, conforme proposto pelo IUGS (1997);
- Adaptação de metodologias de cartografia de risco de escorregamentos já apresentadas internacionalmente e nacionalmente, com destaque para as de Varnes et al. (1985), Hartlén e Viberg (1988), Terlien et al. (1995), Einstein (1997), IUGS Working Group Committee on Risk Assessment (1997) e trabalhos do USGS, com destaque para os recentes em ambiente de SIG ARC/INFO, como os de Wilson e Jayko (1997), Jibson et al. (1998) e Campbell et al. (1999), Einstein e Karan (2001), Hutchinson et al. (2004), Van Westen (2004), entre outros;
- Elaboração da carta de risco de escorregamentos segundo três grandes etapas: Inventário; Análise de Perigo e Análise de Risco (Figura 1). Utilização do ambiente de Sistema de Informação Geográfica - SIG em todas estas etapas, empregando-o como ferramenta básica para as análises e modelagens qualitativas e quantitativas e para a produção de mapas, imagens, gráficos e relatórios;
- Elaboração da carta de perigo tendo como base a identificação das causas, dos agentes, dos condicionantes, do tipo de material, do volume, da velocidade e do raio de alcance dos movimentos gravitacionais de massa. Proposição dos modelos fenomenológicos qualitativos que servirão de base para a modelagem matemática e a quantificação do níveis de probabilidade de deflagração desses processos; e
- Manutenção dos referenciais gerais da aplicabilidade à realidade ambiental brasileira, em seus aspectos técnicos, sociais, económicos e os relativos aos meios físico e biótico.

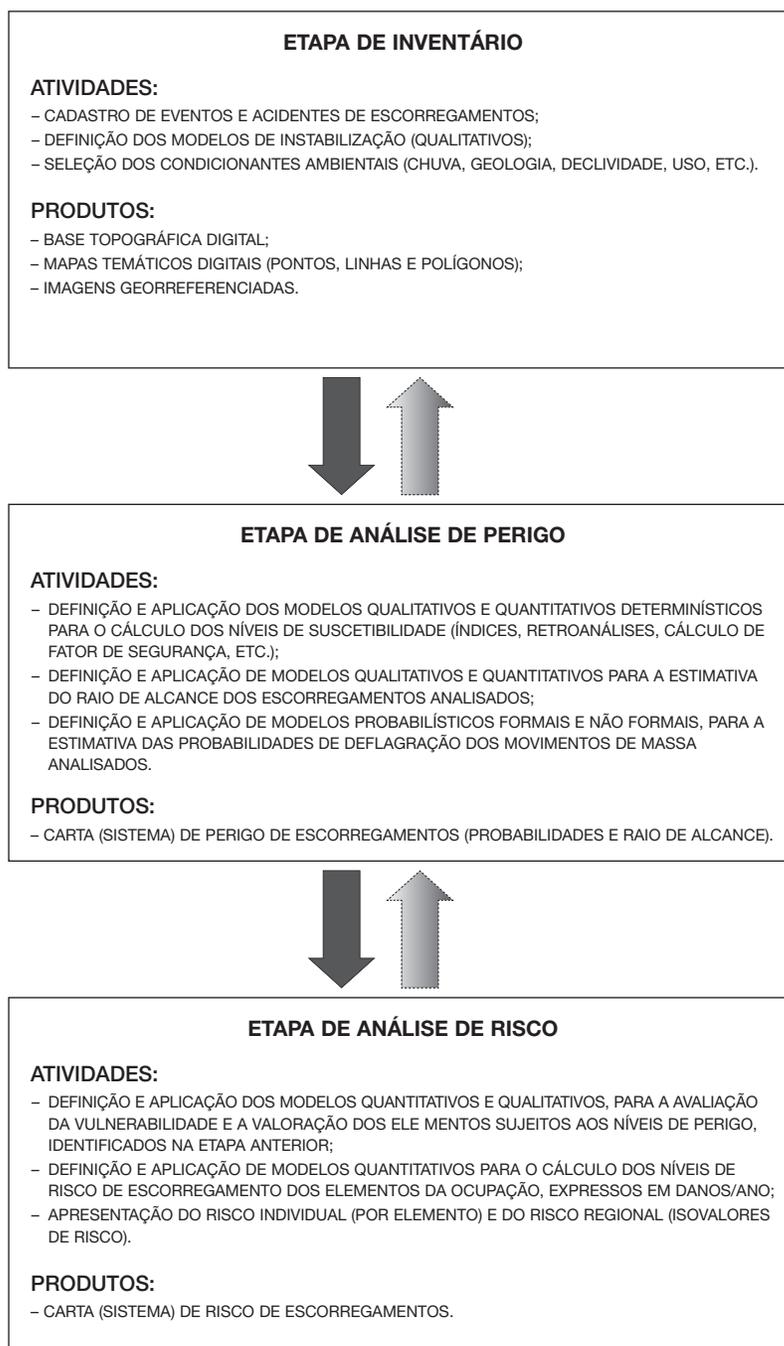
Como a proposta prevê todo o seu desenvolvimento em ambiente de SIG, mais do que produtos cartográficos estáticos, as cartas de perigo e de risco de escorregamento obtidas se constituirão em sistemas de análise, permitindo atualizações, detalhamentos, etc. Essa característica sistêmica do roteiro aqui proposto é indicada pelas setas em ambos os sentidos no fluxograma da Figura 1.

Os modelos qualitativos e quantitativos utilizados na etapa de Análise de Perigos são os mesmos propostos pelo IUGS (1997), destacando-se: a obtenção da probabilidade de ruptura a partir de Fatores de Segurança - F.S. determinísticos e a consideração das incertezas associadas às variáveis envolvidas nesses modelos; a análise da frequência de eventos/acidentes de escorregamentos ocorridos num determinado período de tempo em uma ou várias regiões (análise histórica); a correlação entre os escorregamentos e a probabilidade de manifestação de determinado agente deflagrador, como as chuvas; o cálculo das probabilidades combinadas de variáveis primárias ou eventos individuais (precipitação, infiltração, variação do nível d'água, variabilidade dos parâmetros geomecânicos, etc.); e a avaliação direta, através do julgamento de especialistas (probabilidade subjetiva), empregando ou não modelos conceituais, como a árvore de decisão ou falha.

Estas cartas (sistemas) de perigo e risco deverão prover as bases necessárias para elaborar a análise de risco quantificada, incluindo a consideração da vulnerabilidade e a valoração dos elementos passíveis de serem afetados pelos escorregamentos, com a caracterização do risco individual (por elemento) e do risco regional (isovalores na área analisada).

