

MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS DE DESLIZAMENTOS E DESMORONAMENTOS DO PARQUE NACIONAL DA TIJUCA (RJ) E ENTORNO ATRAVÉS DE SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMAÇÃO

CRISTIANE NUNES FRANCISCO

Geógrafa e Mestre em Geoprocessamento
Consultoria e Informática

Rua México, 31 Gr.1601 - CEP 20031-144 -RJ

Tel.: (021) 262-9459

Resumo. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de mapeamento de áreas de risco a partir do uso de Sistemas Geográficos de Informações (SGI) aplicado no Parque Nacional da Tijuca e área entorno. O mapeamento foi baseado, essencialmente, na metodologia de Análise Ambiental que vem sendo desenvolvida no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Abstract. This paper aims to present a methodology of mapping mass movement risks by using the Geographical Information Systems (GIS) applied for the Tijuca's National Park and the area around it. The mapping was based in a Environmental Analysis methodology available at Geoprocessing Laboratory of Department Geography of UFRJ.

INTRODUÇÃO

O Parque Nacional da Tijuca (PNT) por estar localizado no centro de um núcleo urbano apresenta características bem peculiares. O PNT representa um resíduo de Mata Atlântica que ocupava todo o litoral centro-sul do país até o século XVIII. A dificuldade em ocupar as encostas mais íngremes do Maciço da Tijuca, onde encontra-se o parque, aliado ao esforço de reflorestamento aí executado no século passado, são fatores fundamentais que garantiram a sua existência. A ocorrência de constantes deslizamentos e desmoronamentos na presença de altos índices pluviométricos representa uma das várias ameaças que compõe o quadro de devastação atual do PNT.

Deslizamentos e desmoronamentos são processos geomorfológicos que se caracterizam pelo deslocamento nas encostas de uma massa de solo/rocha sobre um embasamento, em geral sob condições de saturação hídrica (Christofolletti, 1980). Os trópicos úmidos são considerados como uma das regiões que apresentam vertentes mais instáveis, devido a abundância de precipitações, aliada a existência de espessos mantos de alteração (Leopold, 1964 apud Meis et al., 1968). Os deslizamentos e desmoronamentos são fenômenos naturais; entretanto, a ação antrópica pode acelerar a sua ocorrência e, até mesmo, criar

condições propícias em áreas que até então não eram susceptíveis.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de mapeamento de áreas de risco a partir do uso de Sistemas Geográficos de Informações (SGI) elaborado para o Parque Nacional da Tijuca e área entorno. O mapeamento foi baseado essencialmente na metodologia de Análise Ambiental que vem sendo desenvolvida no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e com uso do Sistema de Análise Geo-Ambiental - SAGA/UFRJ também desenvolvido neste laboratório. Esta metodologia encontra-se descrita em Xavier-da-Silva, J; Carvalho Filho (1993) e Francisco (1995)

A área de estudo totalizou cerca de 8.840 ha, sendo que 3.300 ha correspondem ao PNT. Considerou-se área entorno do parque, a área entre os seus limites e a cota 100 m. Em poucos trechos, este critério não foi adotado já que esta cota encontrava-se distante dos limites do PNT.

O mapa de riscos foi elaborado com base no entrecruzamento dos mapas temáticos através da atribuição de pesos aos mapas e notas às suas respectivas classes.

BASE DE DADOS

A primeira etapa do trabalho consistiu na montagem da base de dados composta por mapas temáticos digitalizados na escala 1:25.000 e apresentando uma resolução espacial final de 10 metros.

A base de dados foi composta pelos seguintes mapas: altimetria, hidrografia, litologia, pedologia, estrutura geológica, infraestrutura viária, instalações e de serviços, cobertura e uso do solo, declividade e orientação de vertentes, além dos mapas de proximidade - *buffers* - elaborados para alguns temáticos e gerados no SAGA/UFRJ.

Os mapas de proximidade são compostos por classes que descrevem os valores da distância que a área em torno das feições presentes no mapa encontram-se. Estes valores são definidos pelos usuários. Desta forma, a classe de 0-20 m do mapa de proximidade das estradas representa a área de até de 20 m ao redor das estradas.

ASSINATURAS AMBIENTAIS

As assinaturas ambientais consistem no cruzamento das ocorrências territoriais do fenômeno estudado sobre vários planos de informação, isto é, sobre os mapas temáticos Xavier-da-Silva, J; Carvalho Filho (1993). Este processo possibilita a identificação das características ambientais que estão presentes na área alvo, ou seja, na área de ocorrência do fenômeno estudado.

Para execução da assinatura de deslizamentos e desmoronamentos foi utilizado um mapa contendo as cicatrizes das ocorrências destes eventos nos anos de 1966 e 1988, totalizando 67 ocorrências. As cicatrizes referentes ao ano de 1966 foram identificadas através de fotos aéreas na escala 1:60.000 de 1967 (vôo da USAF). Já as cicatrizes de 1988 foram mapeadas com base em diversas fontes, devendo-se destacar: 1) trabalho de campo; 2) Mapa Turístico Plani-Altimétrico do Parque Nacional da Tijuca - escala 1:25.000 - Iplan-Rio - 1992; 3) Mapa Turístico Plani-Altimétrico da Floresta da Tijuca - escala 1:10.000 - Iplan-Rio - 1992; e 4) imagem de satélite SPOT, bandas 1, 2 e 3 de 1990.

