


MAPEAMENTO QUANTITATIVO DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS PARA O 1º  
DISTRITO DE PETRÓPOLIS/RJ UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES  
GEOGRÁFICAS

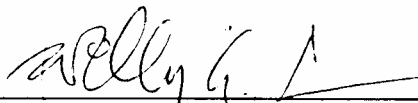
Érica Varanda

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL

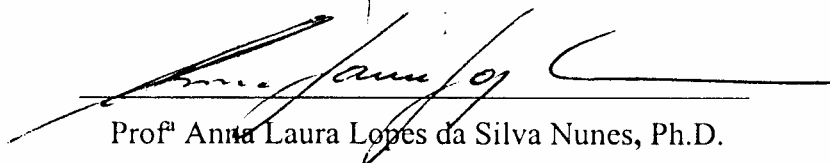
Aprovada por:



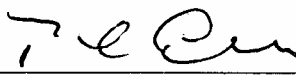
Prof. Cláudio Fernando Mahler, D.Sc.



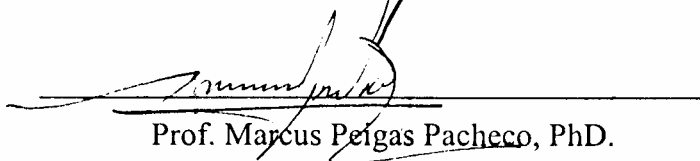
Prof. Willy Alvarenga Lacerda, PhD.



Profª Anna Laura Lopes da Silva Nunes, Ph.D.



Prof., Roberto Quental Coutinho, D.Sc.



Prof. Marcus Peigas Pacheco, PhD.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

VARANDA, ÉRICA

Mapeamento Quantitativo de Risco de Escorregamentos para o 1º Distrito de Petrópolis/RJ utilizando análise em Sistema de Informações Geográficas [Rio de Janeiro] 2006

XVI, 137p 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil. 2006)

Dissertação– Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Análise quantitativa de Risco; 2. Sistemas de Informações Geográficas; 3. Teoria Bayesiana.

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

*Na infinidade da vida onde estou tudo é perfeito, pleno e completo, e, no entanto está sempre mudando.*

*Não existe começo nem fim, somente um constante ciclar e reciclar de substâncias e experiências.*

*A vida nunca está emperrada, estática ou rançosa, pois cada momento é sempre novo e fresco.*

*Eu sou uno com o Poder que me criou e esse Poder me deu o poder de criar minhas próprias circunstâncias.*

*Cada momento da vida é um novo ponto de começo à medida que afastamos do velho. Este momento é um novo ponto de começo para mim.*

*Tudo está bem no meu mundo.*

*(Louise L. Hay)*

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concedido a benção de chegar até aqui com saúde e êxito cumprindo mais uma etapa de vida.

Ao orientador Professor Cláudio Fernando Mahler por ter acreditado na minha capacidade para realização deste trabalho e sendo compreensível em todos os momentos difíceis.

A minha filha Dafne por ser a motivação para que eu não desista de crescer e também pela falta dedicação que deixei de oferecer-lhe durante todo esse período.

A minha Mãe Yvonne pelo esforço e ajuda na revisão do texto e irmã Ursula pela amizade e apoio, em todos os momentos, não deixando que me faltasse coragem para seguir meu caminho.

A amiga Engenheira Siney Rizzo pela amizade e companheirismo durante toda a realização do curso, a quem estarei sempre grata por esta vitória.

Ao amigo Engenheiro Luis Carlos Dias de Oliveira por sua inspiração no tema, com sua tese de doutorado, dedicação e disposição para me auxiliar durante todo o tempo.

Aos professores e funcionários da Área de Geotecnia do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.

A amiga Bióloga Juliana Lundgren Rose, companheira na COPPE, por estar sempre disposta a ajudar e auxiliar a qualquer hora.

As Engenheiras Desirée Christine e Maria Clara, colegas na COPPE durante os estudos, pela ajuda no fornecimento de informações complementares e troca de idéias.

A empresa THEOPRATIQUE e toda a sua equipe, pelo apoio técnico e financeiro concedido para o levantamento de dados e mapeamento.

Ao Engenheiro cartógrafo Valmir Bosio, pela contribuição de todo o trabalho de mapeamento e pela sua paciência para dar suporte na utilização do SPRING.

Ao Geólogo Francisco Crescêncio Junior por ser o responsável pelo levantamento de campo na elaboração do Mapa de Domínios Geológico-Geotécnico.

Ao Prefeito Rubens Bom Tempo, que através de um convênio realizado com o Ministério das Cidades permitiu a elaboração desta pesquisa.

Ao Secretário de Obras, Aldir Cony, Engenheira Mabel Vitória Leipner Diretora de Obras, Luis Cláudio do Setor de Informática, Fernando da Secretaria de Planejamento e todos os demais colegas da Prefeitura de Petrópolis, que me deram apoio, facilidade no fornecimento de material e oportunidade para elaboração deste trabalho.

Ao Órgão Gestor da APA Petrópolis, que através dos trabalhos de pesquisa, realizados pelas ONG's: Instituto ECOTEMA, e Instituto TERRA NOVA, possibilitaram o desenvolvimento da metodologia proposta.

A Fundação CIDE, IBGE, DRM e todos os demais órgãos responsáveis pela disponibilidade de dados.

A Prof<sup>a</sup> Margarete Simões da EMBRAPA e Prof<sup>o</sup> Valmir Carvalho do Programa de Sistemas da COPPE/UFRJ, pelo auxílio de informações para conclusão do trabalho.

Ao apoio financeiro da CAPES.

E finalmente à todos aqueles que de alguma forma contribuíram e acreditaram na minha competência, cuja recompensa será a esperança de que este trabalho possa contribuir para o desenvolvimento sustentável do Município de Petrópolis.

Resumo de Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MAPEAMENTO QUANTITATIVO DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS PARA O 1º  
DISTRITO DE PETRÓPOLIS UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES  
GEOGRÁFICAS.

Érica Varanda

Dezembro/2006

Orientador: Cláudio Fernando Mahler

Programa: Engenharia Civil

Recentemente os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido empregados com sucesso em diversas aplicações como ferramenta capaz de subsidiar a tomada de decisão durante o processo de Gerenciamento de Risco em área urbanas.

Esta pesquisa compreendeu, num primeiro momento, a revisão dos seguintes temas: avaliação quantitativa de Risco de Escorregamentos em áreas urbanas, Estatística Bayesiana e princípios de Geoprocessamento. A seguir foi feita uma aplicação, utilizando a teoria bayesiana, na integração temática de mapas de estado natural (vegetação, geológico-geotécnico, drenagem natural e declividade), com o objetivo de gerar um Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos na área do 1º Distrito do município de Petrópolis.

E finalmente, este mapa associado com dados de vulnerabilidade (temporal e padrões construtivos das habitações) e critérios de risco, produziu um Mapa Quantitativo de Risco Individual na área estudada.

A aplicação do modelo proposto permitiu a identificação das diversas áreas de risco do 1º Distrito do Município de Petrópolis, em especial as classificadas como de Risco Alto e Muito Alto. A vantagem da utilização de tal modelo compreende basicamente a análise quantitativa do risco através de um único banco de dados geo-referenciado.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

QUANTITATIVE RISK MAPPING OF LANDSLIDES FOR THE 1ST DISTRICT OF  
PETROPOLIS CITY USING GIS.

Érica Varanda

December/2006

Advisor: Cláudio Fernando Mahler

Department: Civil Engineering

Recently GIS is being increasingly used with success in several applications as a tool to help in decision-making during the risk management process in urban areas.

This study first consisted of a revision of the following items: quantitative evaluation of risk landslides in urban areas, Bayesian statistics and the principles of geo-processing. Next, an application of the Bayesian theory was made in the thematic integration of maps of the natural status (vegetation, geological-geotechnical, natural drainage and declivity) to produce a landslide susceptibility map in the area of the 1<sup>st</sup> District of Petrópolis city.

This map, associated with vulnerability data and risk criteria, was used to produce a quantitative map of individual risk in the area under study.

The application of the proposed model facilitated the identification of the various areas of risk in the 1<sup>st</sup> District of Petrópolis city, especially those rated as High and Very High Risk. The advantage of using this model lies basically in the fact that the quantitative risk analysis can be done with only one geo-referenced data bank.



# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RELAÇÃO DE SIGLAS</b> .....	<b>XVI</b>

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

<b>1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA DO TRABALHO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 – OBJETIVOS HIPÓTESES E FORMULAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	<b>4</b>
1.2.1 <i>Objetivos gerais</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.2.3 <i>Hipótese</i> .....	5
1.2.4 <i>Formulação da Pesquisa</i> .....	5
<b>1.3 ORGANIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS</b> .....	<b>6</b>

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

<b>2.1 CONCEITOS GERAIS DE ANÁLISE DE RISCO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 ANÁLISE DE RISCO ASSOCIADA A ESCORREGAMENTOS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DE RISCO</b> .....	<b>13</b>
2.3.1 <i>Mapas e Cartas</i> .....	13
2.3.2 <i>Classificação de Mapas e Cartas</i> .....	15
2.3.3 <i>Hierarquização dos Mapas e Cartas</i> .....	16
<b>2.4 MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE CARTAS</b> .....	<b>21</b>
2.4.1 <i>Operações de Superposição</i> .....	23
2.4.2 – <i>Análises Algébricas</i> .....	23
<b>2.5 GEO-PROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS</b> .....	<b>24</b>
2.5.1 <i>SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geo-referenciadas)</i> .....	27
2.5.2 <i>Banco e Modelo de Dados</i> .....	29
<b>2.6 APLICAÇÕES PRÁTICAS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS</b> .....	<b>31</b>
2.6.1 <i>Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiente de SIG como Subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: Um Ensaio em Caraguatatuba (SP)</i> .....	31
2.6.2 <i>Método Bayesiano – Teoria e Aplicação para Definição de Áreas Potenciais a Ocorrência de Processos de Escorregamentos</i> .....	32
2.6.3 <i>Avaliação de Risco de Deslizamentos nas Encostas de Petrópolis (RJ) e da Região Metropolitana de Recife (PE)</i> .....	33
2.6.4 <i>Uso da Modelagem Numérica de Terreno para a Construção de um Mapa de Riscos em Encostas de Salvador, BA</i> .....	34
2.6.5 <i>Proposta Metodológica para Avaliação de Risco por Escorregamento na Região Andina do Eixo Cafeteiro (Quindío – Colômbia)</i> .....	35

## **CAPÍTULO 3 – APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS**

<b>3.1</b>	<b>CONHECIMENTO DO PROBLEMA.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>METODOLOGIA PARA GERAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS.....</b>	<b>42</b>

## **CAPÍTULO 4 – GERAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS**

<b>4.1</b>	<b>BASE CARTOGRÁFICA .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>MAPA DE DECLIVIDADES .....</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>MAPA DE VEGETAÇÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>MAPA DE DRENAGEM NATURAL.....</b>	<b>56</b>
<b>4.5</b>	<b>MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>59</b>
4.5.1	<i>Aspectos Geológicos.....</i>	59
4.5.2	<i>Classificação dos Domínios Geológicos-Geotécnicos .....</i>	62
4.5.3	<i>Compilação dos Dados e Digitalização das Informações.....</i>	76

## **CAPÍTULO 5 - MAPEAMENTO QUANTITATIVO DE RISCO**

<b>5.1</b>	<b>INTEGRAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS.....</b>	<b>78</b>
5.1.1	<i>Teorema de Bayes.....</i>	78
5.1.2	<i>Dados para aplicação do teorema de Bayes .....</i>	82
<b>5.2</b>	<b>MAPA DE SUSCETIBILIDADE OU DE PERIGO .....</b>	<b>84</b>
5.2.1	<i>Critérios para definição de limites de Perigo e de Risco .....</i>	84
5.2.2	<i>Atualização das Probabilidades de Escorregamentos .....</i>	91
5.2.3	<i>Mapa de Suscetibilidade.....</i>	92
<b>5.3</b>	<b>MAPA QUANTITATIVO DE RISCO .....</b>	<b>96</b>
5.3.1	<i>Vulnerabilidades das Construções .....</i>	97
5.3.2	<i>Vulnerabilidade Temporal.....</i>	100
5.3.3	<i>Integração Temática do Mapa de Risco .....</i>	101
5.3.4	<i>Critérios para a Avaliação de Risco.....</i>	104
<b>5.4</b>	<b>ESTUDOS DE CASOS .....</b>	<b>107</b>
5.4.1	<i>Rua Oswero Vilaça – Alto da Serra.....</i>	108
5.4.2	<i>Rua Antônio Soares Pinto.....</i>	110
5.4.3	<i>Bairro Duques – BR-040 – Região Quitandinha.....</i>	112
5.4.4	<i>Comunidade Estrada do Contorno II - Bingen.....</i>	115
5.4.5	<i>Rua Rio de Janeiro e Rua São Paulo- Quitandinha .....</i>	117
5.4.6	<i>Rua Capitão Danilo Paladini – São Sebastião.....</i>	119
<b>5.5</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>121</b>
5.5.1	<i>Aplicação da Teoria Bayesiana.....</i>	121
5.5.2	<i>Banco de Dados.....</i>	122

## **CAPÍTULO 6 –COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS**

<b>6.1</b>	<b>COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>	<b>126</b>
<b>6.2</b>	<b>CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>130</b>
<b>6.3</b>	<b>SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....</b>	<b>131</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>132</b>
---------------------------------------	------------

## **ÍNDICE DE TABELAS**

### **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica**

<b>TABELA 2.1</b>	CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA E CORRESPONDENTES DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS – MEIO FÍSICO ( ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).....	17
<b>TABELA 2.2</b>	CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA E CORRESPONDENTES DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS -MEIO BIOLÓGICO E SÓCIO ECONÔMICO (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).....	18
<b>TABELA 2.3</b>	CONDIÇÕES LIMITES DOS MAPAS TOPOGRÁFICOS PARA A ELABORAÇÃO DE CARTAS DE DECLIVIDADE DE ACORDO COM ZUQUETTE & GANDOLFI (2004).....	19
<b>TABELA 2.4</b>	FAIXAS DE DECLIVIDADE DEFINIDAS PARA AS ENCOSTAS DE PETRÓPOLIS (OLIVEIRA, 2004). ....	20
<b>TABELA 2.5</b>	CLASSES DE DECLIVIDADES PARA OURO PRETO UTILIZADA POR BONUCCELLI (1999).....	20
<b>TABELA 2.6</b>	CLASSES DE DECLIVIDADES.ADOTADAS EM OURO PRETO (MG) POR FONTES E PEJON (1993).....	20

### **Capítulo 3 - Apresentação da Área de Estudo e Metodologia para elaboração dos Mapas Temáticos**

<b>TABELA 3.1</b>	RELAÇÃO DE ÁREAS DOS DISTRITOS NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS (PMP, 1999).....	39
<b>TABELA 3.2</b>	DISTRIBUIÇÃO DE NÚMERO HABITANTES RESIDENTES NO 1º DISTRITO (IBGE, 2000).....	40
<b>TABELA 3.3</b>	DESCRIÇÃO DE REGIÕES COM DISCRIMINAÇÃO DOS BAIRROS AGRUPADOS.....	42

### **Capítulo 4 – Geração dos Mapas Temáticos**

<b>TABELA 4.1</b>	DESCRIÇÕES VERBAIS DE PROBABILIDADES ADAPTADAS DE LICHTENSTEIN E NEWMAN (1967) E VICK, (1997). ....	47
<b>TABELA 4.2</b>	CORRELAÇÃO ENTRE DECLIVIDADES, TIPOLOGIAS DE MOVIMENTOS E PROBABILIDADES DEDUZIDAS POR ESPECIALISTAS. ....	52
<b>TABELA 4.3</b>	CLASSES DO MAPA DE VEGETAÇÃO COM AS RESPECTIVAS PROBABILIDADES DEDUZIDAS. ....	54

<b>TABELA 4.4</b>	RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS RIOS E CÓRREGOS DO 1º DISTRITO E RESPECTIVAS PROBABILIDADES DEDUZIDAS POR JULGAMENTO DE ESPECIALISTAS.....	57
<b>TABELA 4.5</b>	GRAUS DE ALTERAÇÃO DA ROCHA (IPT,1984).....	64
<b>TABELA 4.6</b>	GRAU DE COERÊNCIA DE ROCHAS. IPT (1984).....	64
<b>TABELA 4.7</b>	ESPAÇAMENTO DE DESCONTINUIDADES ABGE,1998. ....	66
<b>TABELA 4.8</b>	PROBABILIDADES DEDUZIDAS, ASSOCIADAS ÀS CLASSES DO MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS. ....	77

## **Capítulo 5 - Mapeamento Quantitativo de Risco**

<b>TABELA 5.1</b>	PROBABILIDADE INICIAL (FREQUÊNCIA RELATIVA) DE ESCORREGAMENTOS, ADAPTADAS PARA AS REGIÕES DO 1º DISTRITO DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS (OLIVEIRA, 2004). ....	83
<b>TABELA 5.2</b>	LIMITES DE RISCO UTILIZADAS NO FATIAMENTO DO MAPA QUANTITATIVO DE RISCO.....	87
<b>TABELA 5.3</b>	FAIXAS DE VULNERABILIDADE (APUD FINLAY ET AL. , 1997; CITADO EM (WONG & CHAN , 1997).....	89
<b>TABELA 5.4</b>	ESTIMATIVA DA PARCELA DE VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO ESTAR EM SUA RESIDÊNCIA (OLIVEIRA, 2004). ....	90
<b>TABELA 5.5</b>	LIMITES DE PERIGO UTILIZADAS NO FATIAMENTO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE.....	90
<b>TABELA 5.6</b>	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA TEORIA BAYESIANA. ....	93
<b>TABELA 5.7</b>	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE PERIGO PARA AS FAIXAS QUALITATIVA E QUANTITATIVAS DE SUSCETIBILIDADE. ....	94
<b>TABELA 5.8</b>	VALORES DE PROBABILIDADES DEDUZIDAS PARA OS PADRÕES CONSTRUTIVOS ..	99
<b>TABELA 5.9</b>	ESTIMATIVA DA PARCELA DE VULNERABILIDADE CORRESPONDENTE À PROBABILIDADE TEMPORAL PARA UMA FAMÍLIA PADRÃO (OLIVEIRA,2004)..	100
<b>TABELA 5.10</b>	EXEMPLO DO CÁLCULO DO RISCO INDIVIDUAL ANUAL PARA CADA REGIÃO ATRIBUINDO O VALOR CONSTANTE DE 0,6 À VULNERABILIDADE TEMPORAL.....	102
<b>TABELA 5.11</b>	ESTIMATIVA DA PROBABILIDADE TOTAL DE PESSOAS EM RISCO, CONSIDERANDO PARA CADA REGIÃO O VALOR CONSTANTE DE 1000 HABITANTES.....	103
<b>TABELA 5.12</b>	ASSOCIAÇÃO DE CRITÉRIOS DE RISCO QUALITATIVOS (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006) E QUANTITATIVOS (OLIVEIRA, 2004).....	106

<b>TABELA 5. 13</b>	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO DA RUA OSWERO VILLAÇA – ALTO DA SERRA.....	109
<b>TABELA 5. 14</b>	SIMULAÇÃO QUANTITATIVA PARA MITIGAÇÃO DO RISCO NA RUA OSWERO VILLAÇA – ALTO DA SERRA.....	109
<b>TABELA 5. 15</b>	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO DA RUA ANTÔNIO SOARES PINTO - CENTRO .....	111
<b>TABELA 5. 16</b>	SIMULAÇÃO QUANTITATIVA PARA MITIGAÇÃO DOS RISCOS NA RUA ANTÔNIO SOARES PINTO -CENTRO .....	111
<b>TABELA 5. 17</b>	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO DO BAIRRO DUQUES- QUITANDINHA. ....	113
<b>TABELA 5. 18</b>	SIMULAÇÃO QUANTITATIVA PARA MITIGAÇÃO DOS RISCOS NO BAIRRO DUQUES – REGIÃO QUITANDINHA .....	114
<b>TABELA 5. 19</b>	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO PARA A COMUNIDADE DO CONTORNO II - BINGEN .....	116
<b>TABELA 5. 20</b>	SIMULAÇÃO PARA MITIGAÇÃO DO RISCO NA COMUNIDADE DO CONTORNO II - BINGEN.....	116
<b>TABELA 5. 21</b>	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO PARA A RUA RIO DE JANEIRO E RUA SÃO PAULO BAIRRO QUITANDINHA .....	118
<b>TABELA 5. 22</b>	SIMULAÇÃO PARA MITIGAÇÃO DO RISCO NA RUA DE JANEIRO E RUA SÃO PAULO – BAIRRO RIO DE JANEIRO. ....	118
<b>TABELA 5.23</b>	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO PARA A RUA CAPITÃO DANILO PALADINI- SÃO SEBASTIÃO. ....	120
<b>TABELA 5. 24</b>	SIMULAÇÃO PARA MITIGAÇÃO DO RISCO NA RUA CAPITÃO DANILO PALADINI- SÃO SEBASTIÃO. ....	120
<b>TABELA 5. 25</b>	VALORES DAS FAIXAS DOS MAPAS DE PERIGO E DE RISCO. ....	124

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

### **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica**

<b>FIGURA 2.1</b> - EXEMPLO DO MÉTODO DE SUPERPOSIÇÃO DE MAPAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS AMBIENTAIS SENSÍVEIS À OCUPAÇÃO URBANA (MOTA, 2003).....	22
--	----

### **Capítulo 3 - Apresentação da Área de Estudo e Metodologia para elaboração dos Mapas Temáticos**

<b>FIGURA 3.1</b> PLANO KOELLER DE OCUPAÇÃO DE PETRÓPOLIS EM 1846 (FERREZ, 1955). ....	36
<b>FIGURA 3.2</b> LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS. ....	38
<b>FIGURA 3.3</b> REPRESENTAÇÃO DE PETRÓPOLIS COM SEUS RESPECTIVOS DISTRITOS (APUD PMP, 1999).....	39
<b>FIGURA 3.4</b> GEOGRAFIA DOS BAIRROS NO 1º DISTRITO (IBGE, 2005).....	41
<b>FIGURA 3.5</b> MAPA GEOGRÁFICO DAS REGIÕES DO 1º DISTRITO DE PETRÓPOLIS. ....	43
<b>FIGURA 3.6</b> ETAPAS DE ENSAIOS COM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG). ..	44

### **Capítulo 4 – Geração dos Mapas Temáticos**

<b>FIGURA 4.1</b> COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA 1º DISTRITO – (PROSPEC, 1995).....	48
<b>FIGURA 4.2</b> FOTO AÉREA REGIÃO QUITANDINHA (PROSPEC, 1995) .....	48
<b>FIGURA 4.3</b> COBERTURA DE AEROFOTOS NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS – FOTO ÍNDICE . (CIDE, 2003).....	49
<b>FIGURA 4.4</b> FOTO AÉREA (ORTOFOTO) DA REGIÃO QUITANDINHA (CIDE, 2003). ....	50
<b>FIGURA 4.5</b> FASES DE ELABORAÇÃO DO MAPA DE DECLIVIDADE.....	51
<b>FIGURA 4.6</b> MAPA DE DECLIVIDADE. ....	52
<b>FIGURA 4.7</b> ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PETRÓPOLIS (TERRA NOVA, 2005). ....	53
<b>FIGURA 4.8</b> MAPA DE VEGETAÇÃO (ADAPTADO TERRA NOVA, 2005).....	55
<b>FIGURA 4.9</b> MAPA DE DRENAGEM NATURAL.....	58
<b>FIGURA 4.10</b> FALHA GEOLÓGICA NA REGIÃO SUL DO 1º DISTRITO (BAIRRO QUITANDINHA).....	59

<b>FIGURA 4.11</b>	MAPA GEOLÓGICO PARA REGIÃO DO 1º DISTRITO. (ADAPTADO DE PENHA ET AL., 1979 E SOUZA, 1983).....	61
<b>FIGURA 4.12</b>	AMOSTRA DE BIOTITA GNAISSE INTEMPERIZADA (BAIRRO MOSELA).....	62
<b>FIGURA 4.13</b>	EXEMPLO DE AFLORAMENTO DE ROCHA (BINGEN). ....	65
<b>FIGURA 4.14</b>	OCORRÊNCIA ROCHA FRATURADA NA RUA FERREIRA DA CUNHA (DUQUES)..	67
<b>FIGURA 4.15</b>	EXEMPLO DE AFLORAMENTO DE ROCHA (ARSA) NA BR-040 .....	67
<b>FIGURA 4.16</b>	SUPERFÍCIE DE UMA ENCOSTA COM TIPOLOGIA DE ALTERAÇÃO DE ROCHA .....	68
<b>FIGURA 4.17</b>	EXEMPLO DE OCORRÊNCIA DE ALTERAÇÃO DE ROCHA (ROCIO).....	69
<b>FIGURA 4.18</b>	OCORRÊNCIA DE SOLO RASO EM ÁREAS POUCO URBANIZADAS (CAXAMBU)...	70
<b>FIGURA 4.19</b>	SOLO RASO EM ÁREAS URBANIZADAS (DUQUES).....	70
<b>FIGURA 4.20</b>	ABATIMENTO DE PAVIMENTAÇÃO RUA FERREIRA DA CUNHA (DUQUES).....	71
<b>FIGURA 4.21</b>	SOLO RASO NA ÁREA URBANA(QUITANDINHA) .....	71
<b>FIGURA 4.22</b>	SISTEMA DE FRATURAMENTO COM INDIVIDUALIZAÇÃO DE BLOCOS PRESENTE NA BASE DOS PERFIS DE SOLO SAPROLÍTICO NA RUA JACINTO RABELO (VILA FELIPE). ....	73
<b>FIGURA 4.23</b>	EXEMPLO DE SOLO SAPROLÍTICO POUCO INTEMPERIZADO (BINGEN).....	74
<b>FIGURA 4.24</b>	EXEMPLO DE SOLO SAPROLÍTICO MUITO INTEMPERIZADO (FAZENDA INGLESA). ....	75
<b>FIGURA 4.25</b>	ESBOÇO DO MAPEAMENTO DE CAMPO. ....	76
<b>FIGURA 4.26</b>	MESA DIGITALIZADORA. ....	76
<b>FIGURA 4.27</b>	MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS. ....	77

## Capítulo 5 - Mapeamento Quantitativo de Risco

<b>FIGURA 5.1</b>	CRITÉRIO DE RISCO SOCIAL DO DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO DO GOVERNO DE HONG KONG (1994) (APUD FELL & HARTFORD, 1997). ....	85
<b>FIGURA 5.2</b>	CURVA F X N PARA MORTES DEVIDAS A MOVIMENTOS DE MASSA PARA O PERÍODO DE 1943 A 1989 (OLIVEIRA, 2004). ....	86
<b>FIGURA 5.3</b>	CURVA F X N PARA MORTES DEVIDAS A MOVIMENTOS DE MASSA PARA O MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS (OLIVEIRA, 2004). ....	86
<b>FIGURA 5.4</b>	TRANSFORMAÇÃO DA IMAGEM TEMÁTICA EM IMAGEM NUMÉRICA (MATRIZ). ....	91

<b>FIGURA 5.5</b>	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA TEORIA BAYESIANA.....	92
<b>FIGURA 5.6</b>	MAPA QUANTITATIVO DE SUSCETIBILIDADE OU DE PERIGO .....	95
<b>FIGURA 5.7</b>	MAPA DE PADRÕES CONSTRUTIVOS – ECOTEMA, 2001.....	99
<b>FIGURA 5.8</b>	MAPA QUANTITATIVO DE RISCO INDIVIDUAL.....	103
<b>FIGURA 5.9</b>	ANÁLISE DAS SITUAÇÕES DE PERIGO E RISCO NO MORRO DOS FERROVIÁRIOS – ALTO DA SERRA.....	108
<b>FIGURA 5.10</b>	ANÁLISE DAS SITUAÇÕES DE PERIGO E RISCO NA RUA ANTÔNIO SOARES PINTO – CENTRO. ....	110
<b>FIGURA 5.11</b>	ANÁLISE DAS SITUAÇÕES DE PERIGO E RISCO NO BAIRRO DUQUES - QUITANDINHA.....	112
<b>FIGURA 5.12</b>	ANÁLISE COMPARATIVA DAS SITUAÇÕES DE PERIGO E RISCO DA COMUNIDADE DO CONTORNO II.....	115
<b>FIGURA 5.13</b>	ANÁLISE COMPARATIVA DAS SITUAÇÕES DE PERIGO E RISCO NA RUA RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO – BAIRRO QUITANDINHA. ....	117
<b>FIGURA 5.14</b>	ANÁLISE COMPARATIVA DAS SITUAÇÕES DE PERIGO E RISCO NA RUA CAPITÃO DANILO PALADINI NO BAIRRO SÃO SEBASTIÃO.....	120
<b>FIGURA 5.15</b>	PERCENTUAL DE ÁREAS PARA CADA FAIXA DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE DE ESCORREGAMENTOS. ....	124
<b>FIGURA 5.16</b>	PERCENTUAL DE ÁREAS DE CADA FAIXA DO MAPA DE RISCO INDIVIDUAL ANUAL DE ESCORREGAMENTOS.....	124



## **RELAÇÃO DE SIGLAS**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

**ALARP** - As Low Reasonably Practicable;

**APA** – Área de Proteção Ambiental;

**AQR** – Avaliação Quantitativa de Risco;

**CZGG** – Carta de Zoneamento Geotécnico Geral;

**DRM** – Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro;

**ECOTEMA** - Instituto de Ecologia e Tecnologia de Meio Ambiente;

**GIS** - Geographic Information Systems;

**LEGAL** – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico;

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

**IBAMA** – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente;

**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

**IPT** – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo;

**MCGG** – Mapas Das Condições Geológico Geotécnicas;

**PMP** – Prefeitura Municipal de Petrópolis;

**PNRR** - Programa Nacional de Redução de Riscos ;

**PROSPEC** - Prospecções e Aerolevamentos S.A.;

**REBIO** – Reserva Biológica;

**SIG** – Sistema de Informações Geográficas;

**SNPA** – Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas;

**SPRING** - Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas, INPE;

**SQL** - Structured Query Language;

**UFRJ** - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1 Apresentação do Tema do Trabalho

Os escorregamentos são processos geológicos/geomorfológicos de extrema importância, porque esses eventos quase sempre causam muitas vítimas e/ou perdas materiais significativas. Embora representem processos naturais de evolução do relevo, podem-se constituir em provocadores de acidentes, causando prejuízos materiais e, muitas vezes, a perda de vidas humanas, além de participarem do desencadeamento de outros eventos, tais como processos erosivos. O adensamento urbano nas médias e grandes cidades e, conseqüente ocupação desordenada do solo ocorrido nas últimas décadas, é o principal fator responsável pelos eventos catastróficos em várias regiões do Brasil.