No caso da utilização destas cartas (sistemas) para subsidiar a implementação de planos ou programas de seguro, outro tema investigado pela pesquisa, a quantificação dos graus de risco de

escorregamentos segundo os aspectos discutidos acima possibilita uma base mais sólida para a definição dos elementos (tipos de ocupação) a serem submetidos ao plano de seguro e no estabelecimento das apólices e prêmios, dentro de um programa geral de gerenciamento de riscos na área considerada.



**Fig. 1** – Etapas do método proposto.

### **3 – ENSAIO DE APLICAÇÃO**

O ensaio de aplicação foi realizado em uma área piloto com o intuito de validar o método proposto para a elaboração de cartas de risco quantificadas e para realizar algumas análises preliminares relativas à implementação de planos de seguro com base na carta obtida.

A área piloto está localizada no município de Caraguatatuba, no Litoral Norte do estado de São Paulo. Ela possui uma área de 33,9 km<sup>2</sup> e compreende, basicamente, a bacia hidrográfica do rio Santo Antonio, com relevo serrano sustentado por rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano (granitos e migmatitos) e planícies continentais e marinhas formadas por sedimentos quaternários recentes (Figura 2).

Muitos eventos e acidentes decorrentes da deflagração de escorregamentos de diferentes tipologias têm ocorrido na região da área piloto, afetando tanto áreas de ocupação de baixa renda, semi-urbanizadas, como edificações comerciais e residenciais de maior valor venal. A área foi selecionada por suas características ambientais favoráveis à ocorrência de acidentes decorrentes de escorregamentos e devido a existência de dados digitais prévios que otimizaram os recursos e tempo na elaboração dos mapas temáticos básicos.

Os programas de SIG Arcinfo versão 7.2 (Windows NT) e Arcview versão 3.0a (Windows) foram utilizados em todas as etapas do ensaio de aplicação. Os resultados obtidos com o ensaio são apresentados de acordo com as principais etapas do método proposto para elaboração de cartas de risco de escorregamentos quantificadas: Inventário; Análise de Perigo; e Análise de Risco.

#### **3.1 – Etapa de Inventário**

Esta etapa envolveu a identificação dos principais tipos de escorregamento presentes na área piloto, a realização dos levantamentos básicos e dos mapas temáticos. Todas as informações foram armazenadas na estrutura dos SIG utilizados na pesquisa (Arcinfo e Arcview) e foram utilizadas nas etapas posteriores de análise de perigo e de risco.

Um banco de dados foi estruturado com as informações dos acidentes associados à deflagração de escorregamentos na área piloto no período de 1988 a 1999. Os dados foram obtidos a partir dos registros dos relatórios de atendimento de um Plano Preventivo de Defesa Civil para escorregamentos – PPDC, que está em operação neste município desde 1988 (Macedo et al., 1998).

Foram identificados 20 acidentes associados à deflagração de acidentes na área piloto no período de 1988 a 1999. A maioria deles relacionado a escorregamentos rasos de solo de pequeno porte, afetando principalmente cortes e aterros. Os acidentes geralmente possuem algum tipo de indução antrópica, como geometria inadequada dos cortes e aterros, ausência de sistemas de drenagem e proteção superficial, etc. (Quadro 1).

Outros tipos de instabilização também ocorrem na área piloto, como escorregamentos de maior porte, mobilizando solo, saprolito, e algumas vezes, rocha alterada. Estes processos são condicionados pela presença de estruturas reliquias desfavoráveis no maciço e ocorrem em taludes de corte de grandes dimensões, associados às áreas de empréstimo em atividade ou não, muito comuns na região.

Na bacia do rio Santo Antonio (área piloto) já aconteceu uma corrida de lama de grandes dimensões, deflagrada nos dias 17 e 18 de março de 1967. Centenas de escorregamentos foram de-

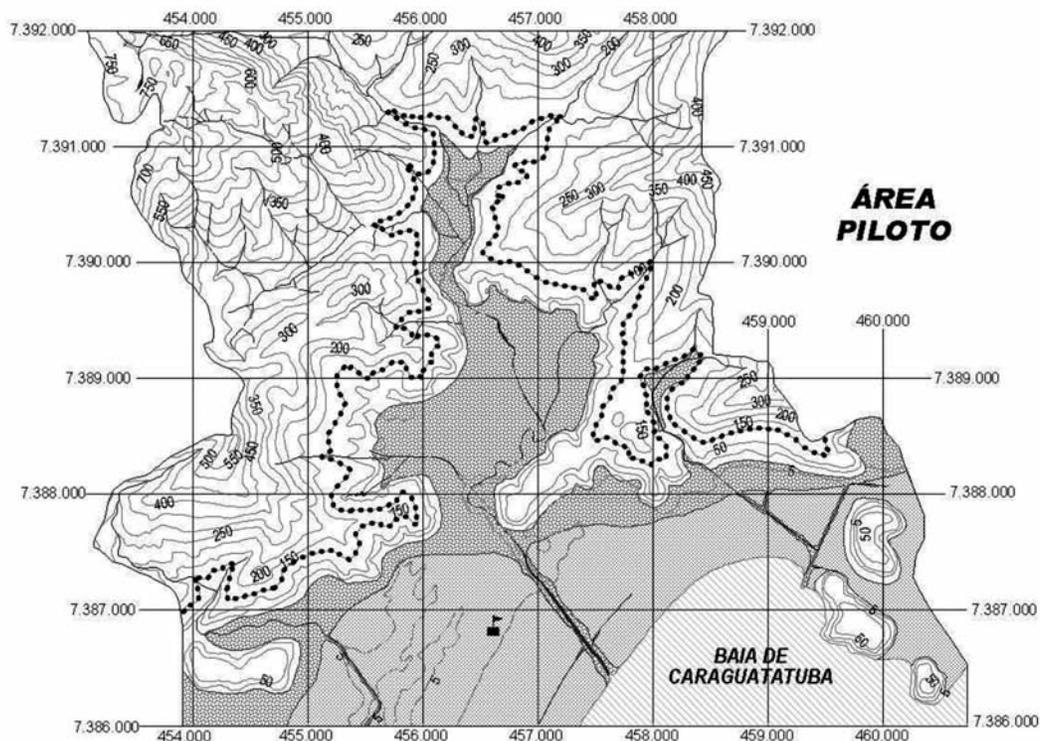


Fig. 2 – Área piloto do ensaio de aplicação.

sencadeados nestes dois dias que, combinados com uma expressiva vazão das drenagens da bacia, acabaram resultando num grande volume de detritos, composto de blocos, material arenoso e argiloso, além de troncos e restos vegetais, que percorreu toda a extensão da porção basal do rio Santo

Antonio, atingindo a orla marítima. Este acidente extraordinário resultou em 120 vítimas fatais, e a Rodovia Tamoios (SP-099) foi interrompida em vários trechos. Os postos pluviométricos registraram cerca de 586 mm de chuva nos dois dias diretamente relacionados à deflagração da corrida de lama.