Deve-se mencionar que só foram mapeados os eventos ocorridos nas áreas cobertas por vegetação e desmatadas - excluídas as urbanizadas, edificadas, com presença de favelas etc - já que as cicatrizes destas áreas eram francamente identificáveis na escala das fotos, registradas através das diferenças de tonalidade e textura. Além do fato de que nas outras fontes consultadas e já citadas acima, as cicatrizes só estavam identificadas e identificáveis nestas duas categorias de uso do solo.

O resultado das assinaturas consiste no cálculo da área das cicatrizes dos deslizamentos e desmoronamentos presentes em cada classe de mapa que participou da assinatura. Desta forma, verificou-se, por exemplo, que cerca de 64% da área das cicatrizes ocorriam na área de proximidade de 500 m das estradas asfaltadas, enquanto para área de proximidade das trilhas este número era de 72%.

Resultados das Assinaturas Ambientais

Abaixo estão expostas as tabelas com os resultados das assinaturas segundo o mapa temático que foi entrecruzado com as cicatrizes de deslizamentos e desmoronamentos. Na primeira coluna está discriminada a relação entre a área total da respectiva classe e a área total de estudo. A segunda coluna apresenta a relação entre a área das cicatrizes presente na respectiva classe do mapa e área total das cicatrizes. Os valores da primeira coluna estão expostos para demonstrar que os resultados das assinaturas, em geral, não foram apenas um reflexo da maior frequência de ocorrência territorial das classes do mapa.

Altimetria X Cicatrizes

Os números que a tabela abaixo apresenta demonstram que há dois blocos com presença dos deslizamentos e desmoronamentos, um em altitudes mais baixas e outro nas médias altitudes.

A distribuição dos eventos, se concentrando em dois blocos de altitude, identifica a localização das cicatrizes em determinados trechos do perfil de encosta. Os eventos localizados na faixa altimétrica de 200 m a 400 m podem estar situados nas médias a altas

encostas com topos que estão a uma altitude de 400 m. Já os eventos localizados na faixa entre 600 m a 800 m encontram-se nas médias e altas encostas dos topos situados em altitudes superiores.

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
50-100 m	10,7%	3,3%
100-150 m	11,3%	3,1%
150-200 m	8,5%	4,2%
200-250 m	10,5%	7,8%
250-300 m	7,9%	8,9%
300-350 m	9,7%	9,5%
350-400 m	6,7%	6,7%
400-450 m	7,5%	7,9%
450-500 m	6,0%	6,1%
500-550 m	7,0%	3,5%
550-600 m	4,1%	5,2%
600-650 m	3,8%	8,3%
650-700 m	2,3%	8,6%
700-750 m	1,7%	8,0%
750-800 m	4,7%	4,8%
800-850 m	1,0%	2,6%
850-900 m	0,5%	0,7%
900-950 m	0,4%	0,2%
950-1000 m	0,3%	0,0%

Tabela 1: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Altimetria x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Estes números demonstram que há dois blocos com presença dos deslizamentos e desmoronamentos, um em altitudes mais baixas e outro nas médias altitudes.

A distribuição dos eventos, se concentrando em dois blocos de altitude, identifica a localização das cicatrizes em determinados trechos do perfil de encosta. Os eventos localizados na faixa altimétrica de 200 m a 400 m podem estar situados nas médias a altas encostas com topos que estão a uma altitude de 400 m. Já os eventos localizados na faixa entre 600 m a 800 m encontram-se nas médias e altas encostas dos topos situados em altitudes superiores.

Declividade

Observa-se que é na classe 47-100% que está presente o maior número de ocorrências,

ultrapassando os 50%. Deve-se ressaltar que as faixas de declives com ocorrências significativas representam aquelas com áreas mais expressivas na área de análise, já que a área em estudo está localizada em um maciço montanhoso.

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
0-7%	4,7%	2,5%
7-20%	8,2%	1,2%
20-30%	11,5%	4,3%
30-47%	30,7%	32,6%
47-100%	41,1%	55,9%
>100%	3,7%	3,6%

Tabela 2: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Declividade x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Orientação de Vertentes

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
NNE	11,3%	27,0%
ENE	8,3%	9,9%
ESE	12,2%	8,9%
SSE	18,2%	17,2%
SSW	10,4%	2,8%
WSW	10,2%	2,3%
NWN	12,8%	7,1%
NNW	14,8%	24,7%
Plana	1,8%	0,2%

Tabela 3: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Orientação de Vertentes x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Como pode ser observado, os deslizamentos e desmoronamentos ocorrem, predominantemente, nas vertentes voltadas para a direção norte com cerca de 69% das cicatrizes, apesar das vertentes com componente norte apresentarem uma área menor se comparadas com as orientadas para o sul - S = 51% e N = 47% da área analisada.