A expansão urbana está relacionada com o crescimento populacional e, conseqüentemente, associada à formação de intensos grupos de concentração humana, que muitas vezes se instalam desordenadamente, levados pelas dificuldades sócio-econômicas, provocando a degradação do meio físico, colocando em risco sua segurança e a qualidade de vida.

No planejamento e no ordenamento do território uma das etapas de maior importância é o zoneamento das áreas territoriais de acordo com os diferentes níveis de riscos. Para a elaboração de um zoneamento, é necessário distinguir os conceitos de suscetibilidade e de risco. O primeiro refere-se à probabilidade de que um eventual fato afete uma zona com uma determinada, intensidade, independentemente de prejudicar ou não grupos populacionais. O conceito de risco inclui a possibilidade da existência de danos nas populações, instalações, infra-estruturas ou atividades. Assim, no zoneamento de um território, há que se levar em conta não só a suscetibilidade das zonas aos fenômenos naturais, como a existência de moradores, infra-estruturas, instalações e demais fatores existentes na área que esteja vulnerável e possam ser atingidos.

Vários trabalhos foram elaborados, no decorrer destas últimas décadas, com o objetivo de identificar as áreas suscetíveis a movimentos de massa, devido ao grande número de acidentes geológico-geotécnico ocorridos, causando danos à população. Entretanto, a

avaliação de risco dos acidentes nas áreas urbanas tem sido tratada sem a devida importância e é vista normalmente como um fato ocasional. Os problemas são resolvidos, após a ocorrência de um acidente ou de um evento catastrófico. Atualmente, tem-se observado uma maior preocupação por parte dos órgãos responsáveis, que já estudam a solução do problema através de abordagens mais abrangentes e definitivas, que consistem na elaboração de planos de ação conhecidos como Gerenciamento de Risco.

Para exemplificar, cita-se o fato de que em fevereiro de 1988 ocorreu em Petrópolis um evento catastrófico ocasionado por uma grande intensidade de chuvas, com graves problemas de deslizamentos em encostas, que resultou na perda de 171 vidas humanas e muitos prejuízos materiais. A partir desse fato foi elaborado pelo IPT um mapa de suscetibilidade de movimentos de massa na escala 1:10.000, identificando 66 áreas de alto risco, totalizando uma superfície de 7,2 km<sup>2</sup> (NAKAZAWA & CERRI, 1990)

Após este evento, outros registros de ocorrências significativas foram verificados em 1996, 2001 e 2002, no município de Petrópolis, que motivaram a preocupação com as encostas e a necessidade de elaboração de planos mais abrangentes, a fim de controlar ou minimizar os acidentes causados por deslizamentos.

OLIVEIRA (2004), em sua tese de doutorado compilou o inventário elaborado pelo IPT(1990) para acidentes e situações de risco de movimentos de massa. O objetivo foi de resgatar e organizar informações dispersas pelos vários órgãos da Prefeitura, possibilitando esquematizar um gráfico do número de acidentes, frequência relativa e ainda a probabilidade anual de acidentes ocorridos, que se constituiu em uma ferramenta importante para futuros trabalhos de gerenciamento de risco na região.

O Governo Federal, representado pelo Ministério das Cidades, através do Programa Nacional de Redução de Riscos (PNRR), tem demonstrado preocupação com o processo de urbanização brasileira, em face do seu crescimento intenso e desigual, principalmente nas áreas ocupadas desordenadamente por populações desfavorecidas e especialmente as moradias localizadas nas encostas e margem dos rios, ou seja, áreas suscetíveis à ocorrência de acidentes envolvendo danos materiais e vítimas fatais. Neste sentido, tem fornecido subsídios para o fortalecimento dos municípios no

gerenciamento das áreas sujeitas a fatores de risco de deslizamento de encostas e inundações.

O Município de Petrópolis apresenta diversas áreas suscetíveis a escorregamentos, cuja ocupação desordenada cresce com potencial desigual comparado à capacidade de intervenção do Poder Público. Assim, faz-se necessária a identificação dessas áreas de risco, em especial as de risco alto e muito alto para que se tenha um controle maior no planejamento territorial e ainda, possibilitar a identificação de áreas prioritárias para as ações de intervenção.

Para a identificação das áreas de risco e hierarquização de prioridades de investimento, é necessário o conhecimento das características físicas do meio ambiente em que ocorrem os deslizamentos, onde e como estão assentadas as populações. É essencial o conhecimento mínimo das características geotécnicas, geológicas, geomorfológicas e de cobertura vegetal, bem como a existência de uma base de dados cartográficos.

Quando o estudo envolve áreas extensas, a análise preferencialmente deve ser feita com o auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os SIGs são ferramentas capazes de organizar bancos de dados geo-referenciados, tratar grande volume de dados e diminuir a imprecisão dos trabalhos efetuados manualmente.

A caracterização do meio físico de uma área de estudo pode oferecer importantes informações para o planejamento racional do uso e conservação do solo e da água. Nesse contexto, a utilização dos SIGs permite a integração dos dados de forma mais precisa e rápida que os métodos tradicionais de análise. Além disso, os SIGs possibilitam um melhor aproveitamento de dados existentes e, a partir destes, produzir novas informações, permitindo assim um ordenamento de ações mais eficientes. Os SIGs representam, na área ambiental, especialmente nos países em desenvolvimento ou do Terceiro Mundo, uma importante ferramenta para o controle e prevenção ao desperdício dos escassos recursos financeiros.

O desenvolvimento de técnicas computacionais tem permitido o processamento das informações cartográficas, com incrível rapidez e precisão. A utilização da ferramenta em ambiente SIG permite a integração de informações provenientes de várias fontes e

em diversos temas. Por isso é de extrema importância para o planejamento do território e especificamente o Gerenciamento de Risco.

## **1.2 – Objetivos Hipóteses e Formulação da Pesquisa**

As hipóteses assumidas, bem como as formulações descritas no presente trabalho visam como objetivo principal a elaboração de um Mapa Quantitativo de Risco Individual de Escorregamentos para o 1º Distrito de Petrópolis empregando a teoria da estatística bayesiana. Para isto todas as informações foram reunidas em uma base de dados empregando um Sistema de Informações Geográficas.

### **1.2.1 Objetivos gerais**

Os objetivos gerais do trabalho são os seguintes:

- Produzir metodologia para elaboração de Mapa Quantitativo de Risco Individual de Escorregamentos, delimitando áreas de risco, através de Sistema de Informações Geográficas;
- Integrar Mapas Temáticos de estado natural empregando algoritmo com base no teorema de Bayes;
- Definição de áreas de Risco Alto e Muito Alto, com base em critérios de risco, para subsidiar o Gerenciamento de Risco.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Este trabalho tem como objetivos específicos à compilação de informações existentes com a criação de um banco de dados geo-referenciado, produzindo os seguintes mapas temáticos de estado natural da região:

- Mapa de Declividades;
- Mapa de Drenagem Natural;
- Mapa de Vegetação;
- Mapa de Domínios Geológicos-geotécnicos;

- Mapa de Padrões Construtivos.

### **1.2.3 Hipótese**

A hipótese central desta pesquisa admitiu que o emprego de um algoritmo baseado na Estatística Bayesiana para integração temática dos mapas de estado natural conduz a resultados confiáveis na identificação de áreas suscetíveis a escorregamento.

Visando verificar a hipótese acima desenvolveu-se uma pesquisa embasada nos seguintes elementos:

1. Utilização de probabilidades iniciais provenientes da frequência relativa de escorregamentos, calculada a partir do inventário de acidentes e situações de risco de Petrópolis (OLIVEIRA, 2004);
2. Emprego de probabilidades deduzidas por julgamento de especialistas para as condicionantes de escorregamentos, representadas nos mapas temáticos de estado natural;
3. Emprego do Sistema de Informações Geográficas para o geo-referenciamento dos dados.

### **1.2.4 Formulação da Pesquisa**

A presente pesquisa visa:

- Estabelecer uma metodologia para elaboração de um Mapa Quantitativo de Risco de escorregamentos utilizando os recursos da cartografia digital e SIG;
- Elaborar um Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos (Mapa de Perigo) com base em Mapas Temáticos de estado natural, o que fornecerá informações verossímeis com o histórico de acidentes e situações de risco cadastradas em Inventário;
- Associar a cada feição ou característica (condicionantes) dos mapas de estado natural uma probabilidade deduzida com base no julgamento de especialistas (engenheiros e geólogos);

- Empregar um algoritmo de estatística Bayesiana para integração dos dados apresentados nos mapas temáticos;
- Definir critérios para prioridade de intervenção, com o objetivo de minimizar o grau de risco apresentado por determinada área;
- Verificar as vantagens e desvantagens de se elaborar um Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos com o emprego da metodologia proposta;
- Verificar se a mesma serve como subsídio para implementação de planos de gerenciamento de risco em outras regiões, como medida de mitigação desse tipo risco.

### **1.3 Organização e descrição dos capítulos**

O primeiro capítulo expõe uma breve apresentação introdutória dos tópicos do trabalho com os objetivos gerais e específicos, além da formulação da hipótese central e demais aspectos da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica descrevendo os principais tópicos que serão abordados na pesquisa.

O terceiro capítulo apresenta com detalhes a área de estudo e o desenvolvimento da metodologia, critérios e organização dos dados para a elaboração das cartas temáticas.

O quarto capítulo reproduz os mapas de estado natural com as respectivas informações pertinentes a cada assunto.

O quinto capítulo descreve o método da teoria de Bayesiana, definindo os limites de perigo para a geração do Mapa de Suscetibilidade (Perigo) e descreve a metodologia para a elaboração e do Mapa Quantitativo de Risco, além dos estudos de casos com avaliação dos resultados da pesquisa.

O sexto capítulo expõe comentários, conclusões finais e propõe sugestões para pesquisas futuras.

## Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

### 2.1 Conceitos Gerais de Análise de Risco

De uma maneira geral o risco expressa a possibilidade de perdas materiais ou sociais, através da ocorrência de um acidente.

Portanto, desde os tempos mais remotos o homem convive com o risco, seja sendo instigado constantemente a conhecê-lo, desafiá-lo e, em alguns casos superá-lo.

Há quarenta anos, “*risk management*” era o mesmo que “*surveying*”, ou seja, restringia-se à inspeção de riscos. Atualmente, muitos acreditam que fazer gerenciamento de risco é determinar seu dano máximo provável. Assim, os profissionais ligados à área de seguros consideram a gerência de riscos como uma ciência que se ocupa basicamente dos chamados riscos seguráveis e da redução dos custos do seguro (MORGADO & NOBREGA, 2002).

Para banqueiros e profissionais da área financeira, gerenciamento de risco é o uso de técnicas sofisticadas de “*hedging*” (proteção de riscos financeiros) e o manejo adequado das taxas de juros.

Para muitos políticos, analistas sociais e acadêmicos, esse conceito representa o controle de situações que afetam ou podem afetar o meio ambiente, e que são decorrentes do crescente e desordenado avanço tecnológico.

Para administradores hospitalares, significa o mesmo que garantia da qualidade dos serviços prestados aos pacientes ou biossegurança.

Para os profissionais da área de engenharia de segurança do trabalho e medicina do trabalho, o gerenciamento de risco traduz-se fundamentalmente na redução de doenças e acidentes do trabalho e acidentes com danos à propriedade.

Portanto, num contexto geral a gerência de risco tem como finalidade averiguar a probabilidade de eventos futuros, incertos, causarem efeitos adversos – uma filosofia



para o manejo das incertezas e ameaças, no âmbito de qualquer tipo de organização humana (MORGADO & NOBREGA, 2002).

## **2.2 Análise de Risco Associada a Escorregamentos**

Quando a Análise de Risco está associada a escorregamentos, a noção de risco abrange um contexto mais amplo que é a de risco natural e pode ser definida como:

*“Terminologia empregada para caracterizar riscos causados por forças da natureza, mas que podem ser alterados pela ação humana. Esses riscos incluem deslizamentos, erosão acelerada, inundações, etc. Quanto maior for o grau de intervenção humana no meio ambiente, sem levar em conta os riscos naturais, maiores serão as possibilidades da ocorrência de catástrofes, que geralmente envolve mortes e prejuízos materiais”* (GUERRA & GUERRA, 2003).

Ainda dentro dessa premissa, o termo movimentos de massa foi definido por muitos pesquisadores especialistas, entre eles VARNES (1984). Em geral os movimentos de massa se referem a processos geológicos exógenos, tipos naturais ou induzidos, que envolvem mobilização de volumes de materiais, tais como rocha, solo ou detritos, encosta abaixo, por ação da gravidade.

A amplitude dos danos e perdas provocados por uma catástrofe, seja esta de origem natural ou antrópica, depende em primeiro lugar da natureza e da magnitude das suas causas, mas também das características do espaço territorial em que ocorre. Isso significa a existência de segmentos da superfície terrestres mais vulneráveis do que outros a riscos potenciais, de origem natural e/ou antrópica.

A vulnerabilidade de uma região a tais riscos depende de fatores tão diversos como a densidade populacional, a natureza dos seus bens tecnológicos e culturais, o tipo de organização social e econômica e a capacidade exibida pelas comunidades para enfrentarem os diferentes fatores de risco.

Nesta perspectiva o risco ambiental pode ser considerado como a possibilidade de ocorrência de um evento danoso ao meio ambiente ou ao homem. Se a suscetibilidade

de um território for limitada apenas aos fatores de risco de natureza geológica, a noção de risco geológico será mais compreendida.

Os níveis de vulnerabilidade e de risco são estabelecidos a partir da elaboração e análise de cartas de unidades integradas (zonas) ou de cartas temáticas específicas. Em ambos os casos, o risco é um fator primordial para a avaliação da capacidade das unidades territoriais para os distintos usos.

Os mapas qualitativos de risco mostram o grau de risco (muito alto, alto, médio, baixo) atribuído às áreas ocupadas nas encostas, com base na análise dos fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e antrópicos. Os dados são obtidos através de levantamentos de campo e posteriormente integrados pela aplicação de modelos qualitativos e/ou quantitativos.

A elaboração desses mapas é de grande importância para o planejamento da cidade e para o gerenciamento das áreas de risco, permitindo a identificação de áreas críticas e/ou que devem ser um plano de ação, a fim de minimizar o problema.

BOLT (1975) define duas grandes formas de determinação dos graus de risco geológico de uma determinada área:

- Análise relativa: através da simples comparação entre as situações de risco identificadas, sem cálculos probabilísticos quanto à ocorrência (risco relativo);
- Análise probabilística: através da apresentação da probabilidade de ocorrência do acidente geológico, em determinado intervalo de tempo (risco probabilístico).

Os autores citados acima também propõem dois modos principais de abordagem para a elaboração do zoneamento de risco. No primeiro deles, o risco é resultado da severidade cumulativa dos danos causados por terremotos, enchentes, escorregamento, etc, independente da frequência de ocorrência destes processos. No segundo, a frequência é considerada, adotando-se curvas de recorrência, com a classificação da frequência e dimensões dos diferentes processos.

A análise probabilística possibilita a quantificação de perdas de vida de uma determinada região. Previsões realistas de mortalidade em escorregamentos de terra são

elaboradas a partir de estatísticas de acidentes fatais passados, através de inventários disponibilizados pelo Poder Público (PINHEL, 2003).

Os inventários registram todos os dados referentes a escorregamentos de terras em uma determinada região em um dado período de tempo. Através destas informações é possível se obter, como exemplo, a frequência de acidentes no período considerado para aquela região. Esta probabilidade de ocorrência pode ser considerada como um componente para identificação e quantificação do risco.

O risco resulta da interação de vários componentes, destacando-se as características do meio físico (geologia, morfologia, hidrologia, vegetação, clima) que expressam a suscetibilidade e as alterações antrópicas (densidade ocupacional, infra-estrutura), que por sua vez expressam a vulnerabilidade.

A terminologia que tem sido empregada nesta área ainda encontra muita variação em sua definição. As definições dos termos como evento, acidente, desastre, perigo, ameaça, situação de risco, suscetibilidade, risco e o muito discutido “hazard”, ainda não são unânimes entre seus usuários. O MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) propõe as seguintes definições:

- **Evento** é o Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais;
- **Perigo** (“hazard”) é a condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável, por exemplo: escorregamentos;
- **Suscetibilidade** indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais induzidos em uma determinada área, expressando segundo classes de probabilidade de ocorrência;
- **Vulnerabilidade** é a predisposição de um sujeito, sistema ou elemento ser afetado por ocasião de um acidente. Expressa o grau das perdas (vidas humanas, bens materiais, infra-estrutura), refletindo a fragilidade dos sistemas implantados na área. Áreas mais vulneráveis implicam maiores perdas, e, conseqüentemente, em maior grau de risco;

- **Grau de Exposição** reflete a duração ou intensidade do acidente;
- **Risco** é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou conseqüências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade.

Dentro destas premissas pôde-se assumir o risco como a associação entre a probabilidade de ocorrência de um escorregamento e as conseqüências adversas para a saúde humana, propriedades ou meio ambiente.

Segundo EINSTEN (1997), risco pode ser definido através da seguinte expressão analítica:

$$R = p[\textit{perigo}] * u(\underline{X}) \quad (2.1)$$

onde:

$R$  – Risco;

$p[\textit{perigo}]$  – Probabilidade de ocorrência do perigo, no caso escorregamento;

$u(\underline{X})$  – Função utilidade que expressa os custos das conseqüências, estas sendo função do vetor atributo  $\underline{X}$ , que relaciona as conseqüências como a perda de vidas, destruição de moradias, alojamento de desabrigados, etc.

Segundo o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) o risco indica a probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas ou bens materiais). É uma condição potencial de ocorrência de um acidente. A partir deste conceito sugere a Equação a seguir como adequada para o exercício do gerenciamento de risco.

$$R = P(fA) * C(fV) * g^{-1} \quad (2.2)$$

onde:

$R$  – Nível de risco;

$P(fA)$ - Probabilidade “P” de ocorrência de um fenômeno físico (ou perigo) “A” em um intervalo de tempo específico e com características determinadas responsável pela situação de risco;

$C(fV)$  – Conseqüências “C” às pessoas, bens e/ou ao ambiente em função da vulnerabilidade “V” dos elementos expostos;

$g^{-1}$  – Grau de gerenciamento de Risco.

Na abordagem de OLIVEIRA (2004) o risco foi definido como a medida da probabilidade de ocorrência de um perigo (“Danger”) – queda de fragmentos de rocha, detritos de escorregamentos ou corridas, com potencial de atingimento de residências, caracterizando assim uma Situação de Risco (“Hazard”) – e da intensidade das conseqüências adversas para a saúde humana, propriedades ou meio ambiente. Desta forma o risco pode ser definido através da seguinte expressão:

$$R = p[\textit{perigo}] * V * E \quad (2.3)$$

onde:

$R$  - Risco;

$p[\textit{perigo}]$ - probabilidade de ocorrência do perigo (movimento de massa) numa situação de risco;

$V$  – Vulnerabilidade dos elementos em risco;

$E$  – Elementos em risco – vidas humanas, construções, instalações.

O risco individual foi definido como a probabilidade anual de um indivíduo identificável, que vive num setor de risco, ou seja, encontra-se exposto às conseqüências de uma situação de risco (queda de fragmentos de rocha, escorregamentos, corridas de detritos) vir a se tornar vítima fatal de um acidente. Neste caso o valor de E na expressão é igual à unidade.

## **2.3 Metodologias para Análise de Risco**

Várias propostas de metodologias para Avaliação de Risco já foram desenvolvidas, porém a maioria delas coincide com a produção e o uso de cartas preliminares, como as cartas de suscetibilidade e/ou ameaças. EINSTEN (1988) propõe um procedimento para Avaliação de Risco de escorregamentos com base numa estrutura de cinco níveis de mapeamento:

Nível 1 – Mapas temáticos;

Nível 2 – Mapas de suscetibilidade ou de Inventário de Escorregamentos;

Nível 3 – Mapas de Perigo e/ou Suscetibilidade de Escorregamentos;

Nível 4 – Mapas de Risco e;

Nível 5 – Mapas de Gerenciamento.

### **2.3.1 Mapas e Cartas**

Os termos mapa e carta referem-se a documentos cartográficos utilizados para diversas finalidades (obras civis, planejamento urbano, territorial e ambiental, desenvolvimento, conservação e gestão do ambiente, avaliação de eventos perigosos e riscos associados) e que reúnem informações pertinentes a um ou mais aspectos do meio físico, biótico e antrópico (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

O mapa é o registro de dados obtidos de um determinado aspecto do ambiente em questão, sem interpretação e carta refere-se a um documento cartográfico com representação das informações e associações dos dados contidos nos mapas (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

A cartografia é entendida como o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou análise de documentação, visando a elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, bem como sua utilização (SILVA, 2003).

De acordo com ABNT (NBR 13133), as cartas são classificadas como:

- **Geográficas:**

**Topográficas:** confeccionadas mediante levantamento topográfico, ou compilação de cartas topográficas existentes, e que incluem acidentes naturais e artificiais, permitindo facilmente a determinação de altitudes.

**Planimétricas:** semelhantes às cartas topográficas, porém não apresentam indicação de altitudes.

- **Cadastrais e plantas:** geralmente em grande escala, usadas para mostrar limites verdadeiros e usos das propriedades.

- **Aeronáuticas:** representam a superfície da terra com sua cultura e relevo, de maneira a satisfazer especificamente as necessidades da navegação aérea.

- **Náuticas:** resultam dos levantamentos dos mares, rios, canais e lagoas navegáveis e se destinam à segurança da navegação.

- **Especiais:**

**Meteorológica:** mostram classificações climáticas e as que, em serviço contínuo, diário e sistemático, contém informações meteorológicas, observadas simultaneamente em vários lugares, além das alterações progressivas nas condições do tempo.

**Solos:** identificam e classificam os diversos tipos de solos e sua distribuição geográfica.

**Vegetação:** representam as características e a distribuição da cobertura vegetal.

**Uso da Terra:** representam a classificação e distribuição geográfica dos diversos usos aos quais está sujeita a superfície da terra.

**Globos:** contém representações da superfície da terra em outras superfícies semelhantes.

**Mapas** são representações simplificadas do ambiente, condicionadas a um tema determinado. Propõe mostrar determinadas características e especificidades inerentes a um lugar.

A produção de mapas através da tecnologia de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilita incrível avanço na área por vincular dados geográficos a dados alfanuméricos que são atributos normalmente representados sobre a forma de tabelas, ou mesmo dados geográficos, produzindo mapas temáticos que combinam informações, com grandes vantagens em relação aos sistemas tradicionais.

### **2.3.2 Classificação de Mapas e Cartas**

Os documentos cartográficos são classificados quanto ao conteúdo e à finalidade.

Quanto ao conteúdo podem ser mapas fundamentais ou cartas interpretativas e derivadas. Mapas fundamentais são documentos gráficos que registram as informações sobre diferentes componentes do meio físico.

Quanto à finalidade, podem ser cartas para usos múltiplos, para atender um grupo de objetivos vindos de diferentes usuários específicos, elaborados para atender a situações específicas ou especiais.