**Quadro 1** – Acidentes associados à deflagração de escorregamentos na área piloto no período de 1988 a 1999 (Augusto Filho, 2001).

Acidente	Data	Descrição (*)
A1	23/3/91	Esc. de solo pequeno porte com dano parcial de 1 moradia (Jd. Francis)
A2	23/3/91	Esc. de solo pequeno porte com tombamento de muro (Jaraguazinho).
A3	26/11/92	Esc. de solo pequeno porte com dano parcial de 1 moradia. (Jd. Francis).
A4	5/3/93	Esc. de solo resultando na interdição de 10 moradias (Mo. Sumaré).
A5	5/3/93	Esc. de solo com blocos de rocha. Dano parcial de 1 moradia e 1 vítima fatal (Mo Benfica).
A6	5/3/93	Esc. de solo pequeno porte com danos de pequena monta (Jd. Francis).
A7	29/7/93	Esc. de solo e de aterro com danos de pequena monta (Jd. Francis).
A8	29/7/93	Esc. de solo com danos de pequena monta (Jd. Francis).
A9	29/7/93	Esc. de solo e queda de blocos com danos de pequena monta (Jd. Francis).
A10	8/2/94	Vários esc. de solo com danos de pequena monta (Jd. Francis).
A11	8/2/94	Esc. de solo em talude de corte com danos de pequena monta (Jaraguazinho).
A12	13/2/94	Esc. de solo colocando 6 moradias em risco (Jd. Francis).
A13	13/2/96	Esc. de solo e trincas em saprolito colocando 4 moradias em risco (Mo. Benfica).
A14	13/2/96	Esc. de solo raso com condicionante estrutural colocando 1 moradia em risco (Caputera).
A15	13/2/96	Esc. de aterro da Rodovia SP-099. Comprometimento parcial do acostamento da rodovia.
A16	23/3/96	Esc. de grande porte (solo e blocos rochosos) em caixa de empréstimo. Serviços de desobstrução de grande porte na Rodovia SP-099.
A17	21/10/97	Esc. de solo grande porte em talude de corte com danos de pequena monta (Sumaré).
A18	21/10/97	Queda de blocos com danos de pequena monta (Caputera).
A19	21/10/97	Esc. de solo planar raso com danos de pequena monta (Estrela Dalva).
A20	17/01/99	Esc. de solo em corte e aterro com danos de pequena monta (Jaraguazinho).

\* Abreviaturas: Esc = escorregamento; Jd = Jardim; Mo = Morro.

Durante a etapa de inventário, 34 cicatrizes de escorregamento foram mapeadas a partir da análise das fotos aéreas de baixa altitude (escala aproximada 1:2.000), que foram digitalizadas e georreferenciadas na base topográfica. Estas fotos também foram utilizadas para a cartografia de 2.073 edificações que foram analisadas nas etapas de perigo e risco (Figura 2). O ambiente de SIG permitiu o cruzamento dos atributos espaciais com as informações numéricas e de texto, disponíveis na forma de tabelas e ou de banco de dados.

Ainda na linha da caracterização dos tipos de movimentos gravitacionais de massa da área piloto, dada a estreita relação entre os índices pluviométricos e a deflagração destes processos no Brasil e, em particular, na área estudada, foram realizadas análises preliminares do comportamento pluviométrico local. Elas foram voltadas, principalmente, para o estabelecimento de valores de precipitação associados aos eventos e acidentes decorrentes de escorregamentos e os seus correspondentes tempos de retorno.

Esta análise pluviométrica foi baseada na série histórica de 54 anos do posto pluviométrico existente na porção sul da área de estudo (Figura 2). Foram calculados os tempos de retorno das chuvas diárias (ppt de 24 horas) e das precipitações acumuladas em três dias (parâmetro utilizado na operação do PPDC) pelo método de Gumbel (Gumbel, 1958).

As correlações com índices pluviométricos indicaram que a maioria dos escorregamentos registrados na área de estudo podem ser considerados frequentes ou com baixos períodos de retorno, variando entre 1 a 4,5 anos para chuva acumulada de 3 dias e de 1 a 3 anos para precipitações diárias. Para a chuva associada à corrida de lama de 1967 (acumulada de 3 dias), o tempo de retorno obtido foi de 1.226,6 anos, ou a probabilidade anual de 0,0008.

Os seguintes mapas temáticos foram elaborados na etapa de inventário do ensaio de aplicação: 1) Mapa Topográfico, com a localização dos acidentes associados a escorregamentos no período 1988-1999, as cicatrizes de escorregamentos, as edificações e demais feições de interesse mapeadas a partir das fotos aéreas na escala 1:2.000 georreferenciadas; 2) Mapa com a representação do Modelo Digital de Elevação - MDE; 3) Mapa de Declividade; 3) Mapa de Uso e Ocupação; e 4) Mapa Geológico-Geotécnico. Estes mapas foram produzidos com base em informações de relatórios, mapas topográficos e temáticos pré-existentes, imagem de satélite e fotos aéreas com escalas entre 1:50.000 a 1:2.000, além de controle de campo. Os mapas temáticos digitais foram apresentados na escala básica de 1:10.000. A Figura 3 ilustra alguns dos resultados (visualização do MDE e o Mapa de Declividade).

### 3.2 – Etapa de Análise de Perigo

Na etapa de análise de perigo foram desenvolvidas correlações entre as cicatrizes de escorregamento, expressas em termos de área, e os diferentes fatores condicionantes mapeados na etapa de inventário (classes de declividade, formas de uso e ocupação, unidades geológico-geotécnicas, etc.). Estes fatores foram analisados de forma individual (Figura 4) e combinada em classes de terreno, resultantes da sobreposição dos mapas temáticos (Figura 5). Os resultados obtidos foram usados para formulação de um quadro regional dos diferentes níveis de suscetibilidade a escorregamentos de solo na área piloto, considerando-se os condicionantes ambientais mais importantes na dinâmica destes processos (meios físico, biótico e socioeconômico).

Um modelo de ruptura simples e adequado aos escorregamentos identificados na etapa de inventário foi adotado para o desenvolvimento da análise quantitativa de perigo. Foram analisados os escorregamentos planares de solo, deflagrados pela infiltração de uma frente de saturação e a consequente redução dos parâmetros de resistência de solo (coesão, principalmente), sem a influência de nível d'água.