Pedologia

Os resultados demonstram que a maior presença de cicatrizes ocorre na categoria Lva1 composta por classes de solos mais susceptíveis, conforme encontra-se descrito no item "Mapa de Risco de

Deslizamentos e Desmoronamentos” deste trabalho. Deve-se ressaltar, entretanto, que as cicatrizes estão presentes, predominantemente, naquelas categorias de maior extensão, o que contribui para o registro de maior número de ocorrências.

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
Lva1 ¹	47,8%	75,8%
Pva1 ²	34,7%	19,1%
Lva2 ³	10,7%	1,4%
Pe1 ⁴	1,1%	1,9%
Aflorament	5,7%	1,7%

Tabela 4: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Pedologia x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Litologia

As classes e as suas respectivas áreas não correspondem as mesmas nos dois mapas de geologia analisados, o que fez com que os resultados fossem diferenciados e, até mesmo, antagônicos, em uma primeira análise.

No mapa de Hembold et al. (1965), o microclina-gnaiss e biotita-gnaiss são as classes que ocorrem mais deslizamentos. Já as classes com maior ocorrência no mapa de Pires; Heildron (1993) são aquelas mais susceptíveis, conforme encontra-se descrito no item “Mapa de Risco de Deslizamentos e Desmoronamentos deste trabalho, como o kinzigito e biotita-gnaiss. Deve-se ressaltar que este mapa apresenta maior detalhamento das unidades litológicas do que o anterior. Desta forma, na classe microclina-gnaiss do primeiro mapa estão incluídas as áreas das classes biotita-gnaiss, gnaiss archer e kinzigito do segundo, sendo esta razão da classe microclina-gnaiss apresentar uma alta ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos no mapa de Hembold et al. (1965).

¹Assoc. Lva p/ prof. + Camb. lat amb. text.arg. + Camb. text. méd/casc + Solos Litólicos indisc

²Assoc. Pva text. méd/arg + Solos Litólicos indisc.

³Lva p/ prof. text. arg.

⁴Assoc. Pe raso + Pe + Pva todos text. méd/arg + Solos Litólicos indisc.

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES S POR
Microclina-gns.	43,3%	45,6%
Biotita-Gns.	40,1%	41,2%
Granito	5,5%	6,6%
Leptinito	8,8%	6,5%
Intrusão	2,3%	0,1%

Tabela 5: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Litologia x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Mapa de Pires; Heildron (1993):

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
Kinzigito	23%	35,6%
Biotita-Gns.	25%	27,2%
Gns. Archer	10%	16,0%
Gns. Facoidal	26%	8,2%
Leptinito	9%	4,6%
Gran. Favela	3%	3,4%
Metagabro	1%	2,2%

Tabela 6: - Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Litologia x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Proximidade de Drenagem

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
0-20 m	11%	15,2%
20-30 m	5%	6,1%
30-50 m	10%	10,5%
50-100 m	21%	18,5%
> 100 m	53%	49,7%

Tabela 7: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Proximidade de Drenagem x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Observa-se uma maior presença de cicatrizes nas classes mais próximas do canal de drenagem, se comparado com a área total destas classes, já que as classes com menor distância aos canais são aquelas que apresentam menor área total, o que em parte explicaria a menor frequência de cicatrizes encontradas.

Proximidade da Infra-estrutura Viária**Estradas**

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
0-10 m	3%	3,9%
10-20 m	2%	3,5%
20-30 m	2%	4,1%
30-50 m	3%	6,8%
50-100 m	8%	10,8%
100-200 m	13%	13,4%
200-300 m	12%	9,6%
300-500 m	21%	10,5%
> 500 m	36%	37,6%

Tabela 8: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Proximidade de Estradas x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Observa-se a importância das estradas na ocorrência dos deslizamentos e desmoronamentos, demonstrada pela presença das cicatrizes abaixo de 40% na categoria > 500 m, enquanto a área desta categoria representa 36% da área total de análise.

Trilhas

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
0-10 m	2%	3,6%
10-20 m	2%	2,8%
20-30 m	2%	3,3%
30-50 m	4%	6,5%
50-100 m	8%	15,8%
100-200 m	12%	21,2%
200-300 m	10%	12,5%
300-500 m	16%	10,5%
> 500 m	44%	23,7%

Tabela 9: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Proximidade de Trilhas x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

Analisando o mesmo critério anteriormente utilizado para verificar a importância de um determinado parâmetro na ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos - ocorrência na categoria > 500 m - constata-se a importância da presença das trilhas. Estão presentes cerca de apenas 24% das eventos analisados

na categoria > 500 m, e a presença das cicatrizes nas classes maiores de 100 m é de cerca de 32%.

Comparando-se os resultados das trilhas com os das estradas, observa-se a participação maior da primeira. Este fato pode estar associado a maior instabilidade das trilhas face ao constante uso e, aliado a isto, a formação de atalhos pelos excursionistas, visando encurtar o caminho, já que, originalmente, foram abertos obedecendo as curvas de nível. Por outro lado, as estradas já se encontram há muito construídas e, desta forma, mais estabilizadas que as trilhas.