As cartas são elaboradas a partir de atributos que estão registrados em mapas fundamentais. Uma das maiores dificuldades para elaboração das cartas e mapas diz respeito aos princípios cartográficos e ao conteúdo de cada documento. Dentre os diferentes aspectos do ambiente que são registrados em mapas e cartas, um grupo considerável relaciona-se a componentes do meio físico, ou seja, rochas, materiais inconsolidados, água, relevo, condições climáticas e suas relações. Os componentes do ambiente podem ser caracterizados, classificados e suprir os diferentes usuários, auxiliando decisões em escalas diversas e para diferentes fins (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Os mapas e as cartas registram as variabilidades espaciais das informações e possibilitam o entendimento global de aspectos do ambiente e, portanto podem ser úteis para diversas finalidades, entre elas a de solucionar problemas ambientais e auxiliar no planejamento territorial regional e urbano.



### **2.3.3 Hierarquização dos Mapas e Cartas**

Um processo de hierarquização tem como objetivo a ordenação das informações de qualquer natureza, segundo algum critério: pelo grau de importância para uma determinada finalidade, no sentido de um detalhamento, ou ainda em cadeia de dependência de informações em sentido decrescente ou crescente, e outras possibilidades.

Os critérios definidos num processo de hierarquização podem ser utilizados de maneira absoluta ou em classes que relacionam categorias de um tema. Portanto, a hierarquização dos mapas e cartas dentro de um processo de mapeamento requer uma definição de categorias dos documentos e uma ordem de elaboração.

A hierarquização permite orientar a elaboração dos documentos cartográficos em uma seqüência lógica, desde o planejamento do trabalho até a elaboração do documento em nível mais avançado dentro da hierarquia proposta.

Os mapas que registram as características dos componentes dos meios físico, biológico (Tabela 2.1) e antrópicos (sócio-econômico) estão classificados no nível I e correspondem ao documento básico fundamental na classificação hierárquica.

**Tabela 2. 1** Classificação hierárquica e correspondentes documentos cartográficos – Meio físico (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

NIVEL HIERÁRQUICO	MEIO FÍSICO
I	Mapa do substrato rochoso; mapa da qualidade das águas; mapa das feições do terreno; mapa dos materiais inconsolidados; carta de declividade; mapas das bacias hidrográficas; mapa de profundidade do nível d'água; mapa das áreas úmidas; mapa geologia estrutural/relevo; mapa das feições resultantes dos processos geológicos; mapa das feições do tecnógeno; mapa das condições hidrogeológicas; mapa de documentação; mapa climático.
II	Carta de zoneamento geotécnico geral (CZGG); mapas das condições geológico geotécnicas (MCGG); carta de restrições.
III	Carta para fundações; carta das condições da drenabilidade; carta para escavabilidade; carta para erosividade e erobilidade; carta de potencial de escoamento superficial e infiltração; carta de potencial agrícola; carta para irrigação; carta das zonas de recarga; cartas de disposição de rejeitos e resíduos; carta de potencial a corrosividade; carta para a exploração das águas; carta de potencial para estocagem subterrânea; carta para estradas; carta de potencial de minerais e materiais para a construção civil.
IV	Carta da probabilidade de ocorrência de eventos naturais; carta das áreas degradadas; carta de diagnósticos de zonas degradadas; carta das possibilidades de ocorrência de eventos perigosos; carta de passivos ambientais (meio físico); carta de potencial de erosão; cartas das áreas sujeitas a eventos perigosos (tipo x área); cartas para gestão ambiental.
V	Carta de classificação de bacias hidrográficas quanto a problemas ambientais; cartas com áreas que apresentam restrições para o tipo de ocupação específico; carta de vulnerabilidades das águas; carta de zoneamento geoambiental; carta de riscos específicos e totais.
VI	Carta que retrata os procedimentos construtivos e os cuidados para implementar as formas de ocupação.
VII	Viabilidade para aeroportos, reservatórios (barragens) e captação de água; viabilidade para construções de residências; viabilidade para parques industriais; viabilidade para agropecuária e hortifrutigranjeiros; viabilidade para aterros sanitários; viabilidade para obras enterradas.
VIII	Hierarquização das unidades considerando somente os atributos do meio físico; priorização das áreas para diferentes finalidades (específicas ou global).

Para a elaboração de uma carta de riscos, além dos componentes do meio ambiente, são necessários dados do meio sócio-econômico. ZUQUETTE & GANDOLFI (2004) propuseram uma classificação hierárquica correspondente aos documentos cartográficos dos meios biológicos e antrópico que constituem os elementos vulneráveis ao evento perigoso em questão, conforme mostra a Tabela 2.2.

**Tabela 2. 2** Classificação hierárquica e correspondentes documentos cartográficos - Meio biológico e sócio econômico (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

NIVEL HIERÁRQUICO	MEIO BIOLÓGICO	MEIO SÓCIO ECONÔMICO
I	Mapa de Vegetação	Mapa dos equipamentos urbanos existentes, transporte, energia etc. Mapa de densidade populacional.
II	Mapa dos ecossistemas	Mapas de áreas públicas. Mapa dos diferentes tipos de ocupação: a- tipos que podem provocar eventos perigosos b – ocupações comuns c- ocupações futuras
III	Carta de hierarquização quanto à preservação	Mapa de índices sócio-econômicos
IV	Vulnerabilidade dos elementos de ocupação diante a eventos perigosos e outra limitações. Carta de passivos ambientais (meio biótico)	
V	Carta dos níveis de riscos para as diferentes zonas ambientais.	
VI	Carta com os procedimentos de segurança para cada zona.	
VII	Viabilidade para proteção ambiental ou para exploração de recursos naturais.	
VIII		Cartas que retratem as estimativas da relação custo/benefício. Carta de zoneamento das condições globais do meio ambiente e problemas futuros.

Para a produção de documentos cartográficos é necessária a escolha de uma metodologia a ser seguida. A metodologia é desenvolvida através de uma seqüência de procedimentos que determinam os diferentes níveis hierárquicos a serem adotados e, conseqüentemente, relacionados às cartas e os mapas.

Entre os mapas básicos para a análise cartográfica tem-se:

**Mapa Temático** documento cartográfico a que se refere o meio físico, definidos no nível I (Tabela 2.1) e que correspondem a base para o desenvolvimento de uma análise cartográfica. O mapa temático gerado através de dados físicos da região e da situação atual;

**Mapa Topográfico** - documento básico e fundamental que deve estar disponível como fonte de dados. A limitação para confecção destas cartas está justamente nas escalas, na amplitude de relevo e na equidistância das curvas em que elas se apresentam. Os mapas topográficos, quando utilizados como mapas-base ou fonte de informações, devem apresentar as características descritas na Tabela 2.3. Elas são necessárias para garantir a compatibilidade do mapeamento geotécnico com a escala selecionada para apresentação.

**Tabela 2.3** Condições limites dos mapas topográficos para a elaboração de cartas de declividade de acordo com ZUQUETTE & GANDOLFI (2004).

ESCALA	ZONAS COM AMPLITUDE E RELEVO	DISTÂNCIA HORIZONTAL ENTRE CURVAS DE NÍVEL (MM)	EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL QUE PODEM SER AGRUPADAS	Nº DE CURVAS DE NÍVEL QUE PODEM SER AGRUPADAS	RECOMENDAÇÕES
<b>1:10.000</b>	>200	<0,5	10		Controle com procedimentos de fotointerpretação por meio de fotos aéreas de baixa altitude e trabalhos de campo (foto aéreas: 25.000/1:10.000)
	100 - 200	<1	5		
	<100		1	5	
<b>1:5.000</b>	>100	<1	10		Controle com procedimentos de fotointerpretação, fotos aéreas de baixas amplitudes e trabalhos de campo (foto aéreas 1:10.000)
	<100		2	5	
<b>Maiores que 1:5.000</b>	>100	<2	5	2	Controle com procedimentos de foto interpretação, trabalhos de campo e fotogrametria terrestre
	<100	<1	1	2	

**Carta de Declividade** é elaborada a partir de duas fontes de dados básicos. A primeira fonte representa medidas diretas, obtidas em campo por diferentes tipos de equipamentos e recursos, medidas sobre fotos aéreas ou outro produto de sensores remotos; a segunda é a partir de mapas topográficos.

Independente do caminho escolhido é preciso definir as classes a serem consideradas. A definição das classes está condicionada à verificação da frequência e distribuição das medidas da qualidade do mapa topográfico. Deve-se ainda considerar a amplitude total

dos valores de declividade para a região em questão e os possíveis usos do documento cartográfico. Portanto, diversas são as classes, adotadas por vários autores que trabalham com objetivos diversos, tais como as apresentadas nas Tabelas 2.4 a 2.6.

**Tabela 2.4** Faixas de declividade definidas para as encostas de Petrópolis (OLIVEIRA, 2004).

FAIXAS	DECLIVIDADE
1	<30°
2	30° - 45°
3	>45°

**Tabela 2.5** Classes de declividades para Ouro Preto utilizada por BONUCCELLI (1999).

DECLIVIDADE	DECLIVIDADE (graus)
menor que 5%	<2,8
5 a 10%	2,8 a 5,7
10 a 20%	5,7 a 11,3
20 a 30%	11,3 a 16,6
30 a 45%	16,6 a 24,2
45 a 75%	24,2 a 36,8
75 a 100%	36,8 a 45
maior que 100%	>45

**Tabela 2.6** Classes de declividades adotadas em Ouro Preto (MG) por FONTES e PEJON (1993)

CLASSES	DECLIVIDADE (%)	DECLIVIDADE (graus)
7	75-100	36-45
6	45-75	24-36
5	30-45	16-24
4	20-30	11-16
3	10-20	6-11
2	5-10	3-6
1	0-5	0-3

**Mapa Geotécnico** ou Mapa de Domínios Geológico-Geomorfológico-Geotécnico ZUQUETTE & GANDOLFI, (2004). Pode ser descrito como o processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio-físico, bem como possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso de solo, processos naturais ou induzidos por ação do homem pelo uso inadequado do meio ambiente. Este mapa considera o meio-físico, com o objetivo de avaliar limitações e potenciais. Assim, o mapeamento geotécnico caracteriza-se por ser um campo de interfaces de diversas áreas

de conhecimento, tais como: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Mecânica dos Solos e Rochas.

**Mapa de águas ou de drenagem natural.** A melhor base para elaboração destes documentos cartográficos são as fotos aéreas por meio das quais é possível obter a rede dos canais de drenagem detalhadamente.

**Mapa de Uso e Ocupação do Solo** é um documento fundamental para avaliação e elaboração das cartas de risco, devendo refletir as diferentes categorias e suas vulnerabilidades em relação à intensidade de um evento perigoso.

**Mapa de Valoração Econômica** é fundamental para que cartas de risco sejam elaboradas para uma determinada região. O trabalho deve incluir não só as condições reais (construções, usos, etc.), mas também as condições potenciais decorrentes de condições sócio-econômicas e ambientais.

O mapa de uso e ocupação e o mapa de valoração econômica do uso e ocupação do solo são necessários para a formulação do segundo componente do risco, que é a avaliação das conseqüências. A síntese é construída pela associação da vulnerabilidade e do valor econômico ou social dos elementos do meio ambiente que estão sujeitos ao evento em análise. A valoração econômica é obtida a partir do levantamento dos preços de mercado das habitações, dos terrenos desocupados e custos dos equipamentos urbanos devidamente atualizados. Esses valores pontuais no mapa são tratados para médias ou faixas de valores.

O mapa de valoração econômica deve ser elaborado a partir do mapa de usos e ocupações, foto-interpretações e trabalhos de campo, visando definir onde, que tipo de elemento e quanto podem ser afetados pelos movimentos de massa. Conseqüentemente, os resultados obtidos serão considerados na carta de risco.

## **2.4 Método da Superposição de Cartas**

O método de superposição de cartas tem sido muito utilizado para análises ambientais, principalmente no planejamento do território para identificação de áreas sensíveis à ocupação urbana. A superposição simples é o método mais tradicional e vem sendo

aplicado desde a década de 1960. Para que a aplicação desta técnica produza documentos satisfatórios, os dados devem ser selecionados, hierarquizados e a combinação deve ser dirigida por uma conceituação consistente.

Portanto, para se obter resultados consistentes é necessário que a aplicação do processo de superposição seja controlada. Com o notável avanço da tecnologia, oferecida pela computação gráfica e pelas técnicas de sensoriamento associadas a sistemas de informações geográficas digitalizadas, esse método vem sendo valorizado com intensidade proporcional e tem demonstrado eficácia e obtenção de bons resultados.

Esta técnica é utilizada para identificar as áreas mais apropriadas para um determinado tipo de uso. São operações feitas com os mapas temáticos superpostos um sobre os outros, onde a cada posição espacial são associados vários valores obtidos em cada um dos mapas correspondentes resultando em um mapa composto da mesma área, onde são identificadas desde as áreas mais críticas até as áreas menos sensíveis.



**Figura 2.1** - Exemplo do método de superposição de mapas para identificação das áreas ambientalmente sensíveis à ocupação urbana (MOTA, 2003).

A superposição por matrizes é uma metodologia que permite a análise de um grupo de atributos e seus valores, bem como as relações entre as unidades das diferentes matrizes, sejam bi ou tridimensionais. As matrizes bidimensionais facilitam excluir as unidades que são definidas por valores ou classes não presentes em uma dada região. Assim, é

possível ter uma avaliação da diversidade de comportamentos apresentada pela região quanto à finalidade em questão.

### 2.4.1 Operações de Superposição

As operações de superposição são extensamente utilizadas em ambiente SIG. Os bancos de dados são geo-referenciados, formando planos de informação (PIs) que são superpostos uns sobre os outros. Portanto, as superposições podem ser eficazmente implementadas, não havendo limite do número de superposições possíveis.

As principais operações de superposição são: imposição ou máscara, colagem, comparação, associação e sincronização.

A **imposição** é quando se faz a associação de uma determinada área a uma característica específica, ou seja, pôde-se saber, por exemplo, quais tipos de solos se encontram associados a uma determinada tipologia de vegetação.

A **colagem** representa a imposição de regiões geográficas de um determinado mapa a outro mapa; as regiões são preservadas, os atributos mudam de codificação, porém as qualidades são preservadas.

A **comparação** permite a identificação de áreas com os mesmos atributos.

A **associação** corresponde a áreas geo-referenciadas controladas por determinados argumentos e a **sincronização** corresponde à superposição de mapas, na qual cada interseção representa uma nova e independente categoria.

### 2.4.2 – Análises Algébricas

As análises algébricas são também chamadas de análises lógicas e compreendem: a simultaneidade booleana, a possibilidade “fuzzy” e a probabilidade bayesiana.

A lógica “*booleana*” baseia-se em estabelecer limites determinados a partir de informações consideradas falsas, atributo 0 (zero), e verdadeiras atributo 1 (um). Esta lógica é extremamente utilizada em SIG, pois permite análises rápidas em áreas que, possuindo simultaneidades, possam conduzir a desdobramentos operacionais.



A lógica “*fuzzy*” pode ser definida como a parte lógica da matemática dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural (KATINSKY, 1994).

Na lógica “*fuzzy*”, os valores que pertencem estritamente a uma classe assumem o valor de pertinência 1. À medida que os membros se afastam do valor central, são definidos numa amplitude de valores de pertinência com tendência zero. A forma como os valores de pertinência são atribuídos à classificação contínua depende da função de pertinência, ou seja, a função que associa a cada elemento um valor no intervalo contínuo entre 0 e 1 (ZADEH, 1965, LEUNG, 1988 e KATINSKY, 1994).

Finalmente, a probabilidade *bayesiana*, fundamentada no Teorema de Bayes, é uma decorrência da Regra do Produto e está relacionada a dois conceitos: probabilidade posterior e prévia. Ou seja, com base no conhecimento prévio de uma determinada feição, a probabilidade prévia pode ser atualizada por uma informação adicional decorrente da observação de fenômenos ou evidências.

## **2.5 Geo-processamento e Sistemas de Informações Geográficas**

O Geo-processamento é o termo utilizado para denominação de processamento digital de dados referenciados geograficamente através de sua localização e relação espacial. O geo-processamento e os SIGs podem ser definidos de diversas formas. XAVIER DA SILVA *et al.* (2001) definem o geo-processamento como “*um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre base de dados (que são registros de ocorrências) geo-referenciados, para transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcione o máximo de eficiência nesta transformação*” e, desta forma, facilitar o acompanhamento do crescimento populacional através dos espaços por ela ocupados.

De acordo com BELTRAME (1994), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são programas de computador destinados à integração de diferentes dados temáticos de uma mesma área de estudo e visam aprimorar processos decisórios de cunho espacial, atualizados e confiáveis. O banco de dados pode ser formado pela passagem das informações através da mesa digitalizadora ou via “scanners”, compondo, assim, a base

digital de dados que podem ser manipulados, modelados, analisados automaticamente, representados em forma cartográfica e em três dimensões. Os SIGs representam as entidades reais do espaço geográfico (estradas, hidrografia, cobertura vegetal, etc.), através da utilização de quatro elementos gráficos fundamentais: pontos, arcos ou linhas, polígonos e anotações (gráficos ou textos).

BONHAN-CARTE (1994) entende os SIGs como sistemas de “*software*” computacional com o qual a informação pode ser capturada, armazenada e analisada, combinando dados espaciais de diversas fontes em uma base unificada, empregando estruturas digitais variadas, representando fenômenos espaciais também variados, através de uma série de planos de informação que se sobrepõe corretamente em qualquer localização.

O SIG pode ser visto também como um caso especial de sistema de banco de dados, sendo considerado um sistema de informação computacional que adquire, guarda, manipula e mostra dados referidos espacialmente para resolver problemas complexos em pesquisa, planejamento e gerenciamento (FISCHER, et al, 1996).

Para GOODCHILD (1991) o maior valor potencial dos sistemas de informação geográfica está em sua capacidade de analisar dados espaciais.

SMITH, MENON, STAR e ESTES, (1987) definem como um banco de dados indexados espacialmente sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais.

E finalmente HANIGAN (1988) define SIG como qualquer sistema de gerenciamento de informações capaz de coletar, armazenar e recuperar informações baseadas nas suas localizações espaciais, identificar locais dentro de um ambiente que tenha sido selecionado a partir de determinados critérios explorar relações entre dados de um ambiente; analisar os dados espaciais para subsidiar os critérios de formulação de decisões, facilitar a exportação de modelos analíticos capazes de avaliar alternativas de impactos no meio ambiente, exibir e selecionar áreas, tanto graficamente como numericamente, antes e/ou depois das análises.

Portando, pode-se verificar que SIGs são ferramentas utilizadas para análise das técnicas de geo-processamento, pois manipulam objetos (ou feições geográficas) e seus atributos (ou registros que compõem um banco de dados) através do seu relacionamento espacial (topologia).

Porém, o conhecimento do espaço ou do território não é meramente a justaposição de dados, em um dado momento, mas a integração de todos eles dentro de uma mesma unidade de análise. O geo-processamento permite individualizar cada espaço através de suas características ou assinaturas, para que possa nele atuar com mais confiança, além de discernir e explicitar os fenômenos que nele ocorrem, com base em análises mais concretas e rigorosas, minimizando interferências (XAVIER DA SILVA, *et al* 1994).

Pode-se verificar que a utilização de técnicas de geo-processamento atualmente é um importante instrumento para o desenvolvimento do planejamento urbano devido à facilidade de armazenar, manipular e analisar conjuntamente um grande volume de dados espaciais e não-espaciais.

Os órgãos de planejamento possuem dados de diferentes naturezas dispersos pelos vários setores responsáveis por cada sistema. Ainda possuem um grande volume de dados, relacionados espacialmente e, portanto, a utilização do SIG é de extrema importância, pois a sua aplicação é a mais variada possível, podendo atuar no sistema de transportes, redes de distribuição de água e coleta de esgoto, uso e ocupação do solo, cadastramento imobiliário, gerenciamento de áreas de risco, entre outros.

Mas o conceito de SIG vai muito além, e deve denotar todas as capacidades da ferramenta, que possibilita cadastrar, anexar, atualizar e cruzar informações.

A produção de mapas através da tecnologia do Sistema de Informações Geográficas possibilita incrível avanço na área por vincular dados geográficos, geralmente representados por mapas diversos a dados alfanuméricos atributos, normalmente representados sobre a forma de tabelas. Ou ainda vincular dados geográficos diversos, produzindo mapas temáticos que combinam informações, com grandes vantagens em relação aos sistemas tradicionais.

Muitos são os sistemas disponíveis no mercado nacional para este tipo de análise, porém apresentam alta complexidade de uso e demandam muito tempo para o aprendizado.

Para a realização deste trabalho, optou-se pelo uso do SPRING 4.2, Sistema para Processamento de Informações Geo-referenciadas (INPE), por ser um “software” sem restrições de uso, portanto acessível aos projetos de baixo custo. Este sistema constitui-se numa ferramenta que, além da facilidade de uso, permite a integração de dados entre imagens de satélite ou fotos, mapas temáticos e cadastrais e modelos numéricos de terreno.

### **2.5.1 SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geo-referenciadas)**

O SPRING é um sistema de geo-processamento, desenvolvido pelo INPE, com tecnologia totalmente nacional. As características principais são:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”) e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto em um SIG; Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, ou seja, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variam desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

O SPRING está baseado em um modelo de dados orientado a objetos que combina as idéias de “campos” e “objetos geográficos”. Deste modo, deriva-se tanto a interface dirigida por menus, quanto a linguagem LEGAL. Algoritmos inovadores como segmentação de imagens e classificação por regiões e modelagem por triangulação com

restrições complementam os métodos tradicionais de processamento de imagens e análise geográfica (INPE, 2006).

### **Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra (LEGAL)**

É uma linguagem de manipulação e consulta de dado geográfico de propósito geral e ampla aplicação, denominada LEGAL. Esta linguagem está baseada na formulação de uma álgebra geográfica, que permite expressar operações específicas para cada tipo de dado, bem como explicitar operações que transformam um tipo de dado em outro (CÂMARA et al., 1995).

As principais características da LEGAL são:

- Orientada a objetos; o resultado das operações é um conjunto de objetos ou um conjunto de valores;
- Tanto operações de consulta espacial quanto operações de manipulação fazem parte da sintaxe da linguagem;
- As operações de consulta são empregadas utilizando uma sintaxe baseada em SQL (“Structured Query Language”) ou Linguagem de Consulta Estruturada. É uma linguagem de pesquisa declarativa para banco de dados relacional. Muitas das características originais do SQL foram inspiradas na álgebra relacional.
- As operações sobre campos, as operações combinadas campos-objetos e a linguagem de apresentação são implementadas por operadores do mesmo nível semântico da linguagem SQL.

A linguagem inclui operações booleanas, matemáticas, pontuais (reclassificação, ponderação) e zonais sobre geo-campos, seleção espacial e junção espacial sobre geo-objetos, transformações de geo-objetos para geo-campos (como reclassificação por atributos e mapas de distância) e de geo-campos para geo-objetos (intersecção espacial).

### 2.5.2 Banco e Modelo de Dados

Um Banco de Dados no SPRING corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenadas suas definições de Categorias e Classes, e os projetos pertencentes ao banco. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados: pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos.

O universo geo-espacial é freqüentemente modelado segundo duas visões complementares: o modelo de Campos e o de Objetos (GOODCHILD, 1992). No modelo de Campos os fenômenos variam segundo diferentes distribuições, cujo domínio é uma região geográfica e o contradomínio, um conjunto de valores que podem ser qualitativos ou quantitativos, mapas temáticos e imagens, por exemplo. O modelo de Objetos representa o mundo como um conjunto de objetos identificáveis e localizáveis, com geometria e características próprias, que não precisam ser associados a fenômenos geográficos específicos.

O Modelo de Dados do SPRING, proposto por CÂMARA et. al. (1995) representa uma abordagem unificada das visões de Campos e Objetos geográficos. O modelo adota uma estratégia de especificação que identifica quatro níveis de objetos geográficos: o nível do mundo real, o nível conceitual, o nível da representação e o nível da aplicação. Assim, um campo ou objeto geográfico deve ser especificado a nível conceitual e então associado a diferentes representações, em diferentes estruturas físicas ou formatos, a fim de permitir uma caracterização do dado geográfico que seja próxima à sua conceituação no domínio das aplicações do usuário. Num processo Conceitual identifica cinco tipos (ou modelos) de dado: Temático, Numérico, Imagem, Cadastral e Objetos.

O modelo Temático refere-se a dados qualitativos, que tipicamente estão associados a propriedades ou atributos de regiões. Planos de informação Temáticos poderão incluir dados em representações vetoriais ou matriciais, nas quais cada ponto tem um valor de classe temática derivado da região que o contém. O modelo Numérico refere-se a dados quantitativos que podem assumir valores numéricos de qualquer tipo em cada ponto. São compostos de representações matriciais (grades retangulares) ou vetoriais (grades triangulares, isolinhas e amostras). O modelo Imagem se refere, tipicamente, aos dados

de radiometria, digitalizados em uma faixa de valores numéricos inteiros, compondo representações matriciais.

O modelo Objetos é intimamente relacionado ao conceito de tabela em bancos de dados. Cada categoria de objetos está associada a uma tabela contendo atributos que caracterizam as propriedades de cada objeto representado por uma linha da tabela. O modelo cadastral contém representações vetoriais que deverão ser associadas a objetos de uma ou mais categorias do modelo Objetos, Esses modelos são complementares, no sentido que objetos são representados em mapas cadastrais (ou de objetos), já que constituem entidades independentes de representação, projeção e escala. Assim, dados de uma categoria de objetos são associados a polígonos, linhas ou pontos de algum mapa Cadastral sempre que necessário.

Os aspectos da modelagem geográfica ao nível da representação envolvem a escolha das estruturas de dados (vetores, matrizes, etc) que efetivamente dão acesso ao conteúdo do dados. Podem existir múltiplas representações para um mesmo objeto ou campo, entretanto, idealmente essas questões devem ser as mais transparentes possíveis para o usuário de SIG.

## **2.6 Aplicações práticas de Sistemas de Informações Geográficas**

Diversos trabalhos e pesquisas científicas têm sido desenvolvidos com abordagens diversas sobre análise quantitativa de risco de escorregamentos e com o emprego de SIGs para análise dos resultados.

### **2.6.1 Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiente de SIG como Subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: Um Ensaio em Caraguatatuba (SP)**

AUGUSTO FILHO (2001) desenvolveu uma metodologia de elaboração de cartas de risco de escorregamentos, utilizando abordagens quantitativas e adequadas aos condicionantes ambientais e aos recursos técnicos científicos brasileiros. O roteiro metodológico proposto foi centrado no conhecimento dos agentes e no mecanismo dos escorregamentos e na utilização de Sistemas de Informações Geográficas como ferramenta básica de registro, análise e cartografia de risco.

O trabalho foi desenvolvido baseado em inventário das características dos movimentos de massa mais importantes da área estuda. A formulação qualitativa dos modelos fenomenológicos de instabilização, das situações de potenciais de perigo, a preparação das bases topográficas e dos mapas temáticos digitais, foram utilizados na etapa de Análise de Perigo.

Nesta pesquisa foi verificado que o emprego de modelos baseados em decisões probabilísticas e análise de risco vêm sendo aplicados com sucesso. A intensificação do emprego da tecnologia do SIG nas análises, e, particularmente, na cartografia de riscos de escorregamentos, também se constitui uma tendência mundial.