Este tipo de escorregamento e de mecanismo de ruptura foram escolhidos porque são muitos frequentes na área de estudo e podem ser avaliados quantitativamente por métodos de análise de estabilidade simples (ruptura planar em talude infinito).

Esta análise quantitativa buscou a determinação da probabilidade de ocorrência destes escorregamentos na área piloto, resultando em uma carta de perigo com os parâmetros mínimos para subsidiar a posterior análise de risco e a implementação de planos de seguro.

Os Fatores de Segurança - FS foram calculados em células de terreno de 5 m por 5 m (grid). Adotou-se a superfície de ruptura a 1,0 m de profundidade e apenas um horizonte homogêneo de solo (solo superficial, laterizado), ou seja, apenas uma família de parâmetros geomecânicos na direção vertical (até profundidade de 1,0 m) para cada célula de terreno analisada.

Foram definidos 51 setores de encosta para o cálculo dos FS, apresentando características favoráveis à deflagração do tipo de escorregamento analisado e com edificações passíveis de serem

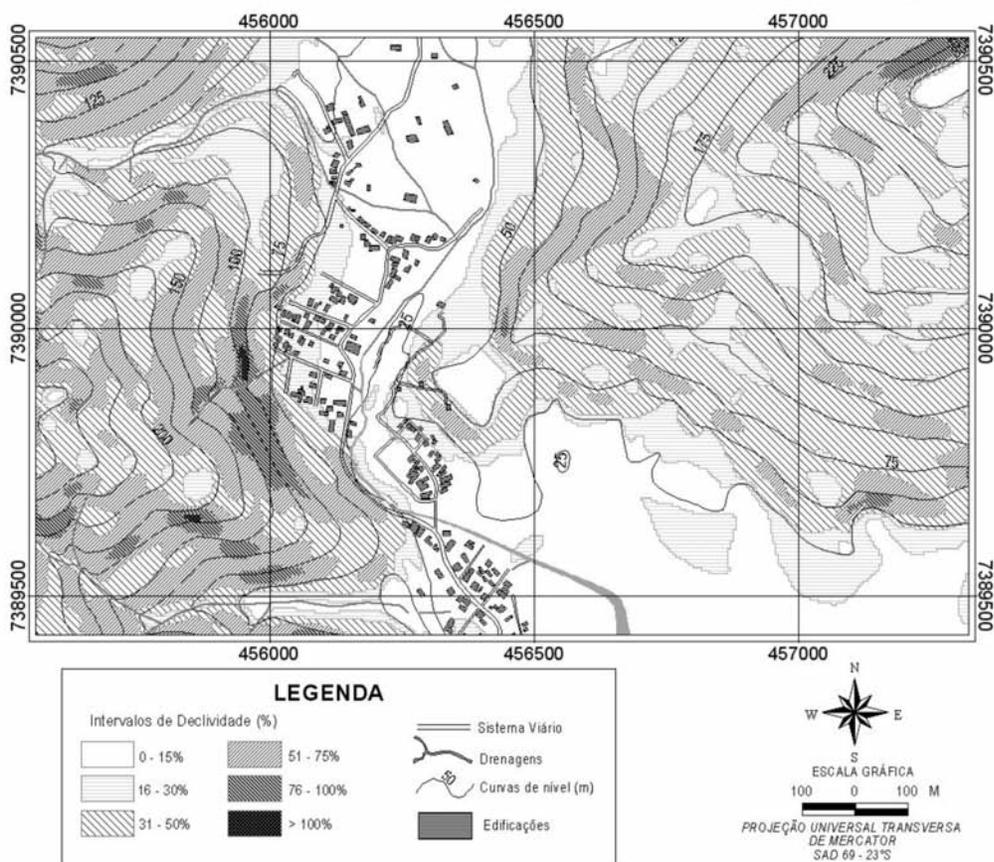
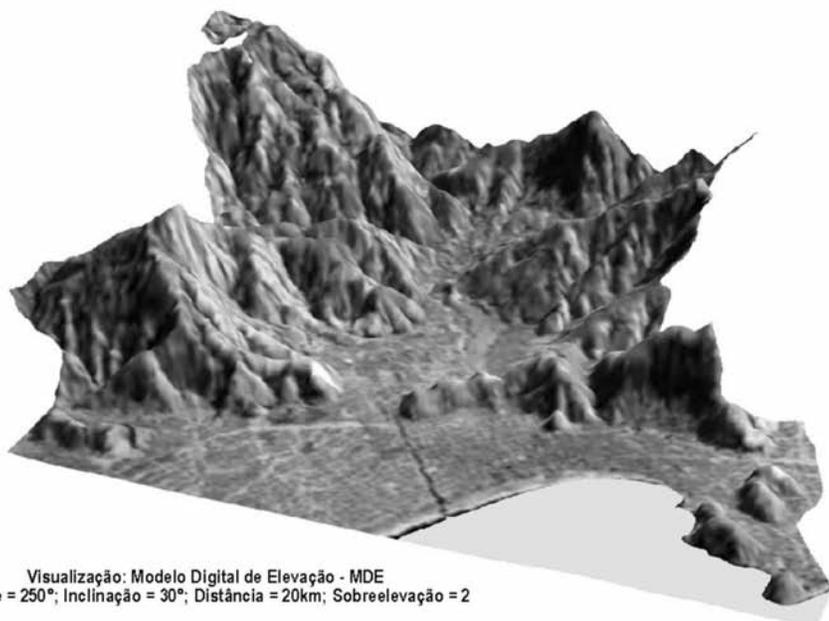
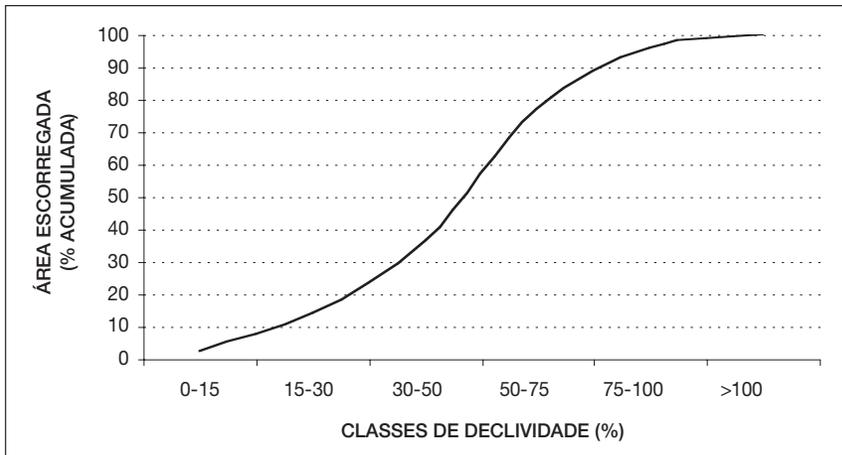
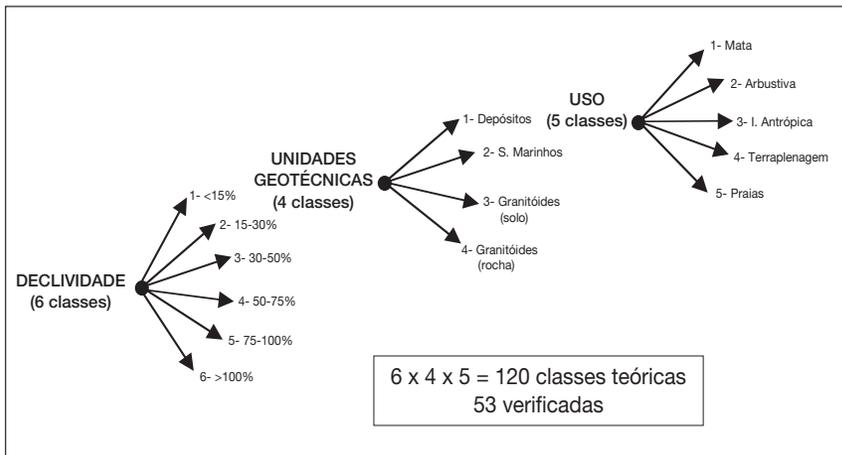