Proximidade de Estruturas Geológicas

	ÁREA DA CLASSE/ÁREA DE ANÁLISE	ÁREA DE CICATRIZES POR CLASSE
0-20 m	7%	5,3%
20-40 m	6%	3,9%
60-80 m	6%	2,8%
80-100 m	6%	2,9%
100-150 m	14%	11,6%
150-200 m	13%	17,3%
> 200 m	42%	52,9%

Tabela 10: Resultado da Assinatura Ambiental - Mapa de Proximidade de Estrutura Geológica x Mapa de Deslizamentos e Desmoronamentos de 1966 e 1988.

A ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos na categoria > 200 m é acima de 50%. A presença de cicatrizes é, na maioria das classes de influência, inferior a área total relativa da respectiva classe, o que demonstra a pequena influência desta variável na ocorrência destes fenômenos. Este fato pode estar associado a pequena rede de estruturas geológicas identificadas na área de estudo, nos mapeamentos disponíveis (Hembold et al., 1965 e Costa, 1986).

Cobertura e Uso do Solo

Foram feitas duas assinaturas com este tema, uma incluindo os deslizamentos e desmoronamentos de 1966 e o mapa de uso e cobertura do solo do mesmo período; outra referente aos deslizamentos e desmoronamentos de 1988 e mapa de 1990. Apesar dos mapas de uso e cobertura serem posteriores a

ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos, assinatura deste mapa ainda é válida, já que certas classes de uso do solo permanecem durante algum tempo. Foi gerada uma área de influência de 50 m em torno das cicatrizes, com objetivo de verificar a categoria de cobertura e uso do solo que poderia estar próxima a ocorrência do fenômeno.

No mapa de deslizamentos e desmoronamentos dos anos 60, 65% da área de proximidade dos deslizamentos e desmoronamentos ocorreram na classe floresta, 18% na classe desmatamento, 7% nos afloramentos, 4% na mata degradada e, finalmente, 2% na favela. No mapa de 1988, a distribuição é semelhante, sendo 85% nas florestas, 8% nos afloramentos e 4% na mata degradada. Deve-se destacar, que somente foram demarcadas as cicatrizes presentes nas florestas e desmatamentos, como foi exposto no início do item assinatura de deslizamentos e desmoronamentos.

Deslizamentos e Desmoronamentos 1966 x Deslizamentos e Desmoronamentos 1988

Com os mapas de deslizamentos e desmoronamentos de 1966 e 1988, foi realizada uma assinatura com objetivo verificar a influência das cicatrizes no desencadeamento de futuras ocorrências e, também, certificar-se da vulnerabilidade da encosta. Para isso, foram criadas duas classes de proximidade - 50 e 100 m - no mapa que continha as cicatrizes de 1966 e, posteriormente, este mapa foi sobreposto dos eventos de 1988.

Os resultados são os seguintes: 2% das cicatrizes dos deslizamentos e desmoronamentos de 88 estavam sobre as cicatrizes das ocorrências anteriores; 4% estavam na área de influência de 50 m; e 7% ocorreram na área de influência de 100 m. Estes números podem estar demonstrando que há um quadro propício que gera as ocorrências do fenômeno, pois 13% dos deslizamentos e desmoronamentos de 1988 ocorreram em até 100 m de distância das cicatrizes deixadas pelos eventos 1966.

MAPA DE RISCO DE DESLIZAMENTOS E DESMORONAMENTOS

O SAGA/UFRJ apresenta um módulo próprio para realização de mapas de riscos e de potenciais definido como avaliações ambientais. Este módulo pode manipular até 12 mapas de uma única vez e consiste no entrecruzamento dos mapas através do cálculo da média aritmética ponderada. Cada mapa selecionado para fazer parte da avaliação recebe um peso atribuído pelo usuário de acordo com sua participação no evento estudado; os pesos são a ponderação e, consequentemente, se integram, compondo 100% da explicação sendo proposta para o problema em estudo. Cada classe dos mapas recebe uma nota (de 0 a 10 ou 0 a 100), de acordo com a possibilidade de associação da classe com o fenômeno estudado. Como produto final, tem-se a geração de um mapa onde cada pixel contém o respectivo resultado do cálculo da média ponderada, apresentando classes que variam de 0 a 10 ou de 0 a 100, de acordo com o intervalo escolhido. No mapa final pode ser executada uma agregação das classes que representam níveis semelhantes de susceptibilidade ou de aptidão à ocorrência do fenômeno estudado.

As notas atribuídas às classes dos mapas variaram de 0 a 10. Foi estabelecido que as classes com uma participação nula na ocorrência do fenômeno estudado receberiam nota 0. As classes com uma pequena participação receberiam nota de 1 a 3. Já aquelas com uma participação média, as notas variariam entre 4 e 6, e com grande participação, entre 7 e 9. Nas classes onde a ocorrência era extremamente provável foi atribuída a nota 10.

Foram realizadas várias avaliações e os seus resultados analisados, com vistas a calibrar as notas e os pesos, e, finalmente, atingir um produto mais próximo à realidade.

A calibração do modelo consistiu no entrecruzamento do mapa de risco gerado pela avaliação e o mapa contendo as ocorrências do evento estudado. Caso cerca de 60% da área constatada das cicatrizes estivessem localizadas nas classes de maiores riscos, o resultado era

considerado adequado. Em caso negativo, outra avaliação era executada, com atribuição de novos valores aos pesos e notas.