## **2.6.2 Método Bayesiano – Teoria e Aplicação para Definição de Áreas Potenciais a Ocorrência de Processos de Escorregamentos**

SANTOS (2000) propôs uma metodologia baseada no emprego da teoria de estatística bayesiana, para definição de áreas com potencial de escorregamentos.

Partiu do princípio que grandes partes dos fenômenos naturais ocorrem de forma aleatória (ou casual). Utilizou a probabilidade como ferramenta para inferir onde, quando e como um determinado fenômeno ocorre. Deste modo foi utilizado o método bayesiano, que se fundamenta na regra da estatística de Bayes, para prescrever a probabilidade de ocorrer escorregamentos em uma determinada região.

Foram utilizadas na análise informações existentes sobre escorregamentos. A relação estatística do fenômeno foi feita a partir dos pontos de escorregamentos ocorridos na área.

Além dos pontos de escorregamentos, foram elaborados mapas temáticos com as informações disponíveis. As evidências ambientais (classes temáticas) correlacionadas com os pontos de escorregamentos foram traduzidas na forma de pesos, que descrevem a importância e contribuição de cada evidência para o desenvolvimento do fenômeno.

Neste trabalho, as evidências foram tratadas de forma binária, ou seja, considerando sua presença ou ausência. Com isso, as evidências foram entendidas como mapa binário de evidências, que representa graficamente a presença, ou ausência, da evidência num determinado espaço geográfico.

Ainda utilizando o método bayesiano foram definidas áreas de influência, de uma determinada evidência. A análise foi determinada estatisticamente a partir da definição de um limiar máximo de influência espacial, entre a evidência e os escorregamentos.

Para quantificar a associação espacial de cada evidência com os escorregamentos foi usado um parâmetro que indica a correlação com este processo. Este parâmetro foi calculado a partir dos pesos atribuídos ao mapa de binário de evidência. Por fim, o mapa final foi obtido com resultados expressos em termos de probabilidade condicional de ocorrência de escorregamentos.

### **2.6.3 Avaliação de Risco de Deslizamentos nas Encostas de Petrópolis (RJ) e da Região Metropolitana de Recife (PE)**

PACHECO & COUTINHO (2006) fizeram uma abordagem sugerindo um critério baseado no conceito de *risco=probabilidade x consequência*, através do qual se estima o risco de perda de vida em deslizamentos de terra em regiões de grande concentração demográfica. Os resultados foram apresentados por comparações entre a Cidade de Petrópolis e a Região Metropolitana de Recife.

Na formulação proposta, a incerteza quanto à previsão de perdas de vida é quantificada através de distribuições probabilísticas específicas.

Com base no conceito adotado pelos autores a consequência é caracterizada como sendo qualquer resultado indesejável decorrente de um deslizamento de terra, que por sua vez é associado à probabilidade de ocorrência. A análise de risco limita-se as consequências relacionadas aos casos de perdas de vida.

A partir desta premissa, a metodologia foi desenvolvida calculando-se o risco social para taludes múltiplos, através do conceito de Perda de Vida Potencial (PLL), que representa a mortalidade média anual e ainda, baseada em curvas F-N, que representam a distribuição das freqüências acumuladas (F), em forma decrescente, em função da mortalidade histórica (N), em escala logarítmica dupla.

Após o desenvolvimento teórico da metodologia, foram utilizados os dados de registro das áreas em estudo. Os resultados obtidos por comparação apresentaram bons ajustes. Entretanto foi considerada apenas a distribuição estatística das consequências, ou seja, não se levou em conta as peculiaridades do meio físico e dos deslizamentos o que, neste caso levaria a uma formulação bastante complexa que, provavelmente não permitiria a previsão teórica de curvas F-N (representativas em várias regiões) com a mesma precisão obtida através da metodologia apresentada.

#### **2.6.4 Uso da Modelagem Numérica de Terreno para a Construção de um Mapa de Riscos em Encostas de Salvador, BA**

ARAÚJO (2005) apresentou um modelo baseado na utilização do módulo de modelagem numérica de terreno e da Linguagem Espacial de Geo-processamento Algébrico (LEGAL) do Software SPRING 3.8 que resultou na construção de um mapa de risco em encostas urbanas.

A área de estudo é uma região urbana densamente ocupada no centro do Município de Salvador/Ba, no bairro de São Caetano.

Foi feita uma análise, utilizando-se um banco de dados e base digital referenciada. Devido ao alto custo para realização do trabalho de campo, as informações sobre as diversas unidades espaciais urbanas como lotes, quadras e ruas foram derivadas do modelo digital de informações.

A estruturação da base de dados digital foi de grande importância para identificação de áreas como, por exemplo, as impróprias ou com restrição à construção civil (número de pavimentos, por exemplo) em função de declividade muito acentuada, aquelas para estabelecimento de novos loteamentos ou avaliação de potenciais áreas de risco. Esta base permitiu também a identificação, nas áreas já urbanizadas, de locais de risco potencial, nos quais os tipos de uso devem ser restritos.

O modelo proposto nesta pesquisa considera apenas as informações relativas ao relevo, ou seja, a análise de risco foi estruturada apenas no potencial que a declividade oferece à ocorrência de escorregamentos.

### **2.6.5 Proposta Metodológica para Avaliação de Risco por Escorregamento na Região Andina do Eixo Cafeteiro (Quindio – Colômbia)**

O denominado Eixo Cafeteiro, localizado na região andina colombiana, apresenta condições particulares como relevo, clima, geologia, tectonismo, entre outras, que fazem a região vulnerável para a ocorrência de processos geodinâmicos como escorregamentos, enchentes e sismos. Estes fenômenos podem chegar a constituir-se como um risco de tipo geológico para o desenvolvimento da região, afetando tanto a população como as infra-estruturas e obras locais em geral.

A metodologia proposta por CORONADO & DINIZ (2005) foi a compilação de Mapas temáticos e informação básica, que caracterizam o meio físico e que serão usados como dados de entrada para a produção de mapas de suscetibilidade. Dentre eles, conta-se com: mapa geológico-geotécnico, topográfico, geomorfológico, adicionalmente com fotografias aéreas e imagens de satélite, dados de ensaios geotécnicos, dados de precipitações e sismológicos.

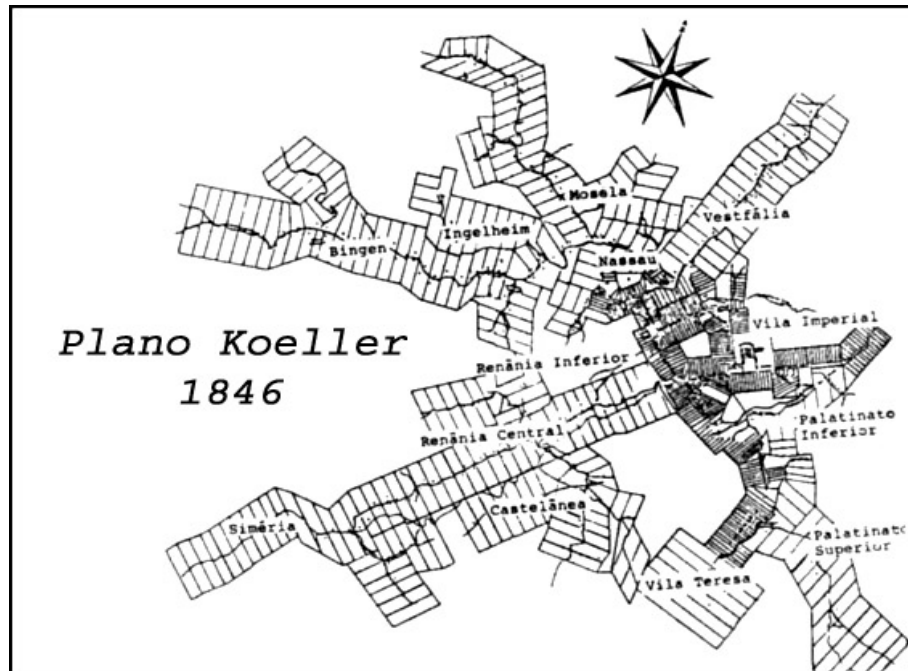
A partir dos mapas temáticos e todos os dados geo-referenciados, produziu-se o seguinte: MDT (modelo digital do terreno), mapa de declividade, mapa de unidades geológico-geotécnicas e mapa de cicatrizes de escorregamentos (com dados de ensaios geotécnicos e dados de precipitações e sismológicos). A partir da análise destes produtos e por meio do uso do SIG, obteve-se o mapa de suscetibilidade e escorregamento da área.

O mapa de perigo ou ameaça de escorregamentos corresponde aos mapas que apresentam as probabilidades de ocorrência dos diferentes tipos de escorregamento. Estas probabilidades são estimadas com base na análise da frequência de deflagração destes processos em função de fatores de suscetibilidade e/ou deflagradores como: pluviometria, terremotos, propriedades do solo e rocha, geometria da encosta, etc. Esta carta também teve como objetivo a definição do raio de alcance dos escorregamentos analisados.

## Capítulo 3 – Apresentação da Área de Estudo e Metodologia para elaboração dos Mapas Temáticos

### 3.1 Conhecimento do Problema

A cidade de Petrópolis foi a segunda cidade na América a ser criada de acordo com um pré-planejamento elaborado em 1846 pelo Major Júlio Frederico Koeller (Figura 3.1). Concebida para ser uma cidade eminentemente agrícola, cuja produção seria absorvida pela Corte estabelecida no Rio de Janeiro, sua ocupação deveria se dar ao longo dos rios. A Serra dos Órgãos, nome local da formação conhecida como Serra do Mar, é composta de montanhas dotadas de escarpas abruptas que configura vales encaixados por onde seus rios encachoeirados correm. Assim, a ocupação inicialmente prevista se daria de forma tentacular, sem avançar sobre suas encostas, demonstrando desde então, uma nítida preocupação, em adequar seu crescimento ao meio físico existente.



**Figura 3.1** - Plano Koeller de ocupação de Petrópolis em 1846 (FERREZ, 1955).

No entanto, suas terras mostraram-se de baixa vocação agrícola, o que levou vários colonos a trocarem sua atividade agrícola pela exploração madeireira de suas matas.

Protestos da população surgiram em função dessa atividade predatória, conclamando a elaboração de um Código Florestal. A partir daí, e desde então, diversas determinações do Poder Público Municipal foram promulgadas, procurando ordenar o seu crescimento acelerado.

Apesar dessa visível preocupação com a preservação do meio ambiente, apoiada em todo um arsenal regulador do uso e manejo do solo, o crescimento da cidade de Petrópolis teve as mesmas características de ocupação desordenada encontrada em todas as grandes cidades brasileiras: desmatamentos predatórios, loteamentos infundados e construções irregulares. Petrópolis é hoje em dia uma cidade que se espalha indiscriminadamente por seus vales e suas encostas. Residências de populações de baixa e de alta renda, indústrias, comércio encontram-se assentados em várzeas, encostas, zonas de tálus-colúvio, todas sujeitas a enchentes e escorregamentos.

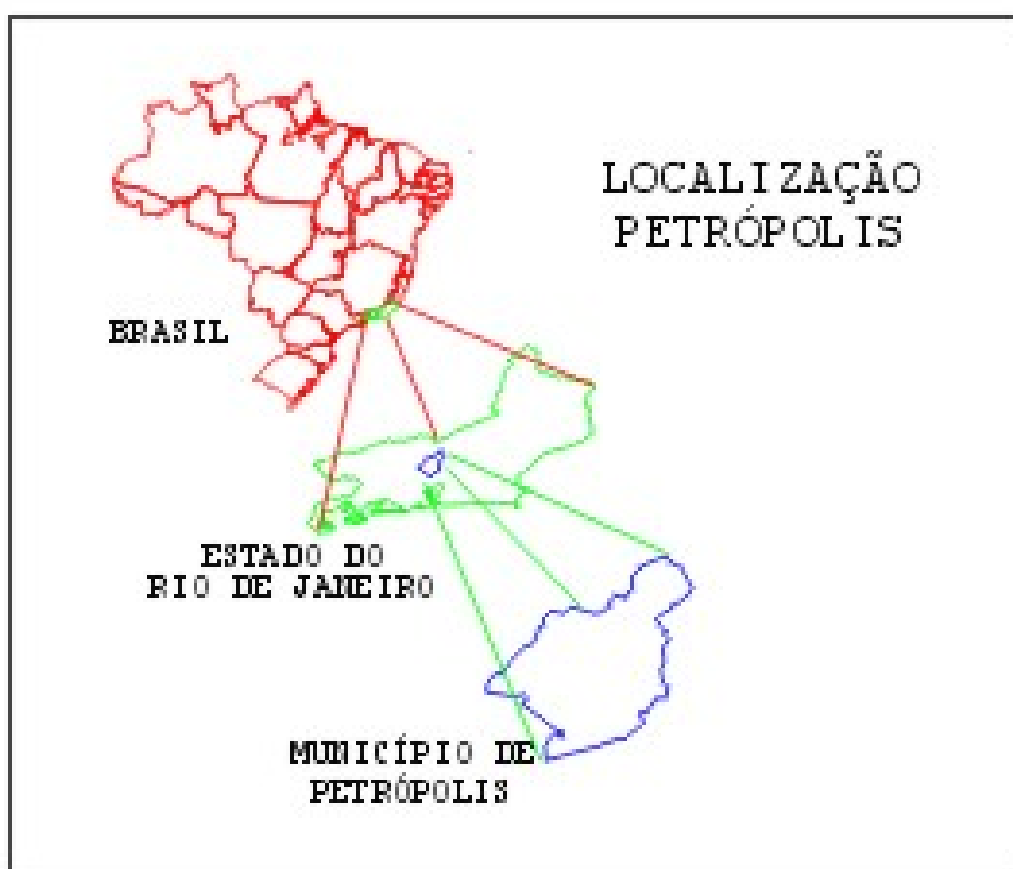
As inadequadas condições de ocupação e os riscos geológico-geotécnicos a elas aliados ganham realce, de tempos em tempos, saindo das esferas técnicas, governamentais, e institucionais e atingindo toda a imprensa e a opinião pública, ao deixarem suas condições de “risco” para se transformarem em acidentes, desastres e catástrofes.

Vários foram os episódios significativos de escorregamentos de terra e enchentes. Diversos setores da área urbana foram afetados envolvendo vítimas fatais, sendo que, em sua maioria, conseqüência de chuvas intensas. Ao longo dos tempos, têm se contabilizado vários deslizamentos com vítimas de morte, feridos, desabrigados e muitas construções interditadas por falta de segurança.

Portanto, o um Sistema de Gerenciamento em áreas de risco implica necessariamente no conhecimento do problema, através da elaboração do Mapa de Risco para que as áreas sejam classificadas em diferentes níveis de risco e hierarquizadas para o estabelecimento de medidas preventivas e mitigadoras que serão administradas por meio de ações no controle de uso e ocupação do solo.

### 3.2 Características da área de Estudo

O Município de Petrópolis localiza-se na Serra do Mar e limita-se ao Norte com São José do Vale do Rio Preto, a Leste com Teresópolis e Magé, ao Sul com Duque de Caxias e Miguel Pereira e a Oeste com Paty de Alferes, Paraíba do Sul e Areal (Figura 3.2). Apresenta altitude de 809,50 metros acima do nível do mar, latitude de 22°30'18" e longitude de 43°10'43". Possui área total de 811 km<sup>2</sup> e 306.002 habitantes residentes (IBGE, 2005).



**Figura 3.2**– Localização do Município de Petrópolis.

O Município é organizado em 5 (cinco) Distritos (Tabela 3.1 e Figura 3.3), representando 1,8% da área total do estado Rio de Janeiro.

**Tabela 3.1** Relação de áreas dos Distritos no Município de Petrópolis (PMP, 1999).

DISTRITOS	ÁREA ( km <sup>2</sup> )	OCUPAÇÃO URBANA
1° Distrito – Petrópolis	143	17,63 %
2° Distrito - Cascatinha	274	33,78%
3° Distrito - Itaipava	121	14,92%
4° Distrito – Pedro do Rio	210	25,89%
5° Distrito - Posse	63	7,77%
<b>Total:</b>	<b>811</b>	<b>100%</b>



Fonte: PMP

**Figura 3.3** Representação de Petrópolis com seus respectivos distritos (apud PMP, 1999).

A área de estudo deste trabalho contempla todo o 1º Distrito, Petrópolis, que concentra o maior número de habitantes do município. Segundo dados fornecidos pelo censo do IBGE (2000), a população total do 1º Distrito é de 188.644 habitantes (Tabela 3.2.) que se distribuem geograficamente conforme ilustrado na Figura 3.4.



**Tabela 3.2** Distribuição de número habitantes residentes no 1º Distrito (IBGE, 2000).

BAIRROS 1º Distrito	NÚMERO DE HABITANTES
ALTO DA SERRA	8.758
BAIRRO ESPERANÇA	3.736
BINGEN	5.118
CAPELA	3.755
CASTELANEA	8.016
CASTRIOTO	2.411
CAXAMBU	5.541
CENTRO	29.789
CHACARA FLORA	5.064
CREMERIE	591
DUARTE DA SILVEIRA	5.295
DUCHAS	814
DUQUES	1.901
ESTRADA DA SAUDADE	6.198
FAZENDA INGLESA	1.605
FLORESTA	2.875
INDEPENDENCIA	8.001
ITAMARATI	9.454
MEIO DA SERRA	4.554
MOINHO PRETO	1.693
MORIN	5.095
MOSELA	10.595
PARQUE SÃO VICENTE	1.607
PEDRAS BRANCAS	2.074
QUARTEIRAO BRASILEIRO	5.629
QUARTEIRAO INGELHEIN	2.643
QUITANDINHA	12.703
RETIRO	8.440
SÃO SEBASTIAO	6.673
SIMERIA	3.465
TAQUARA	1.301
THOUZET	2.143
VALPARAISO	5.486
VILA FELIPE	3.619
VILA MILITAR	2.002
<b>TOTAL</b>	<b>188.644</b>

Ressalta-se que 63% da população residente encontra-se no 1º Distrito e é neste que se concentra o maior número de acidentes em encostas, ocasionados não só pela concentração populacional, mas pela suas características físicas de relevo e a forma de ocupação do território.



**Figura 3.4** Geografia dos bairros no 1º Distrito (IBGE, 2005)

### 3.3 Metodologia para Geração dos Mapas Temáticos

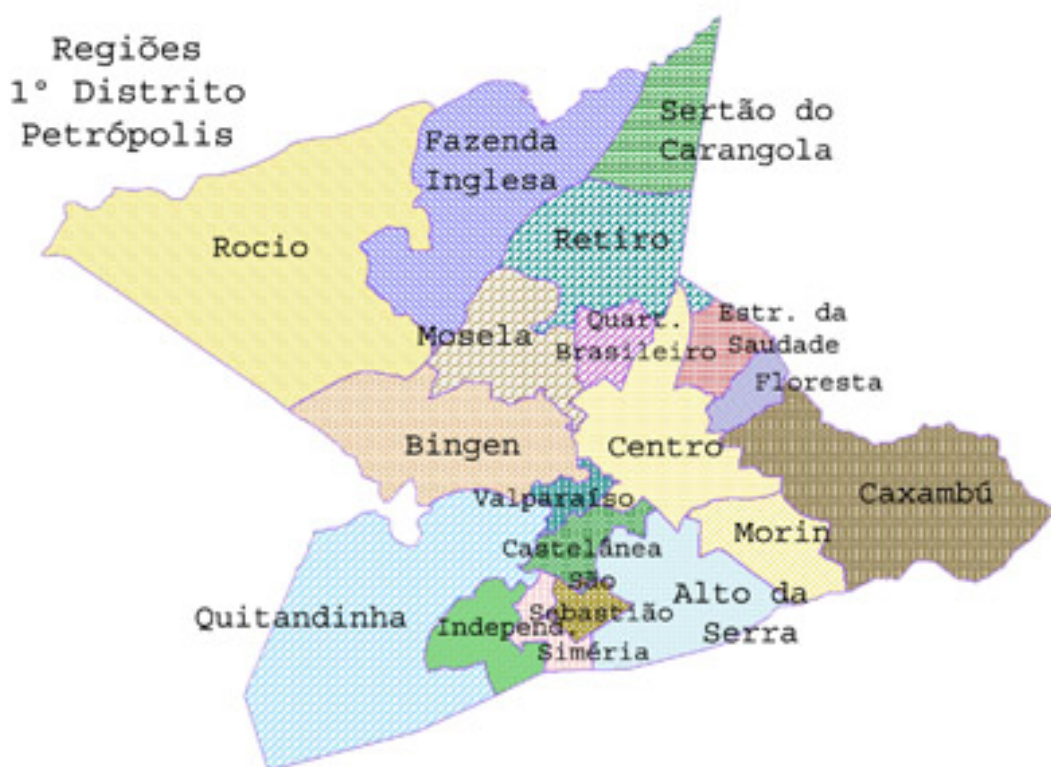
A metodologia proposta para elaboração dos mapas de estado natural foi baseada em amplo estudo da bibliografia concernente ao assunto e nos trabalhos de mapeamentos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1990); no mapeamento da APA, realizado para o IBAMA pelas ONGs Instituto ECOTEMA e Instituto Terra Nova, entre outras fontes de informação que serviram de base para montagem do banco de dados.

Para construção do Mapa de Regiões, alguns bairros foram agrupados formando 19 (dezenove) regiões, conforme Tabela 3.

**Tabela 3.3** – Descrição de regiões com discriminação dos bairros agrupados.

REGIÃO	BAIRRO	REGIÃO	BAIRRO		
<b>I</b>	ALTO DA SERRA	<b>VIII</b>	FLORESTA	Meio da Serra	Esperança
				Chácara Flora	Quissamã
				Vila Felipe	Cremerie
				Sargento Boening	Taquara
<b>II</b>	BINGEN	<b>X</b>	MORIN	Duarte da Silveira	
				Castrioto	
				Ingelheim	
				Capela	
<b>III</b>	CASTELÂNEA	<b>XI</b>	MOSELA	Vila Militar	Pedras Brancas
				Presidência	Moinho Preto
<b>IV</b>	CAXAMBU	<b>XII</b>	QUART. BRASILEIRO		
<b>V</b>	CENTRO	<b>XIII</b>	QUITANDINHA		Duques
				Saldanha Marinho	Parque São Vicente
	Duchas	<b>XIV</b>	RETIRO		Thouzet
<b>VI</b>	ESTRADA DA SAUDADE	<b>XV</b>	ROCIO		
		Lot. Itamarati	<b>XVI</b>	SÃO SEBASTIÃO	
<b>VII</b>	FAZENDA INGLESA	<b>XVII</b>	SERTÃO DO CARANGOLA		
		<b>XVIII</b>	SIMÉRIA		
		<b>XIX</b>	VALPARAÍSO		

O mapa de regiões 3 (Figura 3.5) é a base para aplicação do modelo proposto. Associou-se um atributo que corresponde à probabilidade inicial anual de acidentes para cada região, dado este extraído do Inventário de Acidentes e Situações de Risco (OLIVEIRA, 2004).



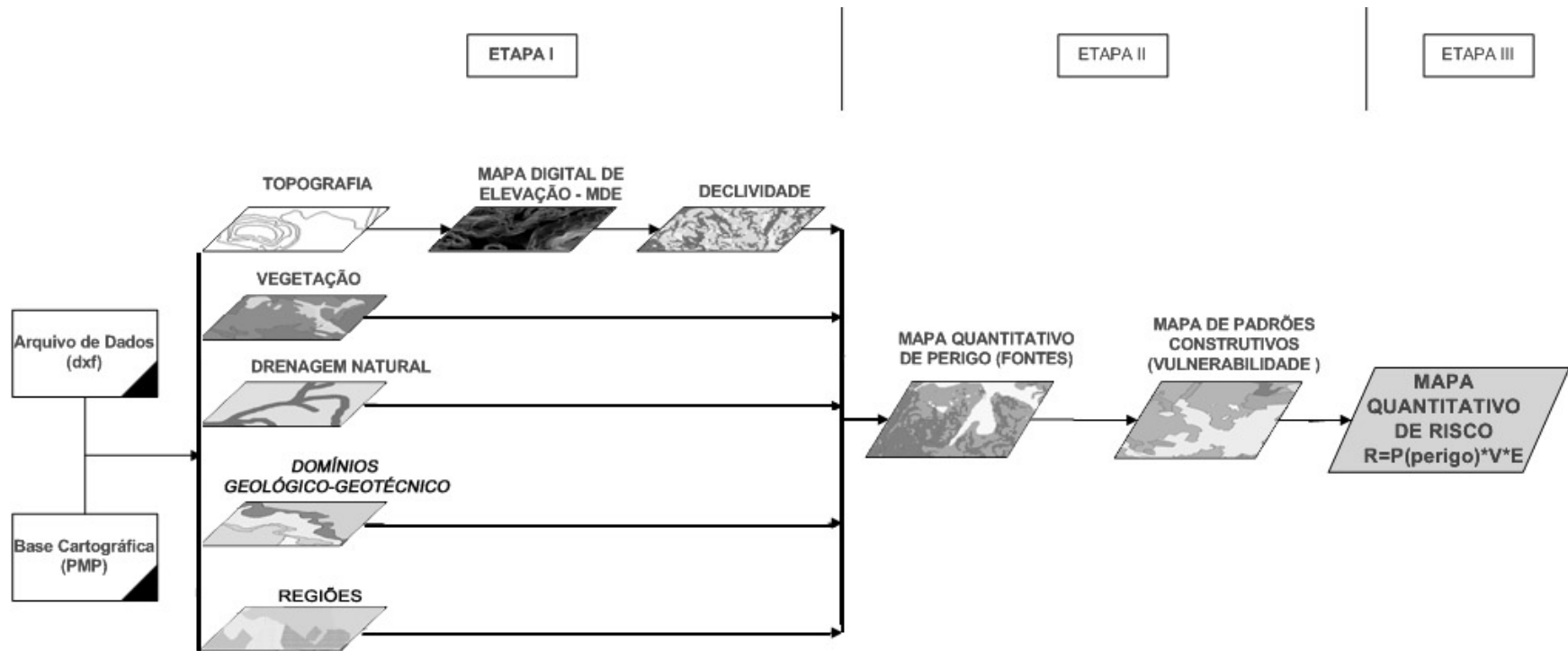
**Figura 3.5** Mapa geográfico das regiões do 1º Distrito de Petrópolis.

Esta metodologia previu a execução de 3 (três) etapas de ensaio empregando mapas temáticos de estado natural, conforme ilustrado na Figura 3.6.

**ETAPA I:** Compilação, geo-referenciamento de dados e geração dos mapas temáticos: **regiões (probabilidade inicial de acidentes por região); declividade; vegetação; domínios geológicos-geotécnicos e drenagem natural.**

**ETAPA II:** Geração por integração temática do **Mapa de Suscetibilidade (Perigo) de Escorregamentos, através de algoritmo da Teoria Bayesiana. Geração do Mapa de Padrões Construtivos.**

**ETAPA III:** Compreende a integração do Mapa de Suscetibilidade com o Mapa de Padrões Construtivos (vulnerabilidade das construções) e informação de vulnerabilidade temporal para, assim, a gerar o Mapa Quantitativo de Risco.