Fig. 3 – Visualização do Modelo Digital de Elevação – MDE e do Mapa de Declividade.



**Fig. 4** – Frequência acumulada de área escorregada por classe de declividade.



**Fig. 5** – Classes de terreno resultantes do cruzamento dos mapas temáticos.

afetadas. Os valores dos parâmetros geomecânicos foram obtidos de bibliografia e considerando dois tipos básicos de classes de terreno (Quadro 2).

A Figura 6 ilustra o procedimento adotado para o cálculo dos fatores de segurança no ambiente de SIG, utilizando os critérios discutidos acima e os mapas temáticos produzidos na etapa de inventário. Os FS obtidos foram agrupados em cinco intervalos e cartografados nos 51 setores analisados (mapa de suscetibilidade determinístico). As áreas de afloramento rochoso não foram consideradas. A equação matemática utilizada no cálculo do FS foi:

$$F = (c + \gamma z \cos^2 i \operatorname{tg} \phi) / (\gamma z \cos i \operatorname{sen} i) \quad (1)$$

Onde,

$c$  = coesão;  $\gamma$  = peso específico;  $z$  = profundidade;  $i$  = inclinação da encosta e  $\phi$  = ângulo de atrito.

Os setores de encosta com FS inferiores ou iguais a um, ou seja, em condição de ruptura foram considerados na análise probabilística. A probabilidade de ruptura  $P(r)$  resultou da combinação das probabilidades de dois eventos independentes, como apresentado na equação 2 abaixo.

$$P(r) = P(1) P(2) \quad (2)$$

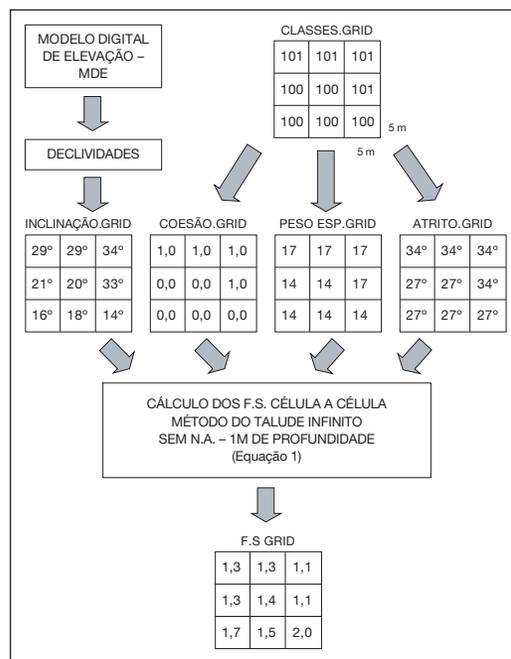
Onde,

$P(1)$  = probabilidade de ruptura dos setores com  $FS \leq 1,0$  considerando-se as incertezas associadas aos parâmetros geomecânicos utilizados no cálculo; e

$P(2)$  = probabilidade anual de ocorrência de uma chuva suficiente para o avanço da frente de saturação até 1,0 m de profundidade.

**Quadro 2** – Classes de terreno e os respectivos parâmetros geomecânicos adotados (Wolle, 1980).

Classes de Terreno	Classes de uso e unidades Geológico-Geotécnicas	Parâmetros Geomecânicos		
		c (kPa)	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
100	Áreas Urbanas, Depósitos Continentais e Solos Superficiais (Rochas Cristalinas)	0	27	14,0
101	Vegetação Arbustiva, Mata e Solos Superficiais (Rochas Cristalinas)	1,0	34	17,0



**Fig. 6** – Cálculo dos FS no ambiente de SIG.

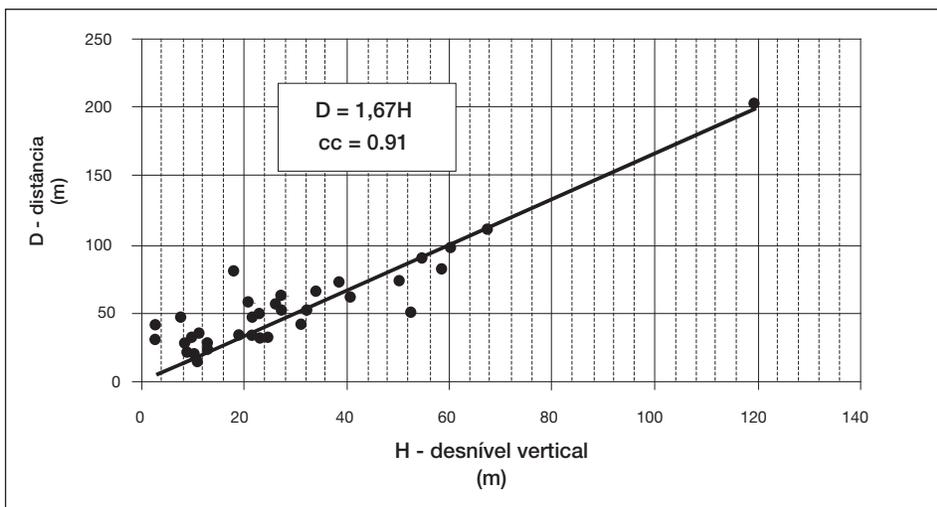
Estudos apresentados por Gama (1982) indicam que a probabilidade de colapso para  $FS = 1,0$  tende para 0,5, independentemente dos coeficientes de variação das propriedades geotécnicas consideradas. Tal condição verifica-se para modelos de análise de estabilidade simplificados, dependentes basicamente da relação entre coesão, ângulo de atrito e inclinação do terreno (modelo considerado, Equação 2).