Diante dos resultados das 15 avaliações ambientais executadas, a avaliação de risco selecionada apresentou cerca de 60% das cicatrizes nas classes de maior risco e 25% das cicatrizes nas classes de médio risco. Nos parágrafos abaixo, estão descritos os parâmetros nos quais esta avaliação foi baseada.

Elaboração do mapa

A partir das consultas a estudos já realizados sobre movimentos de massa ocorridos na área do PNT e de seu entorno, e dos resultados das assinaturas expostos anteriormente, foram definidas as variáveis ambientais (planos de informação) que participariam das avaliações ambientais. Desta forma, foram definidos os mapas temáticos e os seus respectivos pesos, bem como as notas das classes contidas nas legendas dos mapas, para execução da avaliação de riscos de deslizamentos e desmoronamentos.

O princípio básico que norteou a execução das avaliações é o fato dos movimentos de massa serem um processo geomorfológico de evolução de encostas, sendo, portanto, um fenômeno natural. Desta forma, considerou-se as características naturais existentes no ambiente como as responsáveis pela ocorrência dos eventos de deslizamentos e desmoronamentos. A ação antrópica participa como aceleradora deste processo. Para Meis; Xavier-da-Silva (1969), a localização dos movimentos de massa é determinada essencialmente pela interação entre a estrutura geológica, as formas topográficas e as alterações ambientais produzidas pelo homem.

As características naturais consideradas foram altimetria, declividade, orientação de vertentes, pedologia e litologia. A área de proximidade de drenagem até 100 m equivale a 46% da área de análise, enquanto apenas 50% da área das cicatrizes dos eventos ocorreram nesta área, demonstrando que não há uma forte associação entre a proximidade dos canais e a ocorrência dos eventos. Deve-se mencionar, também, que quando esta

variável era incluída na avaliação não afetava significativamente o resultado.

Os mapas de altimetria e orientação de vertentes receberam pesos menores em relação às outras variáveis ambientais físicas (geologia e declividade), pois a sua participação nos processos geomorfológicos relativos aos movimentos de massa não se encontram totalmente esclarecidos e, inclusive, a bibliografia consultada, não destaca estas variáveis como participantes neste processo. Por outro lado, elas foram incluídas nesta avaliação de risco, devido aos resultados apresentados por estas variáveis nas assinaturas ambientais, conforme encontra-se descrito nos parágrafos seguintes.

Ao se analisar o resultado da assinatura de altimetria, observa-se que a distribuição das ocorrências das cicatrizes dos eventos apresenta um comportamento senoidal, com altos percentuais de ocorrências nas classes de altitudes entre 200 m e 500 m e entre 600 m e 750 m.

Em função dos resultados da assinatura, o mapa de altimetria recebeu 15% de peso e as notas foram atribuídas às classes do mapa conforme o grau de possibilidade de risco abaixo especificado:

CLASSE	GRAU
50-200 m	baixo
200-400 m	alto
400-600 m	médio
600-750 m	alto
750-850 m	médio
850-1050 m	baixo

Tabela 11: Grau atribuído a classes do mapa de altimetria

No mapa de orientação de vertentes, de acordo com o resultado da assinatura, observou-se que as classes referentes às encostas voltadas para o norte e leste apresentam uma maior presença de cicatrizes de deslizamentos e desmoronamentos, enquanto nas encostas sul e oeste a ocorrência é menor, como pode ser observado no gráfico abaixo.

Segundo Oliveira (1992), há maior instabilidade nas vertentes voltadas para o norte, pois estas

apresentam menor unidade, refletindo-se aí na vegetação e na maior ocorrência de incêndios, o que torna, assim, estas encostas mais instáveis. Deve-se destacar, também, que as encostas com componentes norte recebem maior incidência solar, devido a posição geográfica do Maciço da Tijuca, estando localizado na latitude de 23° S, ou seja, próximo ao Trópico de Capricórnio. Com base nestas considerações, ao mapa de orientação de vertentes foi atribuído peso 10% e a distribuição das notas das classes deste mapa obedeceu o seguinte grau de possibilidade de risco de associação:

CLASSES	GRAU
NNE - NNW	alto
ENE - ESE	médio
SSE - WNW	médio
SSW - WSW	baixo

Tabela 12: Grau atribuído a classes do mapa de orientação de vertentes

A geologia fornece informações sobre as características do material de encosta, entre elas a permeabilidade, resistência e profundidade dos solos, que oferecem condições básicas para existência da erosão. Segundo Meis; Xavier-da-Silva (1968), a circulação das águas, o intemperismo e a criação de planos de deslizamentos estão condicionados pela presença de diáclases retilíneas e curvas nas rochas cristalinas.