**Figura 3.6** Etapas de ensaios com Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

## Capítulo 4 – Geração dos Mapas Temáticos

A elaboração dos mapas em estado natural compreende trabalhos de escritório como foto interpretação e geo-processamento, além de trabalhos de campo.

Conforme, já mencionado anteriormente, os dados utilizados para montagem dos mapas temáticos são originários de trabalhos anteriores, de pesquisas já realizadas e fotos aéreas (Fundação CIDE, 2003).

Os trabalhos foram reunidos e montou-se um banco de dados a partir da base cartográfica existente. As informações foram geo-referenciadas obtendo-se os seguintes mapas:

- Mapa de Declividades;
- Mapa de Vegetação;
- Mapa de Drenagem Natural;
- Mapa de Domínios Geológicos-Geotécnicos;
- Mapa de Vulnerabilidade de Construções;
- Mapa Geográfico de Regiões.

Na metodologia proposta os mapas caracterizam um tema distinto que se refere ao meio físico. Cada tema é constituído de classes (atributos) que foram associadas a uma probabilidade deduzida que corresponde ao julgamento por especialistas dos agentes predisponentes, ou seja, das condições geológicas, geomorfológicas e ambientais em que o escorregamento irá ter lugar. Em face da ausência de dados estatísticos da relação entre os agentes predisponentes e a ocorrência de escorregamentos, foram adotadas probabilidades, deduzidas por especialistas, que expressam a confiança em que cada atributo contribua com mais ou menos à suscetibilidade de ocorrência de escorregamentos.

Os agentes predisponentes correspondem ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais em que os escorregamentos irão ter lugar. O modelo apresentado não inclui os agentes efetivos que são os responsáveis pelo desencadeamento dos escorregamentos (pluviosidade, erosão, variação de temperatura,

etc.) e ainda, os agentes efetivos imediatos (chuvas intensas) devido a escassez de dados.

### **Associação de probabilidades com declarações descritivas**

A quantificação de valores está baseada na teoria das probabilidades. A teoria das probabilidades é uma forma de quantificação de incertezas, expressas através de números compreendidos entre 0 e 1. Avaliações qualitativas tais como descrições verbais do tipo: provável (“likely”) ou plausível (“probable”). são carregadas de significado, mas são menos acuradas que números. Portanto, associou-se as descrições verbais a uma escala numérica de probabilidades, permitindo, então usar descrições verbais como meio de medir probabilidade por julgamento.

A probabilidade por julgamento ou verossimilhança (“judgemental probability” ou “likelihood”) é o grau de confiança que um indivíduo possui na provável ocorrência de um evento ou na verdade de uma proposição, expressa através de probabilidade entre 0 e 1. A dedução ou interferência por especialista (“expert elicitation”) consiste no processo de adicionar, numa Análise de Risco, a consideração de um especialista levando-se em conta o grau de confiança deste especialista numa dada evidência, e quantificar este grau de confiança através da probabilidade por julgamento.

A Análise de Risco, certamente envolve um número amplo de incertezas. Somente parte dessas incertezas é acessível através da estatística e da modelagem. Entretanto mesmo quando as incertezas são difíceis de modelar, pode ocorrer que os engenheiros tenham opiniões bem fundadas sobre elas. O uso de opiniões quantificadas de especialistas permite a inclusão destes tipos de incertezas na Análise de Risco, sendo, desta forma, um veículo de quantificação da opinião de especialistas chamado, probabilidade por julgamento.

A probabilidade por julgamento é uma forma de capturar formalmente opiniões de especialistas em números e, então combinar estas opiniões em modelos. A incerteza capturada desta forma certamente tem um valor numérico que depende do domínio pessoal do especialista da incerteza e na sua experiência.

A experiência corrente sugere que, no mínimo nos estágios iniciais da dedução por especialistas, as pessoas acreditem que as descrições verbais sejam mais intuitivas do

que os números. Assim, tais descrições são inseridas como componentes dentro da árvores de eventos ou falhas. Então transformações aproximadas entre descrições verbais e aproximações por quantificação de probabilidades por julgamento podem ser fixadas para eventos componentes.

Uma advertência deve ser feita sobre o uso de descrições verbais: o espectro de significados de probabilidades numéricas para pessoas diferentes pode ser amplo e, mesmo para um único indivíduo, o valor numérico associado pode mudar com o contexto semântico na qual a descrição verbal é empregada.

A Tabela 4.1 apresenta uma lista de descrições verbais com os valores respectivos definidos nos trabalhos de LICHTENSTEIN & NEWMAN (1967) e VICK (1997). Estes valores foram atribuídos em cada classe temática, que expressam a confiança, por julgamento de cada situação contribuir para ocorrência do escorregamento.

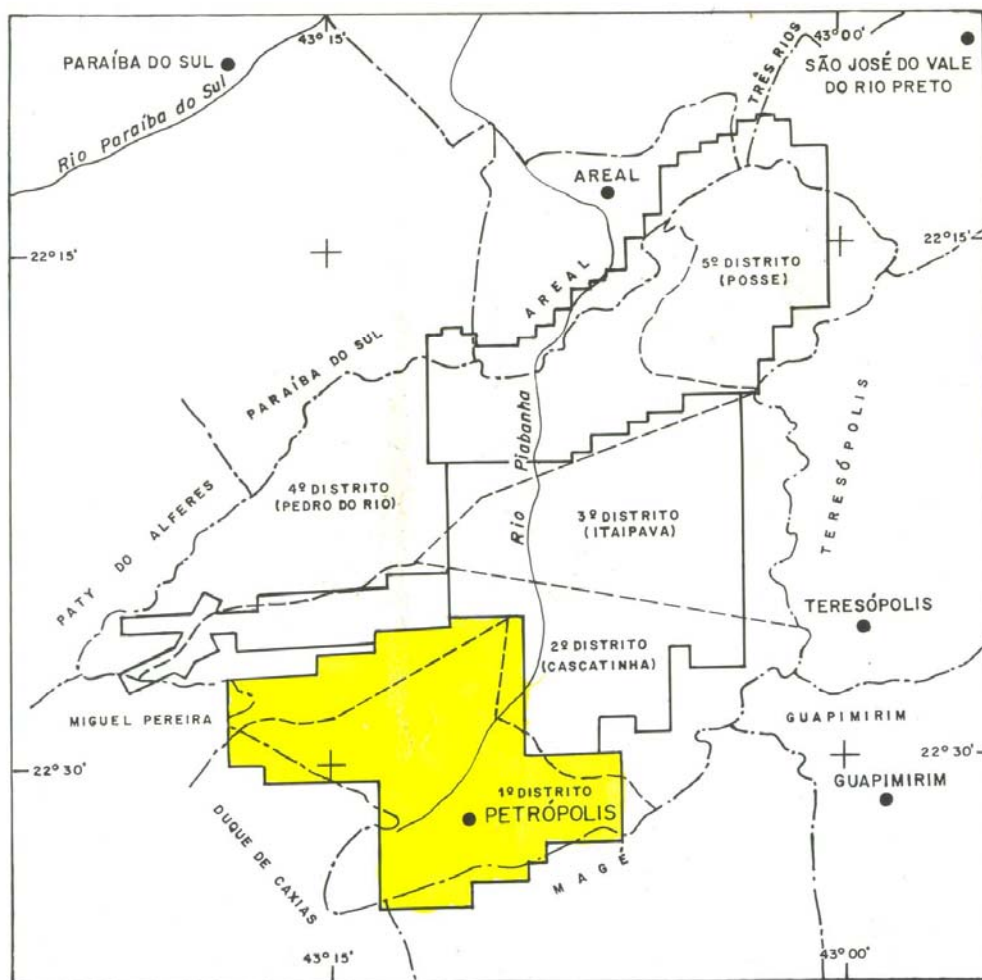
**Tabela 4. 1** Descrições verbais de probabilidades adaptadas de LICHTENSTEIN e NEWMAN (1967) e VICK, (1997).

DESCRIÇÃO VERBAL	PROBABILIDADE DEDUZIDA
Virtualmente impossível	0,01
Muito improvável ("very unlikely")	0,1
Completamente incerto	0,4
Incerto ("uncertain")	0,5
Provável ("likely")	0,7
Muito provável ("very likely")	0,9
Virtualmente certo	0,99

#### 4.1 Base Cartográfica

A base cartográfica utilizada para a elaboração dos mapas temáticos no estado “natural” foi o levantamento aerofotogramétrico realizado pela PROSPEC (1995). O projeto foi realizado para a Prefeitura Municipal de Petrópolis, sendo que o objetivo principal do trabalho foi atualização do cadastro predial e territorial do Município. A cobertura aerofotogramétrica nas escalas 1:25.000 e 1:6.000 possibilitou a confecção de mapeamentos nas escalas 1:10.000 e 1:2.000, respectivamente. As fotos foram tiradas no período de Janeiro a Junho de 1995 e são apresentadas nas Figuras 4.1 a 4.4.





ESCALA APROX. 1:300000

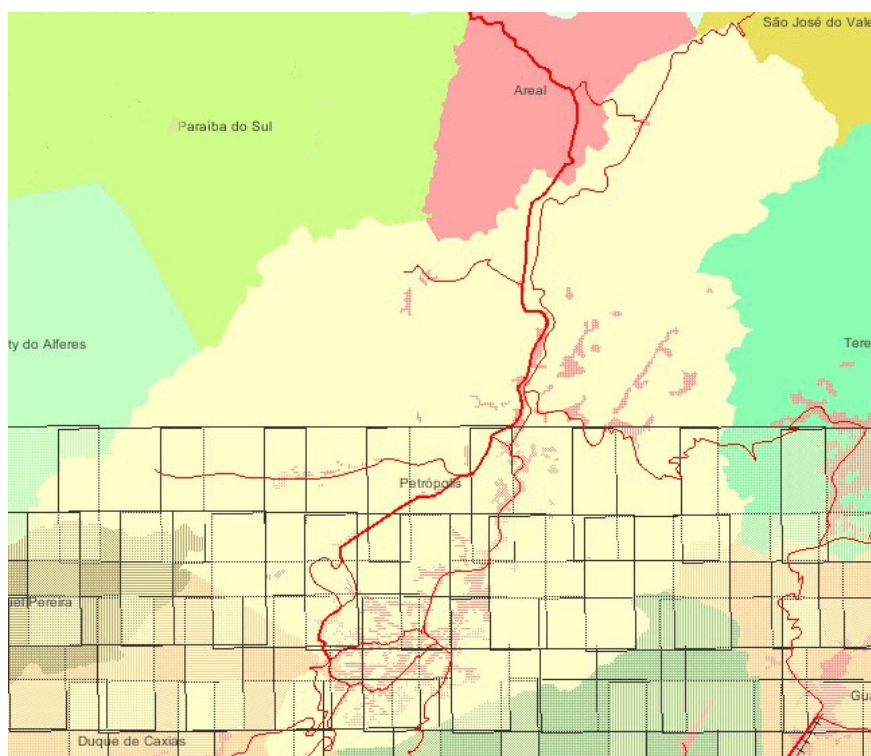
**Figura 4.1** Cobertura Aerofotogramétrica 1º Distrito – (PROSPEC, 1995)



**Figura 4.2** Foto aérea região Quitandinha (PROSPEC, 1995)

Além das cartas citadas nas escalas 1:10.000 e 1:2000, foi utilizado uma base de fotos resultantes de levantamento aerofotogramétrico realizado em 2003, na escala de 1:33.500, que recobrem a área da bacia da Baía de Guanabara e adjacências, num total aproximado de 5.000 km<sup>2</sup>, englobando parte do Município de Petrópolis, disponibilizadas pela Fundação CIDE.

A partir dessas aerofotos foram geradas ortofotos digitais na escala de 1:10.000, ou seja, as fotos são tratadas digitalmente a fim de reduzir as distorções causadas pelo foco da câmera quando a foto é tirada.



**Figura 4.3** Cobertura de aerofotos no Município de Petrópolis – Foto índice . (CIDE, 2003).

As ortofotos (Figura 4.4) permitiram atualizar os dados de 1995, possibilitando alguns ajustes nos mapas temáticos existentes, na elaboração do mapeamento de campo, como por exemplo, na identificação de afloramentos de rocha no Mapa de Domínios Geológicos-geotécnicos e no ajuste do modelo, auxiliando a análise e identificação de áreas de risco.



**Figura 4.4** Foto aérea (ortofoto) da Região Quitandinha (CIDE, 2003).

## 4.2 Mapa de Declividades

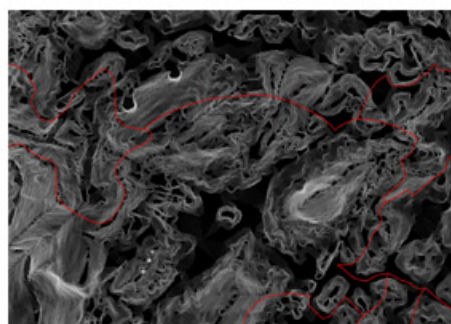
O mapa de declividades é obtido através do Mapa Digital de Elevação (MDT) ou Modelo Numérico do Terreno (MNT). O modelo numérico de terreno - MNT (em inglês, DTM = “Digital Terrain Model”) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real, ou seja, representa de forma quantitativa uma grandeza contínua no espaço e nas três dimensões (X, Y e Z). Em X e Y tem-se a localização geográfica e em Z a quantidade de um determinado atributo, como, por exemplo, a altimetria de uma área.

A modelagem numérica de terreno se processa em três fases; aquisição dos dados (através de importação dos arquivos originais da base cartográfica de Petrópolis), geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas (fatiamento). A Figura 4.5 mostra a seqüência de fases no processo de elaboração do mapa de declividade.

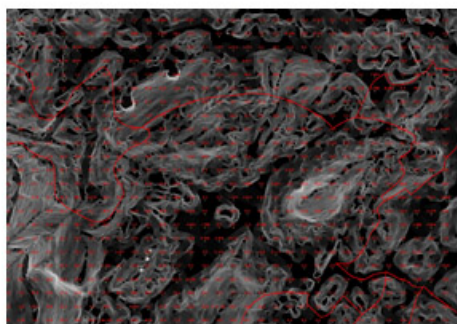
## Mapa de declividade



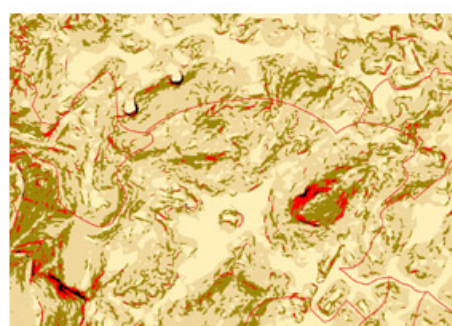
*Planialtimétrico*



*Modelo Numérico  
do Terreno - MNT*



*Grade numérica*



*Fatiamento*

**Figura 4.5** Fases de elaboração do Mapa de declividade

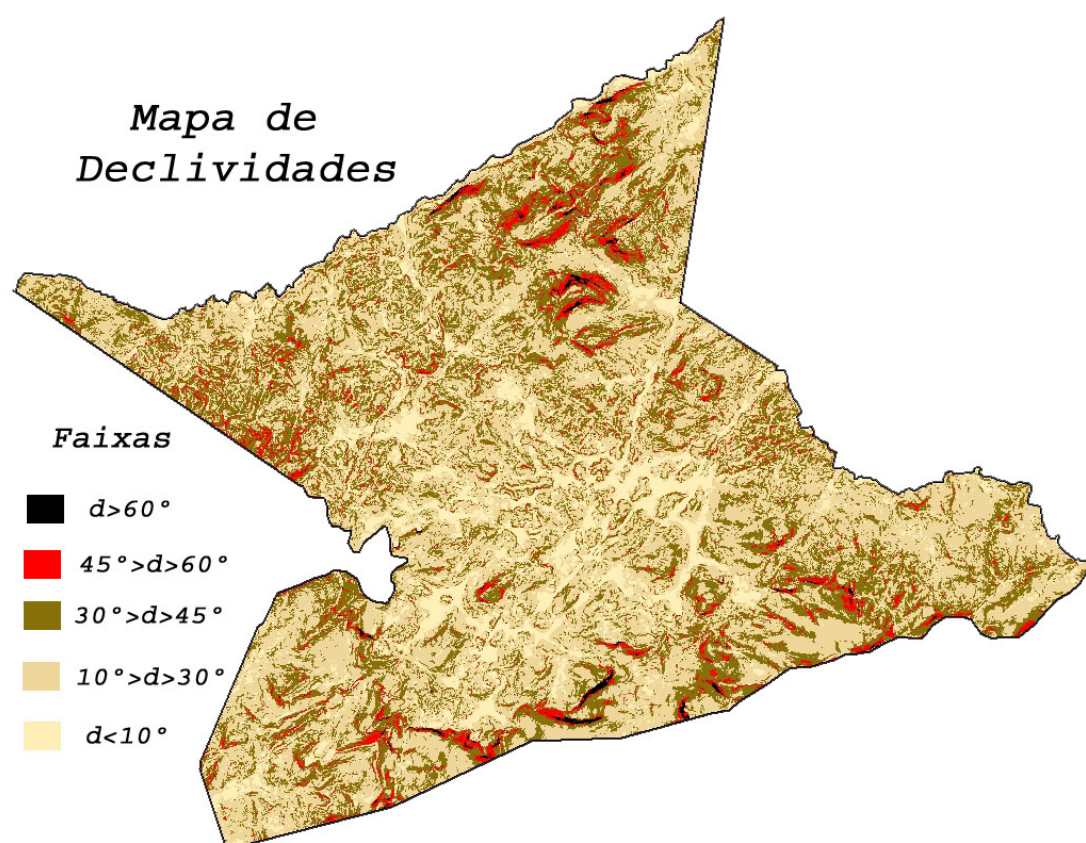
Para o fatiamento deste mapa foram previstas as seguintes classes de declividades:

- **Abaixo de 10°**, encosta estável;
- **Entre 10° e 30°**, áreas de aluviões e colúvios, predominantemente;
- **Entre 30° e 45°**; áreas de colúvios e solos residuais maduros, predominantemente;
- **Entre 45 e 60°**, áreas de colúvios, solos residuais, predominantemente;
- **Acima de 60°**, áreas de afloramentos de rocha, predominantemente.

A Tabela 4.2 apresenta a probabilidade deduzida para cada classe de declividade e a Figura 4.6 ilustra o mapa de declividades.

**Tabela 4.2** Correlação entre declividades, tipologias de movimentos e probabilidades deduzidas por especialistas.

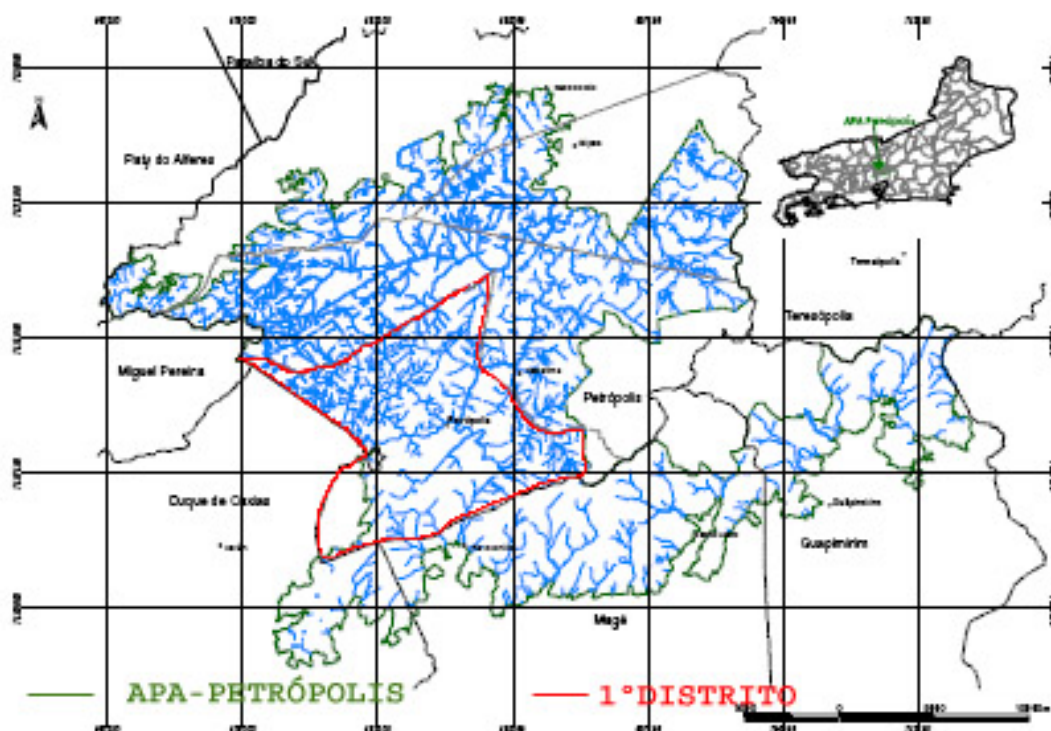
DECLIVIDADE	TIPOLOGIA DE MOVIMENTO	PROBABILIDADE DEDUZIDA
Abaixo de 10°	Encosta estável	0,01
Entre 10° a 30°	Rastejos e escorregamentos	0,1
Entre 30° e 45°	Escorregamentos	0,5
Entre 45 e 60°	Escorregamentos	0,9
Acima de 60°	Queda de fragmentos	0,5



**Figura 4.6** Mapa de declividade.

### 4.3 Mapa de Vegetação

O Mapa de Vegetação empregado foi elaborado pelo Instituto Terra Nova, resultado de um Termo de Ajuste de Conduta (TAC), incentivado pelo IBAMA através do Órgão gestor da APA Petrópolis, visando o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à gestão e monitoramento da APA-Petrópolis (Figura 4.7)



**Figura 4.7** Área de Proteção Ambiental de Petrópolis (TERRA NOVA, 2005).

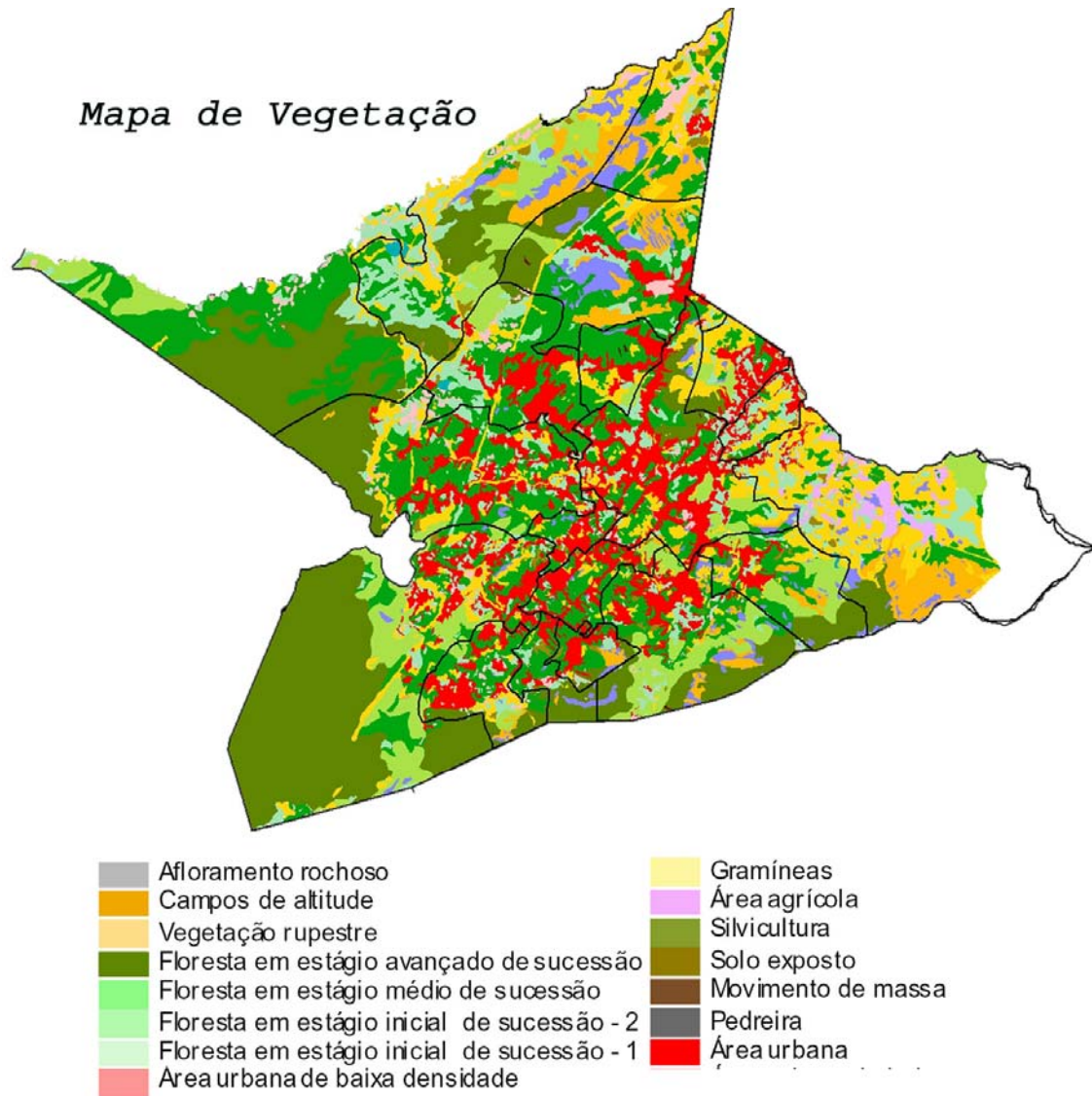
A região estudada está inserida em uma parcela de área remanescente da Mata Atlântica, bioma brasileiro que possui alto índice de biodiversidade. Como consequência desta característica, existem várias áreas protegidas por leis, sendo a principal denominada Área de Proteção Ambiental de Petrópolis (APA-Petrópolis). É uma Unidade de Conservação criada pelo decreto número 87.561 de 13 de setembro de 1982, que compreende quase que em sua totalidade o 1º Distrito de Petrópolis. Além desta, também fazem parte da área o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (a leste), Reserva Biológica do Tinguá (REBIO-Tinguá) (a oeste).

A cobertura vegetal foi subdividida em várias tipologias, para cada uma delas foi deduzida uma probabilidade. A Tabela 4.3 apresenta as classes de vegetação e

respectivas probabilidades deduzidas, a partir do julgamento de especialistas. A Figura 4.8 ilustra o Mapa de Vegetação.