Com a aplicação do modelo de infiltração proposto por Lumb (1975), obteve-se uma precipitação mínima diária de 53 mm para a formação e avanço da frente de saturação até 1,0 m de profundidade (posição da superfície de ruptura). Foram considerados os parâmetros típicos de condutividade hidráulica saturada e variação da humidade volumétrica, obtidos por Carvalho (1989).

Os cálculos de período de retorno, obtidos nas análises do histórico pluviométrico da área piloto, indicaram o valor de 0,88 para a probabilidade anual de uma precipitação diária de 53 mm. Desta forma, a aplicação da Equação (2) resultou em probabilidade de ruptura de 0,44, que foi associada aos setores de encosta mais críticos para deflagração de escorregamentos ( $FS \leq 1,0$ ), considerando o tipo de processo e modelo de ruptura adotados no ensaio de aplicação.

Para a definição do raio de alcance potencial destes escorregamentos, utilizou-se um modelo baseado nas relações entre a altura inicial (amplitude) e a distância percorrida pelo material instabilizado, conforme apresentado por Fell (1996) e Finlay e Fell. (1997). As 34 cicatrizes de escorregamento mapeadas na etapa de inventário foram utilizadas para o estabelecimento de uma correlação empírica entre a distância percorrida (D) e o desnível vertical (altura - H) da área escorregada. Obteve-se uma correlação linear  $D = 1,67 H$ , com um coeficiente de correlação (cc) de 0,91 (Figura 7).

A Carta de Perigo de Escorregamentos final resultou da expansão das áreas dos polígonos dos setores de encosta com  $P(r) = 0,44$ , de acordo com os respectivos raios de alcance potenciais, obtidos a partir da aplicação da correlação linear descrita acima, subtraídos dos comprimentos médios destes polígonos. Em termos cartográficos, a expansão foi feita através do comando buffer, disponível no SIG utilizado no estudo (Figura 8).



**Fig. 7** – Raio de alcance potencial dos escorregamentos (regressão linear).

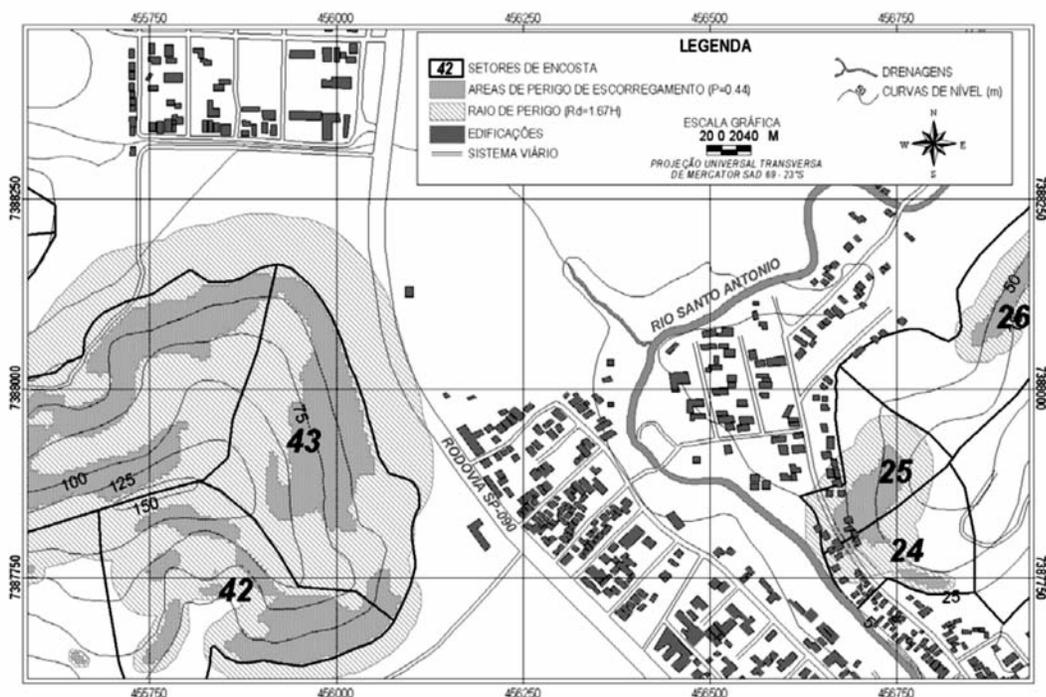


Fig. 8 – Ilustração da Carta de Perigo de Escorregamentos obtida no ensaio de aplicação.

### 3.3 – Etapa de Análise de Risco

Os níveis de risco foram obtidos pelo produto da probabilidade de deflagração dos escorregamentos rasos de solo (Etapa de Análise de Perigo) e as áreas das edificações potencialmente afetadas por esses processos. Este cálculo foi realizado no formato raster, trabalhando com uma malha com espaçamento de 2,5 m. Os níveis de risco foram calculados célula a célula e posteriormente agrupados em polígonos, na forma vetorial (risco individual da edificação). Também foi realizada a interpolação destes valores de risco das edificações para se obter uma visão da distribuição dos níveis de risco na área piloto (risco regional). Para tal, utilizou-se o método de interpolação baseado no inverso do quadrado da distância. Os resultados foram apresentados na forma de isovalores de risco (Figura 9).

Do total de 2073 edificações mapeadas, 367 (17,7%) apresentaram níveis de risco com danos variando de 10 a 207 m<sup>2</sup>/ano. Elas foram agrupadas em quatro classes de risco, de forma a obter-se um número representativo de edificações por classe adotada. Como exercício preliminar, visando à implementação de um plano de seguro para o tipo de escorregamento analisado, foi estimado o dano económico anual total, considerando-se um custo médio para o m<sup>2</sup> construído na área piloto (Quadro 3).