As principais unidades litológicas presentes no Maciço da Tijuca são o gnaiss facoidal, biotita gnaiss e leptinito. O gnaiss facoidal, segundo Nava et al. (1991), compõe-se de feldspato em percentual superior ao quartzo e este maior que a biotita; apresenta, ainda, textura grosseira com cristais desenvolvidos de feldspato - facóides - fazendo com que a rocha possua uma trama pouco xistosa. Para Costa et al (1987), os gnaisses mais xistosos são mais susceptíveis ao ataque físico-químico, em decorrência de sua composição mineralógica e comportamento estrutural interno que orienta a penetração da água e facilita a decomposição dos minerais. Neste caso, o gnaiss facoidal apresenta maior

resistência ao intemperismo e aos processos erosivos, pois a presença dos facóides, em grande quantidade, oferece maior compacidade. Heine (1986) apud Nava (1991) aponta os desprendimentos de lascas e blocos dos taludes rochosos como um evento geotécnico presente nesta unidade, que são condicionados, principalmente, ao processo de alívio de tensões.

A unidade biotita-gnaiss compõe-se de feldspato predominando sobre a biotita e este sobre o quartzo, apresenta uma textura fina e, geralmente, uma foliação bem evidenciada (Nava et al., 1991). Segundo Costa et al. (1987), esta unidade é mais susceptível ao ataque físico-químico, pois além da foliação orientar a penetração da água, possui uma grande quantidade de minerais ferromagnesianos mais facilmente decompostos. Com isso, o biotita-gnaiss apresenta uma cobertura residual e coluvionar bastante espessa e a presença de poucos afloramentos rochosos, fazendo com que predominem problemas geotécnicos referentes à instabilidade nos taludes em solos (Heine, 1986 apud Nava, 1991). Com o maior teor de outros minerais, como granada, cordierita e silimanita, esta unidade é denominada de kinzigito. Os resultados da assinatura confirmam a maior susceptibilidade desta litologia à ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos.

O leptinito é um gnaiss que possui um teor de feldspato e quartzo equivalente, e o teor de biotita bem pequeno, apresentando uma textura granular que varia de fina a média (Nava et al., 1991). Para Heine (1986) apud Nava et al. (1991), devido ao pequeno número de afloramentos e grande número de saibreiras, os problemas geotécnicos estão relacionados à instabilidade dos taludes das saibreiras.

Ainda segundo o mesmo autor, baseando-se nas características gerais destas unidades litológicas - composição, espessura dos pacotes de solos e número de afloramentos - considera o gnaiss facoidal como mais resistente ao intemperismo, o biotita-gnaiss e o kinzigito como pouco resistentes, e o leptinito apresentando resistência

intermediária entre as duas anteriores.

Como o mapa de litologia de Pires (1993) apresenta-se com as classes mais detalhadas, porém o mapeamento não abrange toda área de análise, as classes deste mapa foram sobrepostas ao mapa de Hembold (1965), detalhando as áreas onde as informações estavam disponíveis.

Face às considerações acima e aos resultados da assinatura, o mapa de litologia recebeu peso 20% e foram atribuídas as notas às classes segundo o grau de risco abaixo apresentado:

CLASSES	GRAU
biotita gnaiss	alto
kinzigito	alto
microclina-gnaiss com textura facoidal ¹	médio
intrusão	baixo
granito	baixo
leptinito	baixo

Tabela 13: grau atribuído a classes do mapa de litologia

¹Identificado por Pires (1993) como gnaiss facoidal.

Não renegando a importância da estrutura geológica e dos contatos litológicos na ocorrência dos movimentos de massa, estes não foram considerados na elaboração do mapa de risco, devido aos resultados apresentados na assinatura. As classes que compõem o mapa de proximidade de estrutura geológica - classes de proximidade até 100 m - representam 42% da área total de análise e, apenas, 18% das cicatrizes dos eventos registrados aí ocorrem. Desta forma, considerou-se que os elementos da estrutura lançados no mapa elaborado por Costa (1986) eram por demais generalizados para avaliação detalhada pretendida. As estruturas definidas localmente, ou seja, presentes na rocha, e as variações litológicas de detalhe (ex. diques), ambas possibilitando a maior percolação da água, apresentam um papel destacado na ocorrência dos deslizamentos e desmoronamentos, porém estas informações não se encontravam disponíveis nos mapeamentos consultados.

O gradiente das vertentes, que recebeu peso 20%, fornece informações sobre profundidade do solo e processos hidrológicos

dominantes em cada segmento de encosta demarcado pela declividade. Quanto maior a declividade, menor a profundidade do solo, o movimento vertical subsuperficial de água no solo diminui e o fluxo de escoamento superficial e subsuperficial torna-se mais intenso e com maior velocidade, levando a maior instabilidade da encosta.

Ferreira (1987) apud Nava (1991) fez uma classificação dos processos geomorfológicos dominantes segundo a declividade. Nos segmentos de encosta com declive de 0 a 7% (0° a 4°), e que correspondem, na área em estudo, aos interflúvios, divisores d'água, predominam os processos pedogenéticos e de intemperização associados aos movimentos verticais subsuperficiais do solo e água. Nas áreas de transição, devido ao aumento da declividade, ocorrem os processos mecânicos e químicos de eluviação, bem como o creep.

Nos segmentos de encosta com declividade superior a 100% (45°), denominada free face, predominam as superfícies rochosas, podendo estar presente uma pequena frente de intemperização, predominando os processos de queda e deslizamentos, sendo, assim, considerados ambientes altamente instáveis.