**Tabela 4.3** Classes do mapa de vegetação com as respectivas probabilidades deduzidas.

CLASSES DE VEGETAÇÃO	SIGLA	Probabilidade deduzida
AFLORAMENTO ROCHOSO	ar	0,5
CAMPOS DE ALTITUDE	cal	0,1
VEGETAÇÃO RUPRESTE	rupherb	0,5
FLORESTA EM ESTÁGIO AVANÇADO DE SUCESSÃO	fla	0,1
FLORESTA EM ESTADO MÉDIO DE SUCESSÃO	flm	0,1
FLORESTA EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO 2	fliherb	0,1
FLORESTA EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO 1	fli	0,4
GRAMÍNEAS	gra	0,4
ÁREA AGRÍCOLA	agro	0,1
SILVICULTURA	euc	0,1
SOLO EXPOSTO	se	0,7
MOVIMENTO DE MASSA	mm	0,7
PEDREIRA	ped	0,5
ÁREA URBANA	au	0,5
ÁREA URBANA DE BAIXA DENSIDADE	aubd	0,1



**Figura 4.8** Mapa de Vegetação (adaptado TERRA NOVA, 2005).



#### 4.4 Mapa de Drenagem Natural

A mapa de Drenagem Natural foi elaborado a partir da identificação dos rios, córregos e linhas de drenagem natural das regiões, nos quais foi delimitada uma faixa marginal (FM), que corresponde à interferência mínima adotada para o fluxo natural das águas. Ressalta-se que não se consideram a situação crítica do escoamento dos rios, que são aquelas enchentes e inundações que ocorrem em épocas de ocorrência de altos índices pluviométricos e as faixas de proteção definidas por legislação específica.

Ocorre na região o clima mesotérmico tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, correspondente ao tropical de altitude com verões frescos chuvosos. A temperatura média anual varia 13°C e 23°C, segundo a região e, sobretudo o gradiente de altura.

Os índices pluviométricos médios anuais são superiores a 2.000mm. A estação chuvosa tem início em novembro e término em março e a seca vai de maio a setembro (IPT, 1990).

Durante o verão, as frentes frias que se originam na região polar antártica cruzam o oceano Atlântico, num ritmo cíclico de cerca de uma frente por semana. Ao se depararem com as massas de ar quente tropicais, ao longo da costa sudeste brasileira, tais frentes geram fenômenos de instabilidade atmosféricas intensas, consistindo em fortes chuvas e tempestades. Tais chuvas acarretam com certa frequência, inundações, erosão intensa e escorregamentos, não raro de caráter catastrófico (TECNOSOLO, 1988).

Portanto, o clima é um aspecto que muito contribuirá na análise de risco, pois a ocorrência de chuvas, bem como a sua intensidade e frequência irão influenciar consideravelmente no comportamento das encostas e na avaliação de possíveis áreas de risco, porém para o modelo. Porém, a falta de dados de índices pluviométricos nas regiões impossibilitou a inclusão explícita deste parâmetro no modelo. Entretanto, considerou-se a influência dos processos hidrológicos representados pelo Mapa de drenagem Natural.

Os fenômenos e processos hidrológicos são aqueles que ocorrem naturalmente. O curso natural das águas, o processo hidrológico de enchente e inundação é um fenômeno dinâmico e que ao longo de um curso d'água pode haver trechos com cenários de

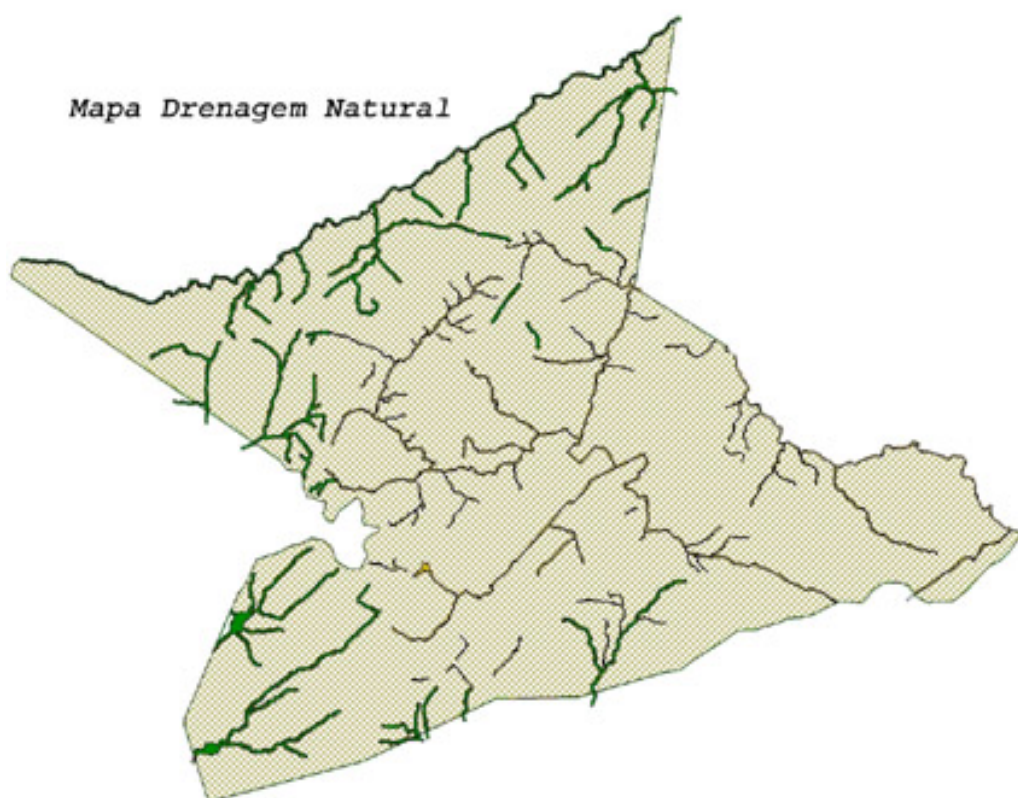
enchentes e trechos com cenários de inundação, com características dinâmicas específicas de energia cinética, ou seja, variação do volume de água de impacto destrutivo que podem ou não causar efeitos adversos à ocupação humana presentes nas áreas de domínio dos processos hidrológicos.

A Tabela 4.4 relaciona os principais rios e córregos do sistema de drenagem do 1º Distrito de Petrópolis (Figura 4.9) com as suas respectivas probabilidades deduzidas. Os valores de probabilidades deduzidas expressam a confiança de ocorrer escorregamentos caso haja algum fator (desmatamento, obstrução, ocupação, etc.) que possa interferir no fluxo natural da drenagem.

**Tabela 4. 4** - Relação dos principais rios e córregos do 1º Distrito e respectivas probabilidades deduzidas por julgamento de especialistas.

MAPA DE DRENAGEM NATURAL			
Rios e córregos	Siglas	Faixa Marginal (m)	Probabilidade deduzida
Rio Piabanha	RPI	15	0,1
Rio Quitandinha	RIQ	15	0,1
Rio Palatinato	RIP	15	0,1
Rio Paulo Barbosa - Rua Mosela	RPB	15	0,1
Rio Ave Lallemand - Rua Galdino Pimentel	RAL	15	0,1
Rio Aureliano - Saldanha Marinho	RAU	15	0,1
Rio Cremerie	RIC	15	0,1
Rio Verna - Rua Cristovão Colombo	RVR	15	0,1
Rio Alpoim - Rua Ingelheim	RAM	15	0,1
Rio Caxambu	RIC	15	0,1
Rio São Rafael - Rua Prof. Stroeler	RSR	15	0,1
Rio da Cascata	RDC	15	0,1
Itamarati	RII	15	0,1
São Paulo e Caiobá Mirim - Serra Velha	RSP	30	0,5
Meyer - Rua Luiz Winter	RIM	15	0,1
Santana - Rocio	RIS	30	0,5
Fazenda Inglesa	RFI	30	0,5
Linhas de drenagem e córregos	LDR	10	0,7
Áreas sem influência de drenagem	ASI		0,01

Os valores de 0,1 são atribuídos aos rios localizados nas áreas de fundos de vales e os valores maiores são atribuídos aos rios e córregos situados nas encostas onde, possivelmente pode ocorrer algum tipo de escorregamento, principalmente se houver alguma interferência antrópica.



**Figura 4.9** Mapa de Drenagem Natural.

## 4.5 Mapa de Domínios Geológicos-geotécnicos

A elaboração deste mapa compreendeu primeiramente, a reunião de documentos de levantamentos geológicos de Petrópolis já executados (PENHA et al., 1979) e (SOUZA, 1983). Em seguida foi realizado levantamento de campo na área de estudo com análises técnicas do Geólogo Francisco Crescêncio Jr. A partir das informações obtidas em campo e pesquisa dos aspectos geológicos da área foi possível definir a classificação de seis tipos de classes para a construção do Mapa de Domínios Geológicos-geotécnicos preponderantes apresentados a seguir.

### 4.5.1 Aspectos Geológicos

A região sul do 1º Distrito apresenta um relevo montanhoso com altitudes variando entre 850 e 1.600 metros. Os vales são estreitos e fortemente condicionados por estruturas geológicas como falhas (Figura 4.10) e fraturas.



**Figura 4. 10** Falha geológica na Região Sul do 1º Distrito (Bairro Quitandinha).

A porção sul da área em estudo apresenta uma declividade elevada formando costões rochosos muito íngremes. Na porção mais central a declividade mostra-se menos acentuada favorecendo a formação de espessas camadas de solo.

A rede de drenagem é parcialmente governada pelas estruturas geológicas NE-SW da área. Os principais rios correm em vales estreitos, retilíneos, por vezes encaixados. Na

região do rio Piabanha a rede de drenagem é mais densa e de natureza dendrítica. O curso do rio é mais meandrante e irregular e o relevo da área mostra-se mais dissecado e maduro.

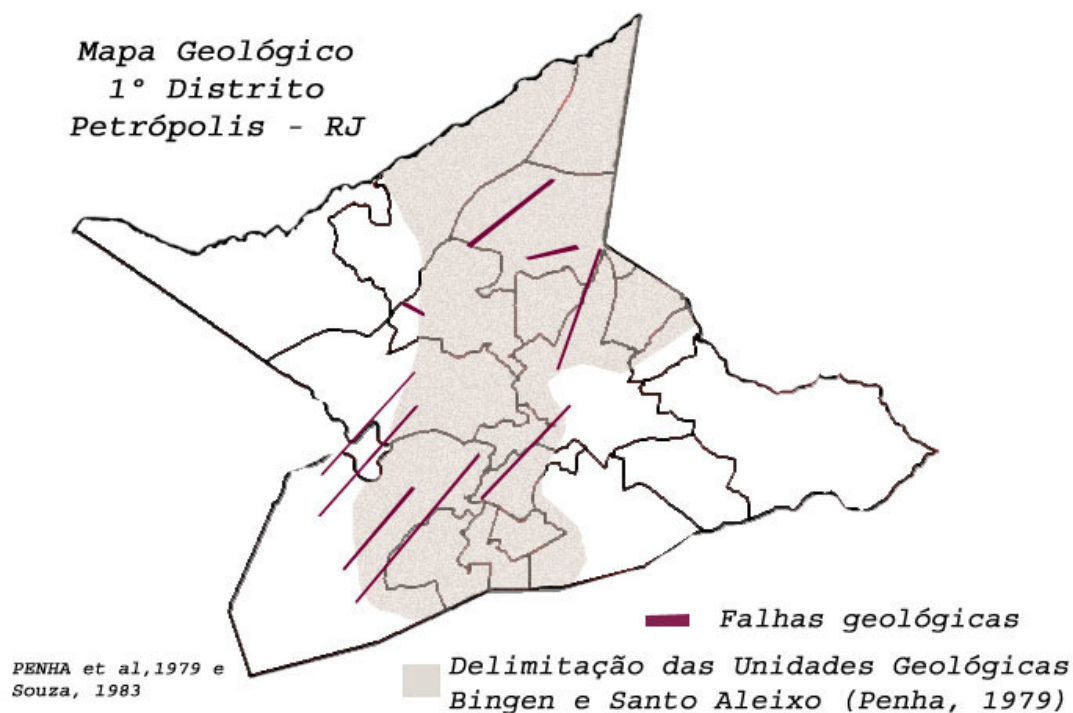
Os principais mapeamentos geológicos realizados na região de Petrópolis foram executados por PENHA et al. (1979) e SOUZA (1983). O primeiro trabalho corresponde à Folha Petrópolis 1:50.000 e o segundo, à região entre Itaipava e Araras (Folha Itaipava) elaborado na escala de 1:20.000. Tais trabalhos aliados a estudos posteriores, levaram PENHA (1989) a identificar as duas principais unidades geotectônicas localizadas na região central do Estado do Rio de Janeiro, onde se situa o município de Petrópolis. São elas: Unidade Rio Negro e Batólito da Serra dos Órgãos.

A Unidade Rio Negro é representada por migmatitos e gnaisses, engloba as Unidades Santo Aleixo e Bingen definidas por PENHA et al. (1979). Tal unidade constituiu o substrato rochoso, onde, posteriormente, se posicionou o Batólito da Serra dos Órgãos.

O presente trabalho se restringe ao 1º Distrito do Município de Petrópolis onde afloram rochas de Unidade Rio Negro (Unidade Santo Aleixo e Bingen). As porções onde ocorrem as litologias que compõe o Batólito da Serra dos Órgãos não foram englobadas pelo mapeamento em questão.

A região do 1º Distrito de Petrópolis na sua porção sul pertence à Folha Petrópolis, enquanto a porção norte está relacionada com a Folha Itaipava. Assim, o mapa geológico de PENHA et al. (1979) abrange, principalmente os bairros a sul do 1º Distrito (parte do Quitandinha, Bingen, Independência, Siméria, São Sebastião, Castelânea, Valparaíso, Alto da Serra, Morin, Centro e Caxambu) e o bairro do Rocío. Os bairros ao norte, como: Mosela, Quarteirão Brasileiro, Estrada da Saudade, Floresta, Retiro, Sertão do Carangola e Fazenda Inglesa foram mapeados por SOUZA (1983).

Os mapas de PENHA et al. (1979) e SOUZA (1983) foram adaptados para área do 1º Distrito utilizando-se a escala 1:10.000. As observações de campo obtidas durante a elaboração do mapa aqui apresentado, ora confirmam, ora complementam os dados de PENHA et al. (1979) e SOUZA (1983). Com a integração destes dados, pôde-se estabelecer um mapa geológico simplificado para a região do 1º distrito, conforme ilustra a Figura 4.11.



**Figura 4.11** Mapa Geológico para região do 1º Distrito. (adaptado de PENHA et al., 1979 e SOUZA, 1983).

A parte central da área é constituída pela Unidade Bingen de PENHA et al. (1979). Nesta unidade predominam biotita-gnaisses graníticos (Figura 4.12). Apresentam gnaissificação moderada a ausente, com grãos médios a fino, coloração clara, estruturas nebulítica a schlieren. Localmente, encontram-se restos de migmatitos básicos localmente porfiroblásticos.

Na Unidade Santo Aleixo predominam migmatitos com estrutura estromática dobrada, localmente schollen, agmática, constituídas por leucossoma granítico a leptnítico e melanossoma variando de biotita xistos a anfíblitos. Esta unidade está em contato transicional com a Unidade Bingen.

PENHA et al. (1979) sugerem um modelo geotectônico para estas unidades pré-cambrianas (Unidade Bingen e Santo Aleixo), em que produtos iniciais não identificados, são submetidos a uma evolução migmatítica sintectônica do tipo metatexis- diatexis.

Conforme as observações de campo, o biotita-gnaisse predomina, principalmente nos bairros localizados ao norte da área de estudo. A Figura 4.12. mostra um exemplo de

biotita-gnaiss: granulação fina a grosseira com foliação metamórfica dada pela alternância de bandas claras, compostas por quartzo e feldspato, e bandas escuras, constituídas por biotita.



**Figura 4.12** Amostra de biotita gnaiss intemperizada (Bairro Mosela).

No entanto, além da biotita-gnaiss, observou-se a presença de uma litologia denominada no campo de gnaiss facoidal. Esta litologia apresenta coloração cinza e a presença de cristais centímetros de microclina com forma arredondada. Os migmatitos afloram também ao norte do 1º Distrito.

#### **4.5.2 Classificação dos Domínios Geológicos-Geotécnicos**

A composição da rocha-matriz determina maior ou menor susceptibilidade dos minerais a ação do intemperismo e condicionam a textura do solo, enquanto os fraturamentos interferem na percolação hídrica no maciço rochoso. Este processo de percolação condiciona ações intempéricas na rocha tanto de natureza física quanto química, como dissolução dos minerais e processos de hidratação/hidrólise. Sabe-se, por exemplo, que o K e o Na causam dispersão do colóide argiloso, enquanto o cálcio e o magnésio têm alto poder floculante, assegurando estabilidade ao solo (ABGE,1998).

Porém, deve-se ressaltar que o processo de formação do solo não envolve somente fatores relacionados a relevo e clima, mas também a natureza da rocha-matriz e as condições de percolação da água no solo e nas rochas. Mais especificamente, a

composição mineralógica e química das litologias associadas às condições de fraturamento pode condicionar fortemente o processo pedogenético.

Na região em estudo, há o predomínio de solos residuais, contrariando o que, em geral, se espera de áreas com relevo montanhoso, onde ocorre o predomínio de solos coluvionares. Estes últimos concentram sua ocorrência nas linhas de drenagem e recobrimdo com espessuras variáveis os solos residuais em áreas no sopé das encostas.

GUERRA & GUERRA (2003) entendem o colúvio como material transportado de um local para o outro, principalmente por efeito da gravidade. O material coluvial só aparece no sopé de vertentes ou em lugares pouco afastados de declives que lhe estão acima. No material detrítico, pouco grosseiro, de uma encosta, nem sempre é fácil separar a interferência do material de colúvio, do residual ou ainda do aluvial. Às vezes, há maior predominância de um deles, que mascara completamente os outros. Dado a estes fatos, é muito comum à utilização do termo tálus-colúvio para a classificação do solo nesta região.

Diante de todas essas informações, para geração do Mapa de Domínios Geológico-geotécnicos, foi adotada uma tipologia que considera os processos que dão origem à formação e evolução do solo (processo pedogenético). Portanto, não foram considerados os aspectos químicos ou texturais no processo evolutivo das camadas de solo. Quanto às rochas, o mapa pedológico, não considera as diferenças petrográficas ou litoestratigráficas; assim, as duas unidades definidas por PENHA (1979) para a região, são classificadas como ARSA (Afloramento de Rocha) e os graus de alteração de rocha (intemperismo) e coerência foram adotados do IPT (1984), conforme Tabelas 4.5 e 4.6.



**Tabela 4. 5** Graus de alteração da rocha (IPT,1984)

SIGLAS	DENOMINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS DA ROCHA
A1 W1 RS	Rocha sã ou praticamente sã	Apresenta minerais primários sem vestígios de alteração ou com alteração físicas e químicas incipientes. Neste caso, a rocha é ligeiramente descolorida.
A2 W2 RAD	Rocha medianamente intemperizada	Apresenta minerais medianamente alterados e a rocha é bastante descolorida.
A3 W3 RAM	Rocha muito intemperizada	Apresenta minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis.
A4 W4 REA	Rocha extremamente intemperizada	Apresenta minerais totalmente alterados e a rocha é intensamente descolorida, gradando para cores do solo.

**Tabela 4. 6**–Grau de coerência de rochas. IPT (1984)

SIGLAS	DENOMINAÇÕES	CARACTERÍSTICA DA ROCHA
A1 W1 RS	Rocha coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço. Somente escavável a fogo.
A2 W2 RAD	Rocha medianamente coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Superfície riscável com lâmina de aço. Escavável a fogo.
A3 W3 RAM	Rocha pouco coerente	Quebra com facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável com lâmina de aço. Escarificável.
A4 W4 REA	Rocha incoerente	Quebra com pressão dos dedos, desagregando-se. pode ser cortada com lâmina de aço. Friável e escavável com lâmina.

Para a confecção do mapa de domínios geológicos-geotécnicos os solos da área estudada foram subdivididos em classes, segundo os critérios e descrições abaixo relacionados:

**1. Afloramento de Rocha (ARSA)** – esta unidade corresponde a afloramentos de rocha sem sinais de intemperismo e classificada como *AIWIRS* conforme Tabelas. 4.5 e 4.6.

Esta classe aparece invariavelmente em todos os bairros e estão ligadas, principalmente, às porções mais elevadas do relevo onde afloram em feições tipo-pão de açúcar, como a Pedra do Retiro e o maciço do Bingen (Figura 4.13).



**Figura 4.13** Exemplo de Afloramento de Rocha (Bingen).

Em determinados locais da área mapeada, observa-se padrões de fraturamento do maciço bem definidos e tombamentos de blocos

No mapeamento realizado detectaram-se, como principais discontinuidades as fraturas. Estas são observadas principalmente nesta classe, mas também são notadas, nas porções basais dos perfis de solo classificados como: saprolítico mais intemperizado (SSMI), menos intemperizado (SSPI) e alteração de rocha (RIMA).

Sabe-se que as discontinuidades geológicas, como foliação, fraturas e falhas, condicionam as condições de resistência e permeabilidade do maciço rochoso. E algumas características destas discontinuidades são determinantes para a avaliação da influência delas na resistência da rocha, como espaçamento rugosidade e abertura. O espaçamento entre as fraturas varia de alguns metros a centímetros, conforme critério adotado na Tabela 4.7.

**Tabela 4. 7** Espaçamento de descontinuidades ABGE,1998.

<b>SIGLAS</b>	<b>ESPAÇAMENTO (cm)</b>	<b>DENOMINAÇÕES</b>
E1	> 200	Muito afastadas
E2	60 a 200	afastadas
E3	20 a 60	Medianamente afastadas
E4	6 a 20	Próximas
E5	< 6	Muito próximas

A rugosidade tem influência na resistência ao cisalhamento, principalmente quando está relacionada a descontinuidades não-preenchidas. As aberturas das descontinuidades, caso sejam consideráveis, alteram as propriedades mecânicas do maciço e dependerá do tipo de preenchimento para determinar sua influência nos parâmetros geotécnicos.

As fraturas são observadas indistintamente tanto nos migmatitos quanto nos biotita-gnaisses. Um bom exemplo de fraturamentos em migmatito seria aquele que ocorre na rua Ferreira da Cunha, acesso ao bairro Duques, (Figura 4.14), onde há individualização de grandes blocos de migmatito associado a rocha félsica recristalizada com aspecto pegmatóide. As fraturas mostram-se com traço reto e espaçamento de 5 a 20 cm, com preenchimento de fragmentos de rocha com direção 140/70, 45/50 e 315/10. O bolsão pegmatóide biotita-gnaisse se mostra intensamente fraturado, nas direções 190/85, 240/80, 225/80, 175/50 (direção perpendicular ao corte de estrada) e 210/15 (Figura 4.15).



**Figura 4. 14** Ocorrência rocha fraturada na rua Ferreira da Cunha (Duques)



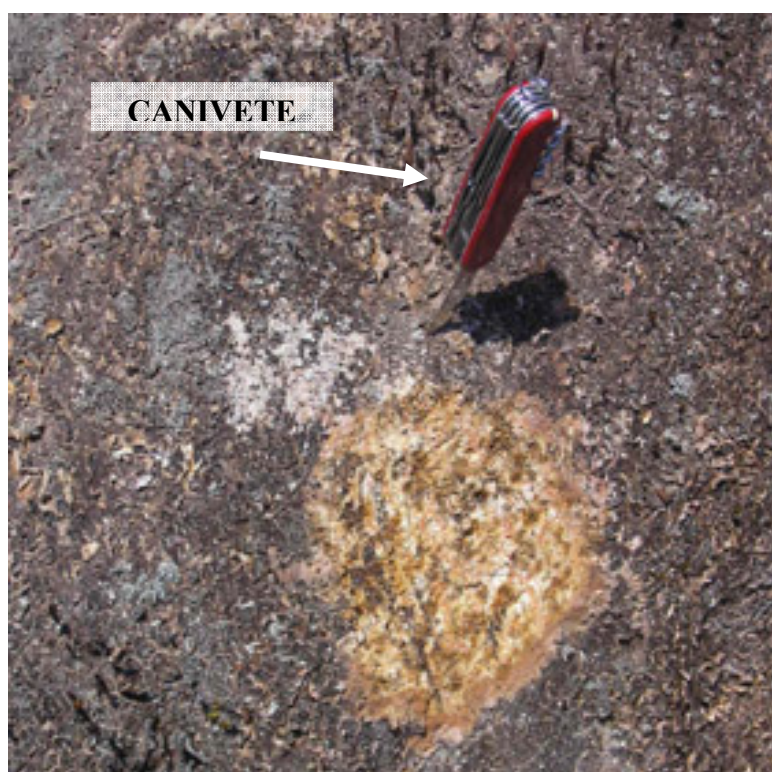
**Figura 4. 15** Exemplo de Afloramento de Rocha (ARSA) na BR-040

**2. Alteração de Rocha (RIMA):** trata-se de um perfil em que a rocha-matriz encontra-se maciça sem formação de blocos e com todas suas estruturas originais presentes. Nestas camadas a frente de intemperismo é uniforme na direção vertical. Pode ser considerada como rocha extremamente intemperizada, sendo classificada para intemperismo sob a sigla *A4W4REA* conforme Tabelas 4.5 e 4.6.

Para GUERRA & GUERRA (2003) o termo alteração de rocha tem o mesmo significado que intemperismo ou meteorização, definindo-o como sendo o conjunto de processos mecânicos, químicos e biológicos que ocasionam a desintegração e decomposição das rochas.

Quando a rocha apresenta minerais com diferentes graus de resistência ao intemperismo, ela desenvolve uma superfície irregular, e como consequência, a perda gradativa de resistência.

Embora, haja perda de resistência, ainda se percebe a presença de minerais originários da rocha mãe. A encosta oferece uma resistência próxima às características da rocha, por isso utiliza-se usualmente o termo alteração de rocha. As Figuras 4.16 e 4.17 ilustram a superfície de uma encosta classificada com esta tipologia.



**Figura 4. 16** Superfície de uma encosta com tipologia de alteração de rocha



**Figura 4. 17** Exemplo de ocorrência de alteração de rocha (Rocio).

**3. Solos Rasos Sobre Rocha (SRSR):** é classe de maior abrangência da área mapeada. Para esta classe, foram consideradas camadas com espessura de 1 a 2 metros assentados diretamente sobre os afloramentos.

Esta tipologia é freqüente nas regiões de relevo mais acidentado (Figura 4.18). Ocorrem em áreas pouco habitadas como nos bairros Caxambu e Rocio e também em áreas urbanas como nos bairros Duques (Figura 4.19) e porção sul do Quitandinha, Independência, Alto da Serra e Morin. Estes solos são pedregosos, com blocos centimétricos a métricos e, por vezes, ricos em matéria orgânica.