O dano económico anual refere-se ao caso extremo em que todas as 367 edificações fossem afetadas em um mesmo acidente. Este montante, dividido pelo número de edificações e por 12, equivale ao custo mensal mínimo de uma apólice de seguro para cobrir os danos anuais estimados (sem considerar as taxas de administração e o lucro das seguradoras). O valor da ordem de R\$ 1.000,00/mês obtido pode ser considerado bastante elevado para a realidade social e econômica da

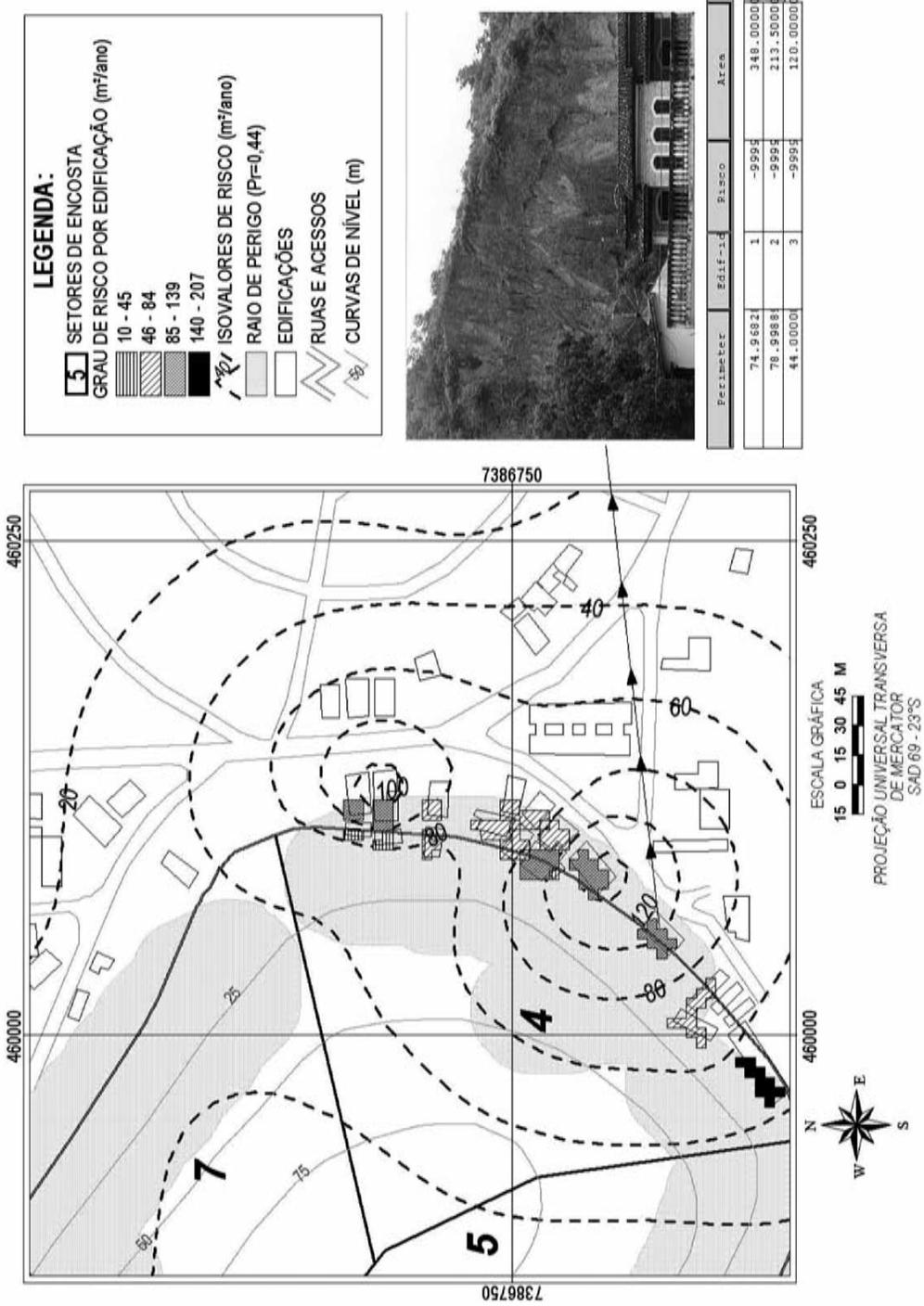


Fig. 9 – Ilustração da carta (sistema) de risco de escorregamentos obtida em ambiente de SIG.

população brasileira. Aplicando-se as taxas de vulnerabilidade, este valor se reduz significativamente (dificilmente todas as 367 edificações serão afetadas da mesma forma em um único evento).

A taxa de vulnerabilidade pode ser estimada, por exemplo, através da análise das residências afetadas ao longo do período de 11 anos analisados na área de estudo (Quadro 1). Verificamos que cerca de 24 moradias foram afetadas por escorregamentos neste período, resultando em uma taxa de dano médio em torno de 2,2 moradias/ano ou 269 m<sup>2</sup>/ano (área média das edificações = 123,4 m<sup>2</sup>), ou seja, cerca de 1,2% do risco potencial total identificado na carta de risco (cerca de 23,223 m<sup>2</sup>/ano).

Aplicando-se esta taxa de vulnerabilidade, o valor mínimo da apólice se reduziria para cerca de R\$ 11,60 por mês, ou seja, com excelentes condições de viabilidade de aquisição por parte dos proprietários das edificações em risco.

**Quadro 3** – Estimativa do dano económico anual a partir da carta de risco de escorregamentos elaborada para a área piloto.

Classes de Risco (m <sup>2</sup> /ano)	Classes Médio Anual* (R\$)	Custo Ponderado ** (R\$)
10 - 45	5.500,00	984.500,00
46 - 84	13.000,00	1.573.000,00
85 - 139	22.400,00	828.800,00
140 - 207	34.700,00	1.041.000,00
DANO MÉDIO ANUAL		4.427.300,00

(\*) Valor médio do m<sup>2</sup> construído = R\$ 250,00 (ano base 1999)

(\*\*) Custo médio x número de moradias

#### 4 – CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados discutidos nos itens anteriores, podem ser apontadas as seguintes principais conclusões:

- 1) as cartas ou mapas de risco têm sido elaborados geralmente em grandes escalas e abrangendo regiões urbanizadas, dentro da grande produção técnico-científica brasileira ocorrida nos últimos 20 anos na área de gerenciamento de riscos ambientais e, em particular, os associados a escorregamentos. Predominam análises de risco não quantificadas e sendo voltadas, principalmente, para ações emergenciais. Mais recentemente têm sido apresentados alguns trabalhos utilizando análises de risco quantificadas, através da retroanálise de acidentes, modelos de ruptura e com emprego de Sistemas de Informação Geográfica – SIG. Os conceitos de probabilidade subjetiva e a técnica da árvore de decisão também têm sido utilizados nestes trabalhos mais recentes (Carvalho e Hachich, 1998);
- 2) a utilização do SIG como ferramenta básica para a elaboração da carta de risco de escorregamentos conforme o método proposto, permite grande versatilidade para armazenagem,

cruzamento e modelagem dos dados, incluindo a utilização de modelos quantitativos determinísticos e probabilísticos. O estudo desenvolvido também demonstrou a importância de outros fundamentos adotados no método proposto, relativos ao entendimento dos processos analisados como base para as modelagens e as três etapas de elaboração sugeridas (Inventário, Análise de Perigo e Análise de Risco). Mais do que produtos cartográficos estáticos, as cartas obtidas com o método proposto constituem-se em verdadeiros sistemas de análise de perigo e risco, permitindo atualizações e modelagens de diferentes cenários, podendo subsidiar a implementação de planos de seguro em áreas urbanas, bem como outras ações de gestão de risco, tanto pelo poder público, como por empresas do setor privado (empresas de seguro, por exemplo);

- 3) a experiência internacional mostra que o uso dos programas de seguro como forma de mitigação dos riscos geológicos e, em particular, os associados a escorregamentos no seu sentido amplo, podem apresentar algumas vantagens em relação a outras medidas não estruturais. Esta experiência também indica que esses planos de seguro requerem algum tipo de subsídio para tornar o custo das apólices viável e podem ter sua eficácia reduzida devido aos fatores conhecidos como seleção adversa (adverse selection) e percepção de perigo (moral hazard);
- 4) a experiência brasileira na utilização de planos de seguro como forma de mitigação dos riscos ambientais e geológicos ainda é incipiente, porém, considerando-se os avanços conseguidos no emprego de análises de risco quantificadas, as tendências do mercado nacional de seguros, tal condição poderá se reverter a curto prazo. No Brasil, os ramos atuais de seguro com mais potencial para auxiliarem nas ações de gerenciamento dos riscos ambientais e geológicos são de responsabilidade civil geral, riscos de engenharia e algumas categorias de seguro habitacional; e
- 5) o ensaio de aplicação validou os resultados da pesquisa e apontam para a viabilidade prática do método proposto para elaboração de cartas de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de SIG e da sua utilização na implementação de planos de seguro. Prevê-se o aprimoramento dos modelos quantitativos probabilísticos empregados nas análises de perigo e risco, com a incorporação de ferramentas de aquisição de dados em tempo real (chuvas, deslocamentos, etc).

## 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnould, M. *Geological hazards – insurance and legal and technical aspects*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, n.14, p.263-274. 1976.
- Augusto Filho, O. *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 – UNESP, Rio Claro. 196p. 2001.
- Campbell, R. H.; Bernknopf, R.L.; Soller, D. R. *Mapping time-dependent changes in soil-slip-debris-flow probability*. US Geological Survey Open-File Report in press. 16p. 1999.
- Carvalho, C. S. & Hachich, W. *Quantitative risk analysis of urban slopes: an application of subjective probability*. Proc. of the Eighth Congress of the International Association for Engineering Geology and Environment - IAEG. Vancouver. A.A. Balkema. vol.2, p.887-890. 1998.

- Carvalho, C.S. *Estudo da infiltração em encostas de solos insaturados na Serra do Mar*. São Paulo. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. 150p. 1989.
- Einstein, H.H. *Landslide risk – systematic approaches to assessment and management*. In: Cruden & Fell (ed.), *Landslide risk assessment*. Proc. of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. Hawaii. A.A. Balkema. p.25-49. 1997.
- Einstein, H.H. & Karan, K.S. *Risk assessment and uncertainties*. Proc. of International Conference on Landslides – Causes, Impacts and Countermeasures. Davos. VGE. p.457-488. 2001.
- Fell, R. *Landslide risk assessment*. Proc. of Second Symposium on Risk Assessment in Geotechnical & Geo-Environmental Engineering. Alberta. Geotechnical Society of Edmonton: p. 1 –19. 1996.
- Finlay, P.J. & Fell, R. *Landslides: risk perception and acceptance*. Canadian Geotechnical Journal. vol. 34, n. 2. April. p.169-188. 1997.
- Gama, C.D. *Avaliações probabilísticas da estabilidade de taludes*. Anais do Sétimo Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos. Recife. ABMS. v. 1, p.59-74. 1982.
- Gumbel, E.J. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York, 375 p.1958.
- Hartlén, J. & Viberg, L. *Evaluation of landslide hazard*. Proc. of Fifth International Symposium on Landslides. Lausanne. A.A. Balkema. v.2, p. 1038-1057. 1988.
- Hutchinson, D.J.; Harrap, R.; Ball, D.; Diederichs, M.; Kjelland, N. *Development of geotechnical sensor network analysis capabilities for slope stability monitoring, within a GIS based decision support system*. Proc. of Ninth International Symposium on Landslides. Rio de Janeiro. A. A. Balkema. v1, p.759-765. 2004.
- International Union of Geological Sciences - IUGS - Committee on Risk Assessment *Quantitative risk assessment for slopes and landslides – the state of the art*. In: Cruden & Fell (ed.), *Landslide risk assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A.A. Balkema. p.3-14. 1997.
- Jibson, R. W.; Harp, E.L.; Michael J.A. *A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard: an example from the Los Angeles, California, Area*. U.S. Geological Survey Open-File 98-113. 1998.
- Lumb, P. *Slope failures in Hong Kong*. Quarterly Journal of Engineering Geology, v. 8, p. 31-65. 1975.
- Macedo, E. S.; Ogura, A.T.; Santoro, J. *Landslide warning system in Serra do Mar slopes*. Proc. of the Eighth Congress of the International Association for Engineering Geology and Environment - IAEG. Vancouver. A.A. Balkema. vol.2, p.1967-1971. 1998.
- Smolka A. & Berz, G. *Methodology of hazard mapping – requirements of the insurance industry*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology - IAEG, n.23, p.21-24. 1981.
- Terlien, M.T.J.; Westen, C.J.V.; Asch, W.J.V. *Deterministic modeling in GIS-based landslide hazard assessment*. In: Carrara & Guzzetti (ed.), *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*. Kluwer Academic Publishers. p.57-78. 1995.
- Van Westen, C.J. *Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments*. Proc. of Ninth International Symposium on Landslides. Rio de Janeiro. A. A. Balkema. v1. p.39-56. 2004.

- Varnes, D.J. et al. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO. 63p. Paris. 1985.
- Wilson R.C. & Jayko, A.S. *Preliminary maps showing rainfall thresholds for debris-flow activity, San Francisco Bay region, CA*. US Geological Survey Open-File Report 97-745 F. 1997.
- Wolle, C.M. *Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança*. Tese de doutorado, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. 245p. 1980.