Nas encostas com declividades entre 47% e 100% (26 a 35°), estão presentes os depósitos de talus, em inconformidade com o substrato rochoso, com descontinuidades texturais e espaciais, onde predominam os movimentos de massa. Estas características, associadas aos elevados declives, tornam este segmento de encosta altamente instável.

As encostas, com declividades entre 7% e 47% (4° a 26°), são ambientes considerados relativamente estáveis, onde, entretanto, ocorrem os processos erosivos. Caracterizam-se pela sucessão de colúvios de texturas variadas, predominando os processos de deposição e retrabalhamento, bem como creep de solos.

De acordo com os resultados da assinatura, os quais apresentam uma forte correlação com as descrições acima quanto ao grau de

instabilidade dos declives, foram atribuídas notas correspondentes aos seguintes graus de risco com eventos de deslizamentos e desmoronamentos:

CLASSES	GRAU
0-30% (0-17°)	baixo
30%-47% (17°-25°)	médio
47%-100% (25°-35°)	alto
>100% (>45°) ¹	média

Tabela 14: Grau atribuído a classes do mapa de orientação de vertentes.

¹Foi atribuído médio grau, devido ao resultado da assinatura e, também, porque 52% da área desta classes são constituídas por afloramentos rochosos. Estes afloramentos estão associados com a remoção da capa de solo em encostas de fortes declives durante o Pleistoceno, em condições climáticas diferentes das atuais.

Quanto ao parâmetro solos, Mendes (1982) considera que as características físicas do solo, especialmente, a textura, a estrutura e a permeabilidade, exercem maior influência sobre a quantidade e qualidade do material erodido. Estas características podem ser conhecidas através dos tipos de solo.

Os latossolos com textura argilosa oferecem grande resistência à erosão, tendo sido considerados por Mendes (1982) como solos que apresentam ligeiro grau de susceptibilidade à erosão. Foi mapeada uma unidade de latossolos no PNT, com pouca profundidade; Palmieri (1977) considera esta unidade com ligeiro a moderado grau susceptibilidade à erosão devido pouca profundidade por ela apresentada.

Os cambissolos e podzólicos encontrados no PNT apresentam ligeira a moderada susceptibilidade à erosão, segundo Palmieri (1977), podendo variar para forte grau em áreas localizadas nos terços superiores dos espigões para os primeiros e, para os podzólicos, áreas onde a vegetação florestal foi removida.

Finalmente, os solos litólicos do PNT apresentam uma forte limitação quanto à erosão. Isto devido a descontinuidade textural apresentada entre o regolito e o substrato rochoso, que está a pouco centímetros da superfície, impedindo a percolação da água e a criando um plano de ruptura (Palmieri, 1977).

Deve-se destacar o papel dos afloramentos rochosos na ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos, segundo Coelho Netto (1992), a água que escoia sobre a superfície impermeável da rocha infiltra-se no solo imediatamente adjacente, aumentando o teor da umidade em profundidade.

Apesar da importância do mapa de pedologia na avaliação das ocorrências de deslizamentos e desmoronamentos, este recebeu peso de 15%, já que as classes do mapa (1:50.000) apresentam associações que agregam unidades de solos com propriedades diversas. De acordo com as considerações acima e os resultados da assinatura foram estabelecidas as notas correspondentes aos seguintes graus de associação com eventos estudados:

CLASSES	GRAU
Lva1	alto
Pva1	médio
Lva2	baixo
Pe1	baixo
afloramento ¹	alto

Tabela 15: grau atribuído a classes do mapa de pedologia

¹Área de proximidade - 100 m - dos afloramentos.

De acordo com a inúmeras avaliações realizadas para calibração do modelo, verificou-se que a atribuição de pesos elevados aos mapas de infra-estrutura viária - trilhas e estradas - não gerava um bom resultado. Devido a estes resultados e ao fato de se considerar os movimentos de massa como processos naturais de evolução de encosta, o peso recebido por estes mapas foi de 10%. Foram atribuídas notas elevadas para todas as classes de proximidade - 0 a 500 m - que compõem estes mapas.

Por fim, resta abordar o porquê da não inclusão do mapa de cobertura e uso do solo na presente avaliação. Apenas os deslizamentos e desmoronamentos ocorridos em áreas com florestas e áreas desmatadas foram plotados. Desta forma, somente estas categorias de uso e cobertura do solo poderiam ser avaliadas. Como na bibliografia consultada (vide Cap. 7 - Assinaturas Ambientais), o papel das diferentes coberturas

vegetais nos eventos de movimentos de massa se mostrou ambivalente, preferiu-se a não inclusão deste mapa.

O mapa de risco de deslizamentos e desmoronamentos final foi dividido em 5 classes de acordo com as notas alcançadas que variaram de 2 a 10. Os riscos foram classificados em baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo risco, com base no resultado apresentado pelo cruzamento entre o mapa de risco final e o mapa com as cicatrizes das ocorrências, conforme pode ser observado na tabela abaixo:

NOTA	RISCO	ÁREA ¹	CICATRIZES X RISCO ²
2 a 5	baixíssimo	27,4%	4,0%
6	baixo	23,5%	9,1%
7	médio	25,4%	25,4%
8	alto	16,4%	31,6%
9 e 10	altíssimo	7,3%	28,3%

Tabela x: Classificação das notas finais do mapa de risco de deslizamentos e desmoronamentos.