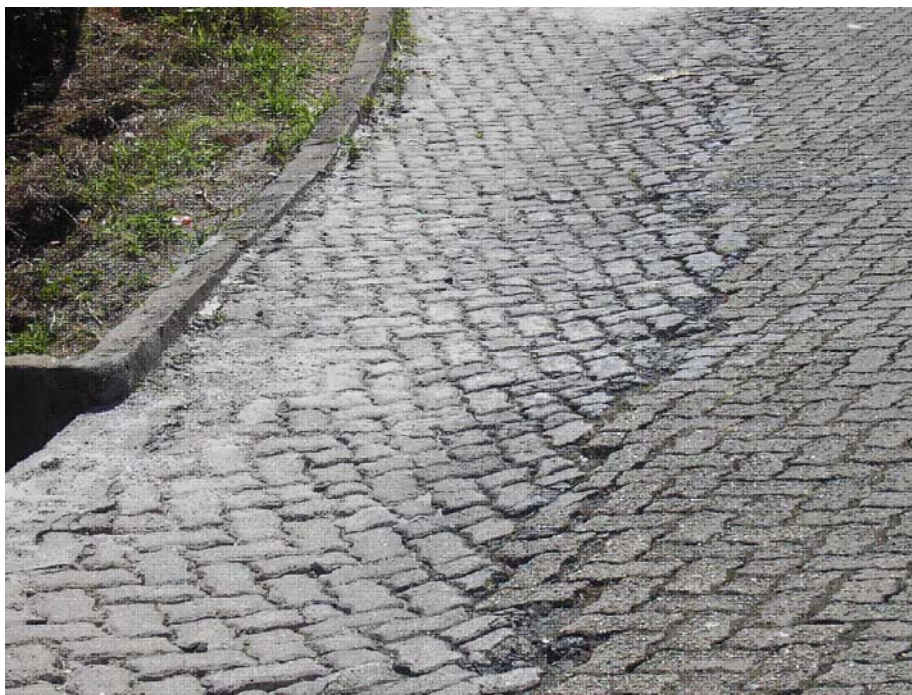


**Figura 4. 18** Ocorrência de solo raso em áreas pouco urbanizadas (Caxambu).

Foi também verificado a sua incidência em fundo de vale, onde apresenta um solo pedregoso e raso com blocos de 1 a 2 metros de biotita gnaisse de granulação muito fina e homogênea. A Figura 4.20 ilustra um solo desta tipologia apresentando sinais de abatimento.



**Figura 4. 19** Solo Raso em áreas urbanizadas (Duques).



**Figura 4. 20** Abatimento de pavimentação rua Ferreira da Cunha (Duques).

É muito comum à incidência desta tipologia na área urbana, onde a camada de solo sobre a rocha pode variar até dois metros de espessura, conforme ilustra a Figura 4.21.



**Figura 4. 21** Solo Raso na área urbana(quitandinha)



## SOLO SAPROLÍTICO (SSMI e SSPI)

GUERRA & GUERRA, (2003) definem o saprolito como o termo utilizado para caracterizar a rocha completa, ou parcialmente intemperizada, *in situ*. Os saprolitos devem-se aos intemperismo químico, em áreas úmidas tropicais, ou sub-tropicais. Apresentam geralmente coloração marrom ou avermelhada.

O tipo de solo apresentado nesta região corresponde, em grande maioria, em solos lateríticos, típico de regiões de clima tropical úmido. Possui: coloração alaranjada ou avermelhada devido a concentração de minério de ferro, espessuras profundas, bastante intemperizados e suportam vegetação de floresta.

A classificação do solo adotada para caracterização do solo considera as fases de intemperismo e, portanto determina o solo como: saprolítico muito (SSMI) ou pouco intemperizado (SSPI). Para estas classes pode-se fazer uma analogia aos solos jovem e maduro. O solo maduro apresenta horizonte bem desenvolvido e em equilíbrio com as condições do meio ambiente atual e o solo jovem apresenta horizontes levemente desenvolvido devido ao tempo relativamente curto, em que foi submetido ao processo de formação do solo.

Estas classes apresentam contato transacional entre si. A classe **SSMI** apresenta poucos blocos na base do perfil e estes apresentam dimensões centimétricas, enquanto a classe **SSPI** apresenta blocos métricos e mais numerosos. Estas classes estão relacionadas com a área mais densamente povoada do 1º Distrito, que corresponde à porção centro-norte do bairro Quitandinha, porção leste do Bingen, Centro, Valparaíso, Castelânea, São Sebastião, parte norte dos bairros Independência, Siméria, Alto da Serra, Morin e sul do bairro Mosela.

A base dos perfis destas duas classes é, muitas vezes, formada por blocos *in situ* muito fraturados. As fraturas existentes nestes blocos configuram um controle estrutural presente, principalmente no bairro Quitandinha que está relacionado a um sistema de fraturas na direção SW-SE (205/85 e 120/80 e 140/75) interceptado por fraturas na direção NE (40/80 e 35/17), ilustradas na Figura 4.22.



**Figura 4. 22** Sistema de fraturamento com individualização de blocos presente na base dos perfis de solo saprolítico na Rua Jacinto Rabelo (Vila Felipe).

Tal sistema favorece a formação de blocos individualizados e o avanço da frente de intemperismo por constituírem um caminho preferencial para percolação de água. Em alguns pontos, a foliação principal da biotita gnaisse (30/20) apresenta-se paralela a fraturas subhorizontais. Nestas situações a intervenção antrópica, como cortes de estrada, quando perpendiculares à direção de mergulho da rocha favorece aos escorregamentos.

**4. Solos Saprolíticos Pouco Intemperizados (SSPI):** distinguem-se dos solos saprolíticos mais evoluídos por apresentarem blocos métricos pouco intemperizados na base do perfil, com maior presença de estruturas reliquiares e espessura que varia de 7 a 15 metros.

Esta classe de solo ocorre em muitos bairros da região central do 1º Distrito. Foram verificados vários locais onde ocorreram deslizamentos ligados a cortes sub-verticais feitos no talude e pequenos escorregamentos onde se observou a presença de blocos na massa do solo. A Figura 4.23 ilustra um perfil de ocorrência desta classe mostrando o solo saprolítico misturado com blocos fraturados métricos, preenchidos com solo traço, reto.



**Figura 4.23** Exemplo de solo saprolítico pouco intemperizado (Bingen).

**5. Solos Saprolíticos Muito Intemperizados(SSMI):** são perfis em que a rocha-matriz foi quase totalmente intemperizada, mantendo em alguns pontos estruturas reliquiares. Apresentam na base do perfil, blocos centimétricos e mostram-se com espessura que varia em média de 10 a 20 metros de espessura.

Esta classe de solo ocorre com grande abrangência na área do 1º Distrito. Pode-se atribuir a esta, a característica de um solo espesso com pouca presença de blocos sem fraturamentos. É comum a presença de sinais de abatimento, associada a um processo de ruptura.

Há casos em que o sistema de fraturamento está ligado a planos de fratura na direção SW-NW (270/20 e 320/75), o que favorece a formação de blocos, podendo ocorrer um processo de transição lateral entre o solo saprolítico muito intemperizado e pouco intemperizado. A Figura 4.24 mostra um exemplo desta tipologia de solo e nota-se a coloração tipo alaranjada, bem comum às características dos solos suscetíveis a escorregamentos nesta região.



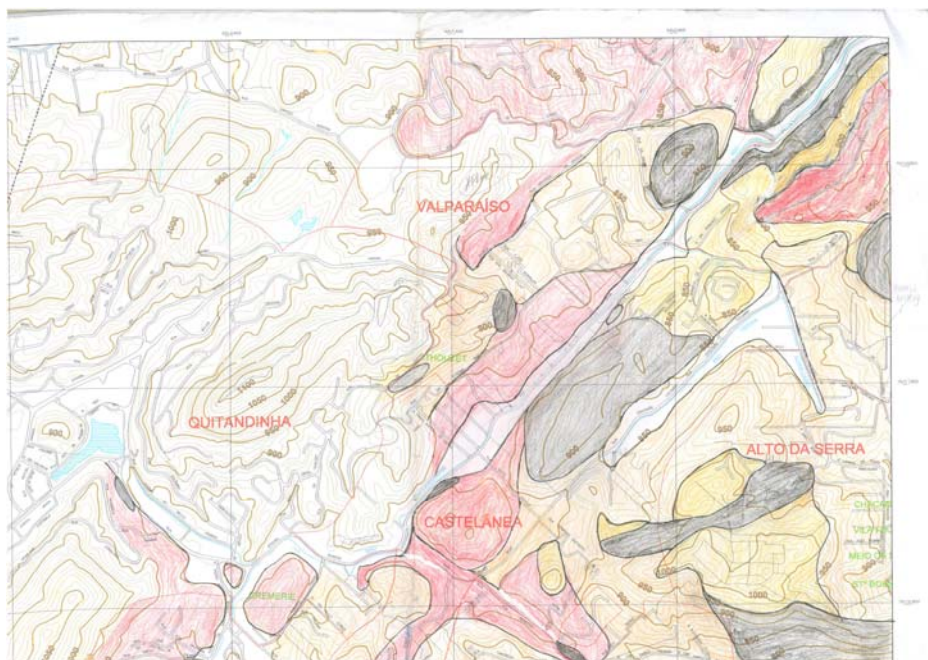
**Figura 4. 24** Exemplo de solo saprolítico muito intemperizado (Fazenda Inglesa).

**6. Sedimentos Inconsolidados (SEIN):** o sedimento é o material originário da destruição de rochas preexistentes, suscetível de ser transportado e depositado. Portanto, esta classe pode ser entendida como todos os materiais geológicos, residuais, e retrabalhados, que ocorrem desde o topo da rocha sã até a superfície.

Os sedimentos inconsolidados possuem características variadas e a sua distribuição espacial influencia a eficiência dos usos e ocupações do solo e a intensidade dos impactos ambientais resultantes. A composição dos materiais inconsolidados é bastante diversificada, porém, para a proposta do presente estudo não foram considerados os aspectos da variabilidade espacial com as feições do terreno. As áreas que foram classificadas como Sedimentos inconsolidados são aquelas localizadas nos fundos de vales, onde a declividade não oferece influência na ocorrência de escorregamentos.

### 4.5.3 Compilação dos Dados e Digitalização das Informações

Os dados de campo foram desenhados em cartas aerofotogramétricas (Figura 4.25) em escala 1:10.000 e os dados complementares em relação aos aspectos geológicos foram obtidos de PENHA et. al. (1979) e SOUZA (1983).



**Figura 4.25** Esboço do mapeamento de campo.

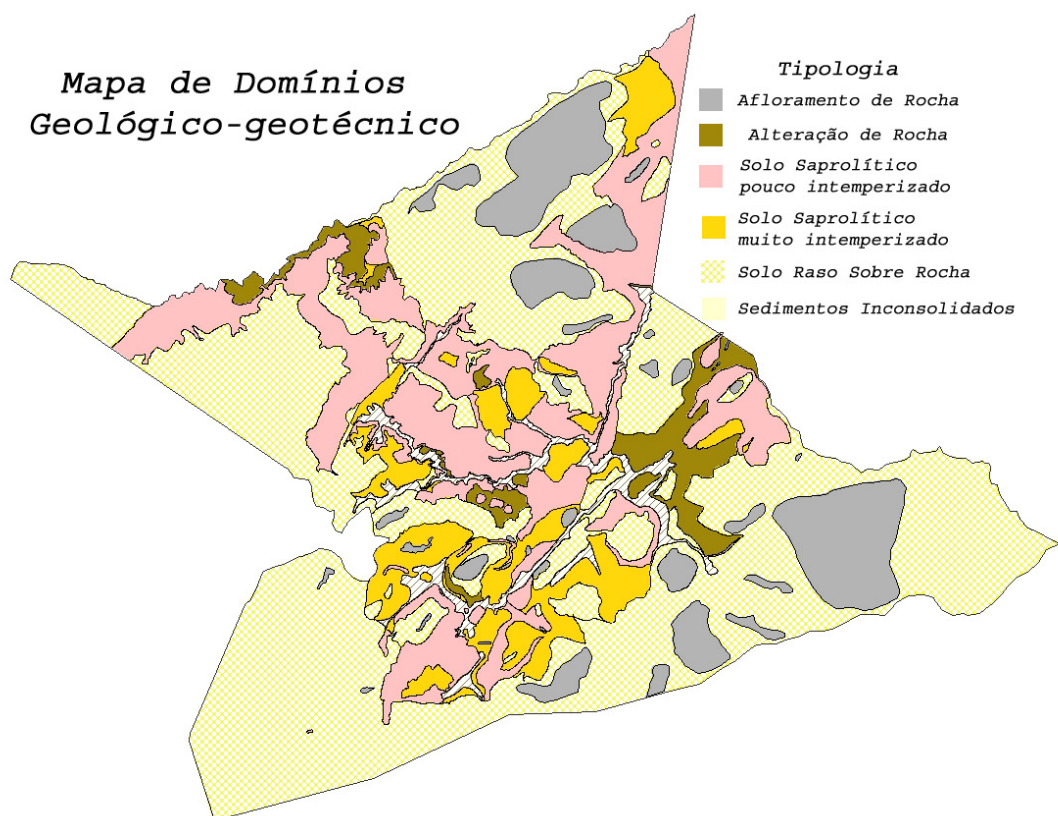
Após o levantamento de dados e confecção manual dos mapas, estes foram digitalizados, com o uso de uma mesa digitalizadora (Figura 4.26), e para cada classe criada foi atribuído um valor de probabilidade deduzida associada, conforme apresentado na Tabela 4.8.



**Figura 4.26** Mesa digitalizadora.

**Tabela 4.8** Probabilidades deduzidas, associadas às classes do Mapa de Domínios geológicos-geotécnicos.

CLASSES DO MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS	SIGLA	PROBABILIDADE DEDUZIDA
SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS	SEIN	0,01
AFLORAMENTO DE ROCHA	ARSA	0,5
ALTERAÇÃO DE ROCHA	RIMA	0,5
SOLO SAPROLÍTICO POUCO INTEMPERIZADO	SSPI	0,5
SOLO SAPROLÍTICO MUITO INTEMPERIZADO	SSMI	0,7
SOLO RASO SOBRE ROCHA	SRSR	0,9



**Figura 4.27** Mapa de Domínios Geológico-geotécnicos.

## Capítulo 5 - Mapeamento Quantitativo de Risco

### 5.1 Integração de Mapas Temáticos

O modelo empregado para a integração temática entre os mapas de estado natural está baseado na Teoria de Bayes. O emprego da estatística bayesiana é uma alternativa que vem recebendo espaço crescente de aplicações em problemas ambientais e atualmente tem sido utilizado para a modelagem de dados espacialmente referenciados.

Através de um algoritmo deduzido pelo Teorema de Bayes a probabilidade inicial de acidentes para cada região (inventário de acidentes) foi atualizada com informações adicionais (drenagem, vegetação, declividade e geologia) para construção do Mapa de Suscetibilidade ou Perigo.

#### 5.1.1 Teorema de Bayes

O teorema de Bayes é usado na inferência estatística para atualizar estimativas da probabilidade de que diferentes hipóteses sejam verdadeiras, baseadas nas observações e no conhecimento de como essas observações se relacionam com as hipóteses.

Bayes sugeriu que probabilidades deduzidas por julgamento, realizadas a partir de meros “pressentimentos”, poderiam ser combinadas com probabilidades obtidas por frequências relativas por meio de um teorema (RAIFFA, 1968, citado em GALVEZ, 1995).

De acordo com STULZ & CHEESEMAN (1994), o **Teorema de Bayes** enuncia uma regra para atualizar a convicção de uma Hipótese “H” (ou seja, a probabilidade inicial de uma hipótese “H”, no caso, ocorrência de escorregamentos) dada uma evidência adicional E, e a informação antecedente (contexto) I, ou seja, este teorema propõe que as probabilidades podem ser revistas quando se obtém mais informações sobre os eventos.

Portanto para o cenário em questão pode-se considerar o contexto **I** como sendo o meio físico em que o evento **H** (escorregamento) ocorre dada a presença de **E** (evidência).

A probabilidade de encontrar escorregamento onde a evidência (**E**) está presente, pode ser expressa em termos de probabilidade condicional, conforme a Equação 5.1.

$$p(H|E,I) = \frac{p(H \cap E, I)}{p(E, I)}, \quad (5.1)$$

sendo:

$$p(H \cap E, I) = p(H|I) * p(E|H, I),$$

que substituído em 5.1 fornece:

$$p(H|E,I) = \frac{p(H | I) * p(E | H, I)}{p(E, I)} \quad (5.2)$$

onde,

**H – hipótese:** ocorrência de um perigo num dado período de tempo (no caso escorregamentos);

**E** - Evidência possível de ser observada relacionada às causas predisponentes e/ou deflagradoras dos escorregamentos;

$p(H|E, I)$  – probabilidade condicional de ocorrer escorregamento (**H**), segundo a evidência **E** ;

$p(H \cap E, I)$  – probabilidade de (**H**) ocorrer dada a presença de **E** (evidência);

$p(E, I)$  – probabilidade independente de ocorrer escorregamento (H), ou seja, probabilidade de **E** ocorrer no contexto, podendo ser uma constante normalizadora ou fator de escala;

$p(H|I)$  – probabilidade inicial da hipótese **H** dado como condicionante somente o contexto **I**;

$p(E|H, I)$  – expressa a confiança na evidência **E**, atribuindo uma probabilidade a esta evidência, e assumindo como sendo verdadeiras a hipótese **H** e a informação antecedente **I**;



A informação  $I$  é, a princípio, uma conjunção de todas as afirmações relevantes para determinar  $p(H|I)$  e  $P(E_i|I)$ .

A evidência  $E$  denota a limitação do conhecimento sobre a situação de risco, mas que potencialmente contribui para a deflagração do movimento, associado às incertezas aleatórias.

A Equação 5.1 introduz o conceito de probabilidade inicial e probabilidade posterior. Onde a probabilidade inicial (ou prévia) é representada por  $p(H|I)$  e a probabilidade posterior é representada pelos resultados da modificação sofrida na probabilidade prévia pela consideração de um novo fator, ou seja, a partir de uma nova informação, no caso a evidência  $E$ . Então, a probabilidade posterior é representada pelo resultado da Equação 5.1.

Este raciocínio mostra que a probabilidade prévia pode ser atualizada, ou modificada pela multiplicação de um novo fator, no caso a evidência  $E$ . Esta concepção torna-se muito útil na análise de inúmeras informações (declividade, vegetação, tipo de solo, etc) que passariam a ser incluídas na análise como informações adicionais a serem multiplicadas pela probabilidade prévia.

Considera-se agora, a existência de mais de uma evidência, ou seja, analisando o contexto com mais de uma informação,  $E_i$ , sendo  $i= 1,2,3\dots,n$ , sendo  $E_i$  evidências adicionais, como por exemplo, declividades, tipologia de solo, tipo de cobertura vegetal, drenagem natural, entre outros, denominados de classes temáticas.

A probabilidade posterior poderá então ser expressa para  $i=2$  como:

$$\begin{aligned}
 p(H|E_1 \cap E_2, I) &= \frac{p(H) * p(E_1 \cap E_2, I \setminus H)}{p(E_1 \cap E_2, I)} = \\
 &= \frac{p(H) * p(E_1 \setminus H, I) * p(E_2 \setminus H, I)}{p(E_1, I) * p(E_2, I)} \quad (5.3)
 \end{aligned}$$

A regra de Bayes define quatro possibilidades de probalidades condicionais, a saber:

- a) de ocorrer a presença a de  $H$  com a presença de  $E_i$ ;
- b) de ocorrer a presença de  $H$  com a ausência de  $E_i$ ;

c) de ocorrer a ausência de  $H$  com a presença de  $E_i$ ;

d) de ocorrer a ausência de  $H$  com a ausência de  $E_i$ .

Aplicando-se a regra de eventos complementares, segundo a qual os eventos devem ser mutuamente excludentes, pois é impossível um evento acontecer e não ocorrer simultaneamente, tem-se que:

$$p(E \text{ ou } \bar{E}) = p(E) + p(\bar{E}) = 1 \quad (5.4)$$

$$p(E) = 1 - p(\bar{E}) \quad \text{e} \quad p(\bar{E}) = 1 - p(E)$$

Conclui-se então que  $p(E)$  é a probabilidade de ocorrer a evidência  $E$  e  $p(\bar{E})$  é a probabilidade de não ocorrer a evidência  $E$  em uma área. Desta forma, representam respectivamente a probabilidade de  $E$  estar presente ou ausente no contexto  $I$ .

Tomando-se a Equação 5.3 e aplicando-se a regra de eventos complementares tem-se:

$$p(H \setminus E_1 \cap E_2) = \frac{p(H) * (pE_1 \cap E_2, I \setminus H)}{p(E_1 \cap E_2, I \setminus H) * p(H) + p(E_1 \cap E_2, I \setminus \bar{H}) * p(\bar{H})} \quad (5.5)$$

Essa expressão caracteriza a própria regra de Bayes. No entanto, observa-se que existem apenas duas hipóteses mutuamente exclusivas: ocorrência de escorregamentos e não ocorrência de escorregamentos. Portanto, considerando-se a hipótese de ocorrência de escorregamentos, a expressão se resume ao estudo da probabilidade condicional onde a presença de  $E_i$  também ocorre para qualquer caso.

Partindo desta hipótese, os eventos  $E_i$  serão considerados independentes, ou seja, a probabilidade de ocorrência de escorregamento em  $E_1$  não afeta a probabilidade de  $E_2$ , de  $E_3$  e assim por diante. Assumindo-se essa condição, os efeitos de integração entre as evidências podem ser ignorados e esta condição de independência pode ser expressa como:

$$p(E_1, E_2 \setminus I) = p(E_1 \setminus I) * p(E_2 \setminus I) \quad (5.6)$$

Para concluir, considera-se a condição de múltiplas evidências  $E_i$ , sendo elas condicionalmente independentes sobre  $i$  e, portanto  $H, I$ , com aplicação da regra de

eventos complementares. Com a integração da Equação 5.5, tem-se a versão da Regra de Bayes para a atualização de probabilidades iniciais, considerando múltiplas informações para o contexto proposto, expressa por:

$$p(H \mid E_1 \cap E_2 \cap E_i) = \frac{p(H) * p(E_1 \cap E_2 \cap E_i \mid H)}{p(E_1 \cap E_2 \cap E_i \mid H) * p(H) + p(E_1 \cap E_2 \cap E_i \mid \bar{H}) * p(\bar{H})} \quad (5.7)$$

Esta foi a forma encontrada para aplicação da teoria Bayesiana, permitindo que a contribuição de cada mapa pudesse ser avaliada individualmente, e conseqüentemente, as informações adicionais (evidências) de diferentes mapas pudessem ser combinadas com os dados disponíveis de forma a atender o objetivo proposto neste trabalho.

Portanto, pode-se aplicar a regra de Bayes para alterar a probabilidade inicial tendo em conta novas evidências de forma a obter probabilidades posteriores (atualizadas).

### 5.1.2 Dados para aplicação do teorema de Bayes

#### PROBABILIDADE INICIAL

A probabilidade prévia ou inicial para aplicação desta teoria foi obtida a partir de Inventário de Acidentes e Situações de Risco de Movimentos de Massa (Escorregamentos) compilado por OLIVEIRA (2004).

O inventário reuniu dados do levantamento de escorregamentos no Município de Petrópolis concluído em 1990, pelo IPT e pela Prefeitura. O IPT utilizou um método semelhante ao utilizado para Cubatão em São Paulo (IPT, 1988) para realização dos estudos. Foi feita uma correlação entre escorregamentos e chuva. Para isso foram selecionados 4 postos pluviométricos, existentes no município, atualmente administrados pela Superintendência de Rios e Lagoas do Estado do Rio de Janeiro (SERLA), cujos dados compreenderam o período de 1943 a 1989, totalizando-se 47 anos. A partir destes dados pluviométricos, foram selecionados os períodos de quatro dias cujos índices pluviométricos tivessem sido iguais ou superiores a 70mm, por margem de segurança, uma vez que o valor recomendado em outros trabalhos (GUIDICINI & IWASA, 1976) foi de 80mm. Além desses dados, a partir de 1976, devido ao crescimento da população urbana a pesquisa foi complementada com a consulta a jornais da cidade dia a dia, de outubro a março (período de chuva), até 1989.

Após a compilação desses dados, dividiu-se o Município de Petrópolis em regiões e a partir da frequência de acidentes foram calculadas as frequências relativas e a probabilidade anual para cada região durante o período estudado. As frequências relativas de acidentes foram tomadas como probabilidades iniciais que serão atualizada posteriormente, com aplicação da teoria de Bayesiana. Estes dados foram obtidos no inventário e adaptados para a área de estudo, como mostra resumo na Tabela 5.1.

**Tabela 5. 1** Probabilidade inicial (frequência relativa) de escorregamentos, adaptadas para as regiões do 1º Distrito do Município de Petrópolis (OLIVEIRA, 2004).

REGIÕES	FREQUÊNCIA (ACIDENTES/REGIÃO)	Probabilidade Inicial P(   H)
Alto da Serra	107	1,44E-01
Bingen	118	1,59E-01
Castelânea	18	2,42E-02
Caxambú	13	1,75E-02
Centro	146	1,97E-01
Estradada Saudade	49	6,59E-02
Fazenda Inglesa	1	1,35E-03
Floresta	35	4,71E-02
Independência	20	2,69E-02
Morin	22	2,96E-02
Mosela	22	2,96E-02
Quarteirão Brasileiro	17	2,29E-02
Sertão do Carangola	1	1,35E-03
Quitandinha	62	8,34E-02
Retiro	38	5,11E-02
Rocio	1	1,35E-03
São Sebastião	33	4,44E-02
Siméria	6	8,08E-03
Valparaíso	34	4,58E-02
	$\Sigma$	743
		1,00E+00

## INFORMAÇÕES ADICIONAIS – EVIDÊNCIAS

As evidências estão definidas com valores de probabilidades deduzidas por julgamento, associadas às classes especificadas para cada tema. Constituem informações adicionais (declividade, drenagem, vegetação e geologia) que vão aumentar ou diminuir a probabilidade prévia. Portanto, a probabilidade prévia pode ser atualizada ao ser integrada por um fator que represente a presença ou ausência de uma informação adicional, ou seja, escorregamentos.

## 5.2 Mapa de Suscetibilidade ou de Perigo

Após a confecção dos mapas temáticos e montagem do banco de dados georreferenciado com a reunião de todas as informações cartográficas predisponentes que representam a área de estudo, prossegue-se a pesquisa, com a construção do Mapa de Suscetibilidade. Este mapa será montado a partir da integração dos Mapas de estado natural empregando a Teoria de Bayesiana.

### 5.2.1 Critérios para definição de limites de Perigo e de Risco

Na integração dos mapas e estado natural é gerado um mapa com modelo numérico. Para construção dos mapas de risco e perigo é necessário estabelecer critérios para definição dos limites das faixas de perigo e risco. Estes limites são expressos através de intervalos numéricos.

As faixas de perigo e risco foram classificadas como: muito alto, alto, médio e baixo e os critérios para definição dos intervalos são apresentados a seguir.

O perigo pode ser definido como o fenômeno natural, capaz de ocasionar um fato desagradável, como por exemplo: escorregamentos de taludes naturais ou artificiais, inundações, quedas de blocos, erosão ou solapamento de margens de rios, corridas de lama, deslizamento de aterros, entre outros.