¹área total do risco em relação a área de análise (%)

²área das cicatrizes que ocorrem na área de risco (%)

Deve-se destacar que os eventos de maior magnitude localizam-se na classe de altíssimo risco, sendo este um dado importante que dá confiabilidade do mapa final. Estes eventos referem-se aos que ocorreram, segundo FEEMA; FBCN (1979), após a instalação das antenas transmissoras no Sumaré e, que foram desencadeados pelos aguaceiros de 1966.

Outro fato que deve ser destacado, é que as classes de baixíssimo e baixo riscos possuem uma maior área, cerca de 50%, no entanto, apenas 13% dos eventos registrados nos anos de 66 e 88 ocorrem nestas classes. Já nas classes de altíssimo e alto riscos, que correspondem a cerca de 24% da área de análise, são registrados quase 60% dos eventos.

As classes que apresentam menor risco de ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos estão localizadas em altitudes baixas, até aproximadamente 350 m, e em encostas menos íngremes. Nas vertentes direcionadas para o sul e oeste predominam os riscos baixíssimos e baixos. Estas

manchas, em sua maior parte, estão distantes das trilhas e estradas.

Já as classes de altíssimo e alto risco estão localizadas, predominantemente, em médias e altas altitudes. Cerca de 85% da área estão em declives que variam de 47 a 100% e, nas encostas voltadas para norte e oeste, a maior área das classes está presente. Por fim, mais de 90% da área das classes de maiores riscos estão situadas a menos de 500 m das estradas e das trilhas.

BIBLIOGRAFIA

- ANTUNES, F.S.; Barroso, J.A.; Pedroto, A.E.S.; Polivanov, H. A **Importância da Utilização de Levantamentos Pedológicos para Elaboração de Mapas Geotécnicos**. Rio de Janeiro, Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFRJ e da UFRRJ. (s.d.) /Xerocopiado/
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1980.
- COELHO NETO, A.L. O Geossistema da Floresta da Tijuca. In: Abreu, M.A. coord. **Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Biblioteca Carioca, 1992. p.104-142.
- COSTA, N.M.C. **Geomorfologia Estrutural dos Maciços Litorâneos do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 1986. 108p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- COSTA, N.M.C., AMARAL, C., GUIMARÃES, R. **Análise das Áreas Indicadas para Reflorestamento no Maciço da Tijuca**. Projeto de Zoneamento Agrícola. Rio de Janeiro, IPLAN-RIO, 1987. (Relatório Final)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA/SNLCs). **Levantamento Semi-detalhado e Aptidão Agrícola dos Solos no Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 1980. Escala 1:50.000. 1 mapa.
- FRANCISCO, C.N. **O Uso de Sistemas Geográficos de Informação na Elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação: Uma Aplicação no Parque Nacional da Tijuca**. São Paulo, 1995. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE; FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA. **Contribuição para o Preparo do Plano de Manejo do PNT**. Rio de Janeiro, FEEMA, 1979.
- HEMBOLD, R.; VALENÇA, J.G.; LEONARDOS JR, O.H. **Mapa Geológico do Estado da Guanabara**. Rio de Janeiro, DNPM/MME, 1965. Escala 1:50.000. 2 mapas.
- INSTITUTO DE PLANEJAMENTO MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO (IPLANRIO). **Parque Nacional da Tijuca - Mapa Turístico Plani-altimétrico**. Rio de Janeiro, 1992. Escala 1:25.000. 1 mapa.
- INSTITUTO DE PLANEJAMENTO MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO (IPLANRIO). **Floresta da Tijuca - Mapa Plani-altimétrico**. Rio de Janeiro, 1992. Escala 1:10.000. 1 mapa.
- MEIS, M.R.M.; XAVIER-DA-SILVA, J. Considerações Geomorfológicas a Propósito dos Movimentos de Massa Ocorridos no Rio de

Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 30, n.1, 1968. p.55-73.

- MENDES, W. Relação entre os Graus de Limitações do Uso do Solo por Suscetibilidade à Erosão e às Unidades de Mapeamento de Solo. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 44, n.3, 1982. p.445-76.

- NAVA, D.B.; SILVA JR, G.C.; FERREIRA, A.M.M. Levantamento Geotécnico-Ambiental da Vertente Sul dos Morros do Corcovado e Sumaré, Serra da Carioca, Município do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., SÃO PAULO, 1991. **Atas**. São Paulo, SBG, 1991. p.263-271

- OLIVEIRA, R.R. Aspectos Ecológicos. In: **A Floresta da Tijuca e a Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1992. p.141-51.

- PALMIERI, F. **Mapa de Solos. Parque Nacional da Tijuca**. Rio de Janeiro. 1977. Escala 1:20.000. /Ampliado a partir do mapa de Reconhecimento dos Solos do ex-Estado da Guanabara. / Cópia heliográfica/
- XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L.M. Sistemas de Informação Geográfica: Uma Proposta Metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2., São Paulo, 1993. **Anais**. São Paulo, EPUSP, 1993. p.609-28.