Neste trabalho, a quantificação da possibilidade de ocorrência do perigo é expressa através da **probabilidade de ocorrência do perigo**, calculada através da integração de dados de frequências de ocorrências de escorregamentos e informações adicionais relativas ao meio-físico.

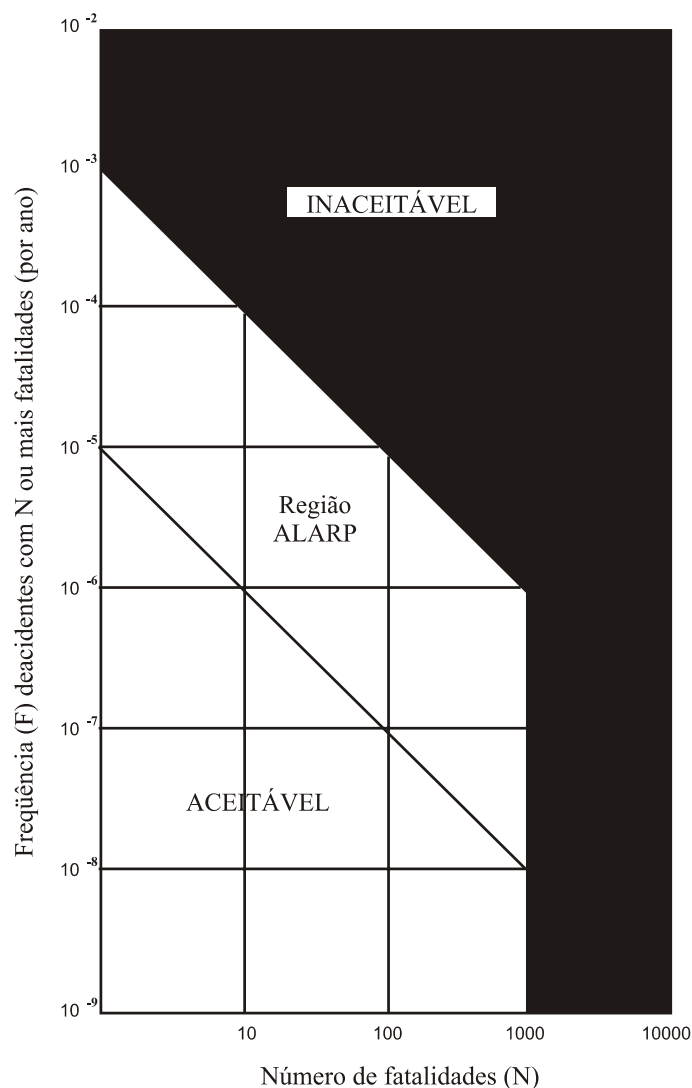
A elaboração do **Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos** foi baseada em informações dos **Mapas de Estado Natural**, elaborados através de foto-interpretação, trabalho de campo e a partir de pesquisa bibliográfica, conforme já mencionado anteriormente.

Então, considerou-se o perigo quantificado pela probabilidade de ocorrência escorregamentos no espaço físico, caracterizando uma situação de risco.

Já o risco associa a probabilidade de ocorrência de algum dano a um elemento em risco (vulnerabilidade) ao potencial de ocorrência de um acidente (situação de risco).

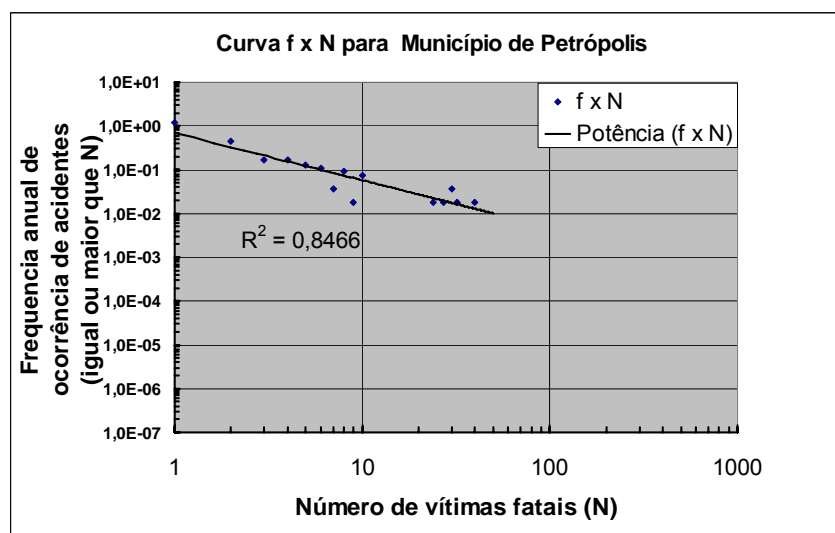
Segundo FELL & HARTFORD (1997) existe um nível de aceitabilidade e tolerância de riscos à escorregamentos em todas as regiões que apresentam potencial para ocorrência deste tipo de fenômeno. Vários estudos têm sido realizados com o intuito de se estabelecer um nível de risco, realmente considerado tolerável para possibilitar o desenvolvimento de processos de gerenciamento de risco.

Um exemplo destes estudos são as diretrizes para as instalações com situações de risco elaboradas pelo Departamento de Planejamento do Governo de Hong Kong (1994) que definiu um critério de risco social, apresentado na Figura 5.1.



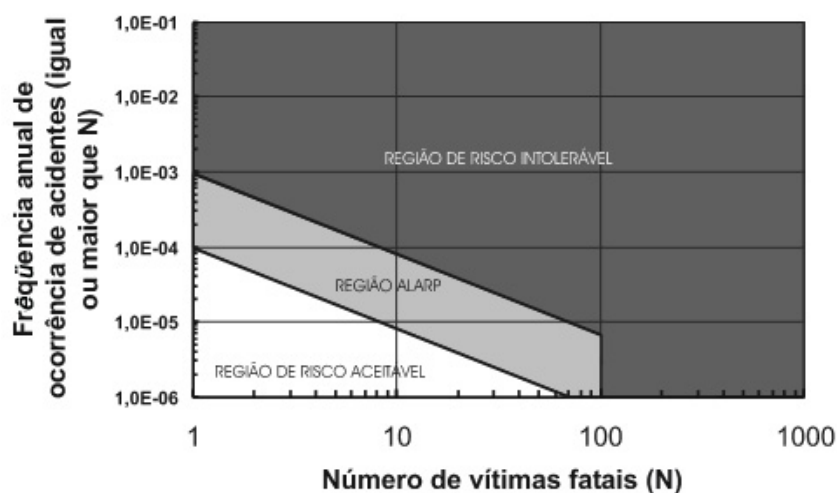
**Figura 5.1** Critério de Risco Social do Departamento de Planejamento do Governo de Hong Kong (1994) (apud FELL & HARTFORD, 1997).

Com base nos dados do inventário de freqüência de acidentes (f) com vítimas fatais (N), entre os anos de 1943 a 1989, para as mortes causadas por movimentos de massa, OLIVEIRA (2004) construiu a curva f x N para o Município de Petrópolis (Figura 5.2).



**Figura 5.2** Curva f x N para mortes devidas a movimentos de massa para o período de 1943 a 1989 (OLIVEIRA, 2004).

Com base no critério de risco voluntário máximo aceitável para um indivíduo ( $N=1$ ), geralmente fixado em  $10^{-3}$  acrescentou-se ao gráfico da linha de tendência f x N uma linha paralela a esta passando pelo eixo vertical na ordenada  $10^{-3}$ . A partir desta construção estabeleceu-se um limite de risco aceitável (limite inferior), um limite de risco tolerável (limite superior) e uma faixa ALARP, conforme apresentado na Figura 5.3.



**Figura 5.3** Curva f x N para mortes devidas a movimentos de massa para o Município de Petrópolis (Oliveira, 2004).

Os autores consideraram a curva  $f \times N$  como critério para definição dos limites quantitativos de risco. Este método considera a frequência anual de acidente por número de vítimas fatais. Para o desenvolvimento do modelo proposto foi considerado uma frequência relativa de todos os acidentes ocorridos, independente de haver vítima fatal em relação a cada região.

Portanto, como foi necessário a definição de limites quantitativos de risco para aplicação do método em estudo admitiu-se os valores adotadas pelos autores (Figura 5.1 e 5.3) para definição das faixas quantitativas de risco anual. A Tabela 5.2 resume as faixas quantitativas e qualitativas adotadas para o fatiamento do mapa de risco.

**Tabela 5.2** Limites de risco utilizadas no fatiamento do Mapa Quantitativo de Risco.

FAIXAS DE RISCO ANUAL		
<b>BAIXO</b>	ou sem RISCO	$R < 10^{-6}$
<b>MÉDIO</b>	RISCO ACEITÁVEL	$10^{-4} < R < 10^{-6}$
<b>ALTO</b>	REGIÃO ALARP	$10^{-4} < R < 10^{-3}$
<b>MUITO ALTO</b>	RISCO INTOLERÁVEL	$R > 10^{-3}$

Geralmente o risco é estimado pelo produto da probabilidade pelas conseqüências, e pode ser definido através da Equação 2.3, referenciada no Capítulo 2 :

A equação expressa que para análise de uma situação de risco deve-se identificar primeiramente o perigo. Para o cálculo do risco individual atribui-se o valor de uma unidade “E” ao termo da expressão..

$$p[\textit{perigo}] = \frac{R}{V} \quad (5.8)$$

A vulnerabilidade (**V**) no contexto da Análise Quantitativa de risco está associada ao nível de danos potenciais, ou grau de perdas, expressa numa escala de 0 a 1, de um elemento afetado por uma situação de risco de escorregamentos. A avaliação da vulnerabilidade envolve, portanto, o conhecimento da interação entre um dado escorregamento e os elementos afetados. Em essência, a vulnerabilidade (**V**) pode ser considerada conforme descreveu FEEL (1994) citado em WONG & CHAN (1997):

$$V = V_s * V_t * V_l \quad (5.9)$$



onde:

$V_s$  – probabilidade espacial de impacto de um escorregamento em um elemento;

$V_t$  – probabilidade temporal de impacto (por exemplo, significa a probabilidade de uma construção estar ocupada durante o impacto);

$V_1$  – probabilidade de perdas de vidas ou proporção do valor do elemento.

A vulnerabilidade espacial ( $V_s$ ) pode ser expressa pela relação entre a área dos elementos em risco e a área total de alcance dos fragmentos de rocha ou de detritos oriundos de um escorregamento (OLIVEIRA, 2004).

A Tabela 5.3 apresenta um critério de faixas de vulnerabilidade individual adotados em Hong Kong, para adoção de valores de fatalidades provocadas por movimentos de massa.

**Tabela 5.3** Faixas de vulnerabilidade (apud FINLAY et al. , 1997; citado em WONG & CHAN , 1997).

<b>VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO EM UM ESPAÇO ABERTO</b>			
<b>CASO</b>	<b>FAIXA</b>	<b>VALOR RECOMENDADO</b>	<b>COMENTÁRIOS</b>
1 Se atingida pela queda de um bloco	0,1 - 0,7	0,5 <sup>(1)</sup>	Pode ser ferida, mas é improvável que o acidente seja fatal.
2 - Se soterrada por escombros	0,8 - 1,0	1	Morte por asfixia
3 - Se não for soterrada	0,1 - 0,5	0,1	Grande chance de sobrevivência
(1) Melhor considerar maiores detalhes, isto é, a proximidade da pessoa da parte da edificação afetada pelo material escorregado.			
<b>VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO DENTRO DE UM VEÍCULO</b>			
<b>CASO</b>	<b>FAIXA</b>	<b>VALOR RECOMENDADO</b>	<b>COMENTÁRIOS</b>
1- Se o veículo é atingido/soterrado	0,9 - 1,0	1	Morte é quase certa
2 - Se o veículo é simplesmente danificado	0 - 0,3	0,3	Grande chance de sobrevivência
<b>VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO EM UM EDIFÍCIO</b>			
<b>CASO</b>	<b>FAIXA</b>	<b>VALOR RECOMENDADO</b>	<b>COMENTÁRIOS</b>
1 - Se ocorre colapso do edifício	0,9 - 1,0	1	Morte é quase certa
2 - O edifício é invadido pelos detritos e a pessoa é soterrada	0,8 - 1,0	1	Morte muito provável
3 - Se o edifício é invadido por detritos e a pessoa não é soterrada	0 - 0,5	0,2	Grande chance de sobrevivência
4 - Se os detritos se chocam somente com a edificação	0 - 0,1	0,05	Virtualmente não existe perigo <sup>(1)</sup>
(1) Melhor considerar maiores detalhes, isto é, a proximidade da pessoa com a parte do edifício afetada pelo material escorregado.			

A partir da Tabela 5.3, OLIVEIRA, 2004 sugeriu a Tabela 5.4, e fez uma estimativa da parcela de vulnerabilidade de um indivíduo estar em sua residência.

**Tabela 5.4** Estimativa da parcela de vulnerabilidade de um indivíduo estar em sua residência (OLIVEIRA, 2004).

VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO EM SUA RESIDÊNCIA (V <sub>1</sub> )			
TIPO DE DANO	FAIXA	VALOR RECOMENDADO	
		CASAS DE MADEIRA OU ALVENARIA DE TIJOLOS FURADOS SEM LAJE (PADRÃO POPULAR)	CASAS CONSTRUÍDAS COM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO OU ALVENARIA AUTOPORTANTE DE BLOCOS OU TIJOLOS MACIÇOS
Impacto de fragmento provocando o colapso da residência	0,9-1,0	1,0	1,0
Fragmentos passam por algum vão da residência (janelas, basculantes, portas), atingindo compartimentos de pequeno tempo de permanência.	0,8 - 1,0	1,0	0,9
Fragmentos passam por algum vão da residência (janelas, basculantes, portas), atingindo compartimentos de grande tempo de permanência.	0,6 - 1,0	0,9	0,7
Fragmentos se chocam contra a residência destruindo-a parcialmente.	0,6 - 1,0	0,8	0,6
Fragmentos se chocam com a residência não provocando danos a estrutura	0 - 0,1	0,1	0,05

Ao analisar os valores de vulnerabilidades adotadas pelos autores observa-se que estes estão na casa de  $10^{-1}$ . Assim sendo, será adotado para o cálculo das faixas de suscetibilidade o critério da seguinte Equação:

$$p[\text{perigo}] = \frac{R}{10^{-1}} \quad (5.10)$$

Aplicando os valores estabelecidos para o risco na Tabela 5.2 na Equação 5.10 tem-se os valores limites para as faixas de perigo, resumidos na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** - Limites de perigo utilizados no fatiamento do Mapa de Suscetibilidade.

FAIXAS DE PERIGO	
BAIXO	$p < 10^{-5}$
MÉDIO	$10^{-5} < p < 10^{-3}$
ALTO	$10^{-3} < p < 10^{-2}$
MUITO ALTO	$p > 10^{-2}$

### 5.2.2 Atualização das Probabilidades de Escorregamentos

Para atualização da probabilidade inicial, conforme já descrito anteriormente, aplica-se um algoritmo empregando a Teoria Bayesiana.

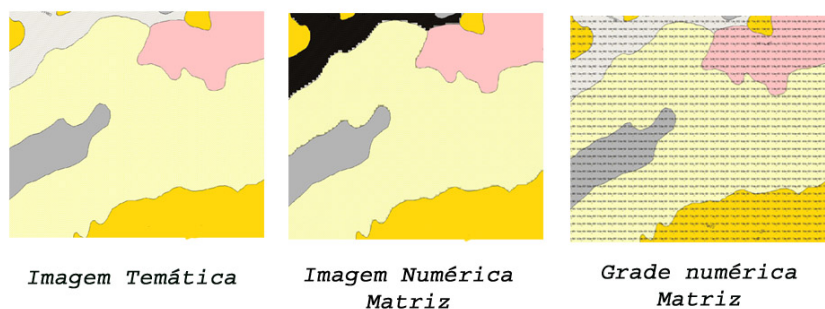
A linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), no ambiente SPRING permite a implementação de operadores sobre Campos pontuais sob a forma de expressões matemáticas no qual se podem empregar diferentes modelos condicionais.

O modelo sugerido será a aplicação de uma expressão matemática baseada na teoria Bayesiana. Foi adotado, para cada ponto, representado por um “pixel”, o correspondente a uma área de 25m<sup>2</sup> (5,0 x 5,0 metros). Os campos serão transformados pontualmente de modo que o efeito resultante sobre cada ponto é independente dos valores de pontos vizinhos

O modelo de dados de Campos e Objetos do SPRING oferece uma categorização de dados e operadores bastante natural, permitindo que estes sejam Temáticos, Imagens e Numéricos.

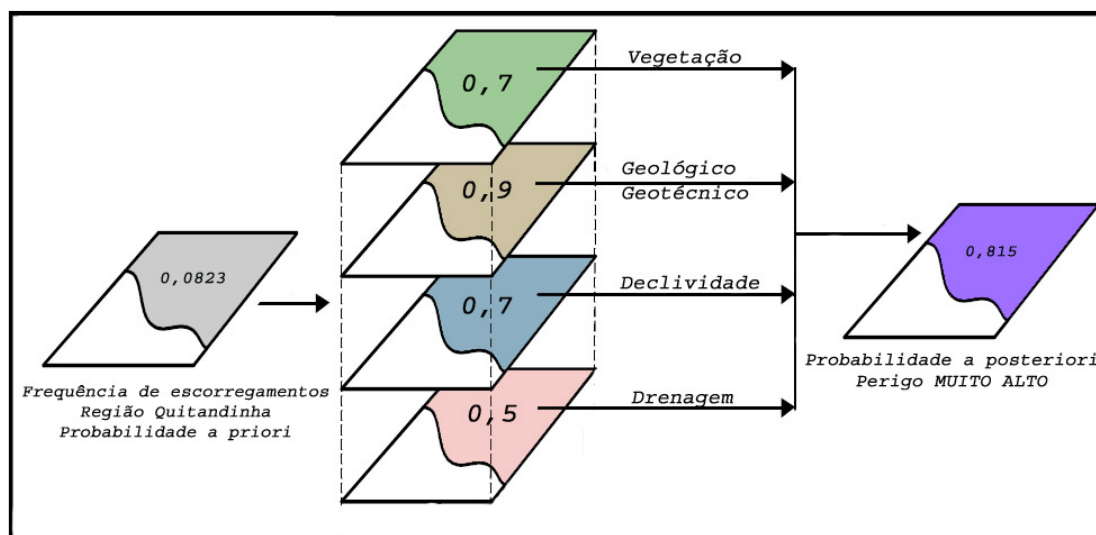
Os mapas temáticos criados no banco de dados expressam dados qualitativos, que estão associados aos atributos numéricos definidos para cada classe temática. Os planos de informação temáticos foram gerados em forma de vetores. Para que os dados sejam representados numericamente, os vetores são transformados em matrizes, onde cada pixel recebe um valor numérico correspondente a cada classe temática.

A partir daí obtém-se um mapa com o Modelo Numérico, onde os dados passam a ser quantitativos. Os pontos assumem valores numéricos e podem ser compostos por representações matriciais (grades retangulares), como mostra a Figura 5.4.



**Figura 5.4** Transformação da imagem temática em imagem numérica (matriz).

Com base nos dados disponíveis, onde já se determinou a probabilidade prévia (Tabela 5.1) por região, e nos atributos adotados para cada classe temática, será feito uma integração entre os mapas de forma a se determinar a probabilidade posterior para cada região estudada (Figura 5.5).



**Figura 5.5** Exemplo de aplicação da teoria Bayesiana.

Após a integração dos valores foi gerado um mapa com valores numéricos. Para cada pixel ( $25\text{m}^2$ ) foi calculado um valor de probabilidade atualizada que será interpretado como o potencial de ocorrer escorregamentos naquela área.

### 5.2.3 Mapa de Suscetibilidade

A definição dos limites de perigo permitiu a construção do Mapa de Suscetibilidade. O Mapa de Suscetibilidade ou de Perigo representa uma forma particular de mapas de estado natural e, neste caso expressa a tendência de ocorrência de escorregamentos nas encostas. A combinação dos parâmetros dos mapas de estado natural resulta no Mapa de Suscetibilidade ou de Perigo.

A Tabela 5.6 mostra um exemplo do cálculo da probabilidade atualizada. Nesta foram feitas diversas simulações, onde foram consideradas várias situações possíveis com objetivo de testar o modelo e ajustar as probabilidades atribuídas por julgamento a cada feição temática.

**Tabela 5. 6** Exemplo de aplicação da Teoria Bayesiana.

REGIÕES	Probabilidade Inicial P(   H)	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO	GEOTÉCNICO	DRENAGEM	Probabilidade Atualizada
Alto da Serra	1,44E-01	0,01	0,1	0,5	0,01	<b>1,91E-06</b>
Bingen	1,59E-01	0,01	0,4	0,5	0,1	<b>1,41E-04</b>
Castelânea	2,42E-02	0,5	0,4	0,9	0,1	<b>1,63E-02</b>
Caxambu	1,75E-02	0,9	0,1	0,5	0,01	<b>1,80E-04</b>
Centro	1,97E-01	0,9	0,1	0,5	0,1	<b>2,65E-02</b>
Estrada da Saudade	6,59E-02	0,01	0,1	0,5	0,01	<b>8,00E-07</b>
Fazenda Inglesa	1,35E-03	0,7	0,5	0,5	0,01	<b>3,18E-05</b>
Floresta	4,71E-02	0,7	0,5	0,5	0,1	<b>1,27E-02</b>
Independência	2,69E-02	0,5	0,1	0,9	0,1	<b>3,06E-03</b>
Morin	2,96E-02	0,5	0,1	0,9	0,01	<b>3,08E-04</b>
Mosela	2,96E-02	0,01	0,1	0,5	0,01	<b>3,46E-07</b>
Quarteirão Brasileiro	2,29E-02	0,01	0,1	0,5	0,01	<b>2,65E-07</b>
Sertão do Carangola	1,35E-03	0,7	0,7	0,7	0,1	<b>1,90E-03</b>
Quitandinha	8,34E-02	0,5	0,1	0,9	0,01	<b>9,19E-04</b>
Retiro	5,11E-02	0,1	0,7	0,01	0,5	<b>1,41E-04</b>
Rocio	1,35E-03	0,7	0,7	0,1	0,7	<b>1,90E-03</b>
São Sebastião	4,44E-02	0,01	0,1	0,5	0,01	<b>5,27E-07</b>
Siméria	8,08E-03	0,1	0,01	0,1	0,01	<b>1,03E-08</b>
Valparaíso	4,58E-02	0,9	0,01	0,5	0,1	<b>4,84E-04</b>

A variação de cores indica valores de perigo (susceptibilidade) calculadas em cada exemplo. As faixas foram definidas como: Muito alto (roxo), alta (vermelho), médio (laranja) e baixo (preto).

Os resultados apresentados mostram bastante coerência com os valores atribuídos no julgamento das classes temáticas, conforme alguns comentários descritos a seguir:

- A declividade do terreno foi um dos parâmetros que mais influenciou os resultados. Pode-se notar que em todas nas regiões em que os valores de probabilidade deduzida são mais baixos (0,01) resultaram em valores na faixa de perigo baixo, com exceção da região do Bingen. Porém, observa-se que esta área encontra-se na linha de drenagem (0,1), caindo na faixa de perigo (médio);

- A associação de classes de solo raso (SRSR) e solo muito intemperizado (SSMI) na área urbana ou com faixas de declividade alta resultam em valores na faixa de perigo alto e muito alto;
- As probabilidades deduzidas associadas às linhas de drenagem no domínio das encostas, associados aos outros mapas temáticos, contribuem para o aumento do valor de perigo;
- A vegetação tem influência significativa quando a classe referente a área urbana estiver associada com a drenagem ou declividades acentuadas. Como, por exemplo, na região da Floresta onde o valor final ficou na faixa de perigo Muito Alto.

Portanto, é possível, através da combinação dos valores atribuídos a cada feição temática (probabilidades deduzidas) calcular o grau de perigo para uma determinada área. A partir do resultado do valor aplicado a cada tema e análise do terreno, pode-se saber qual é a característica preponderante do meio físico que contribui para a definição do grau de perigo (Muito Alto, Alto, Médio e Baixo).

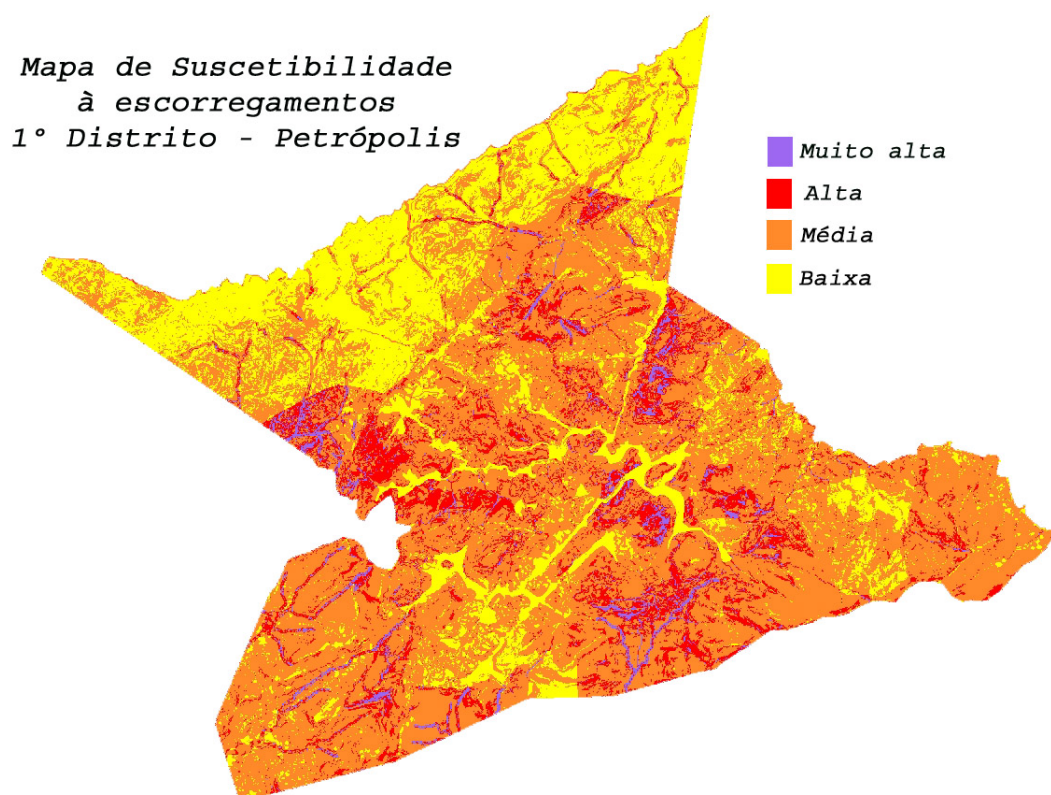
Diante destas análises, a Tabela 5.7 define os critérios para cada faixa de suscetibilidade, facilitando a interpretação dos resultados da análise.

**Tabela 5. 7** Critério de avaliação de perigo para as faixas qualitativa e quantitativas de suscetibilidade.

FAIXA DE PERIGO	PROBABILIDADE ATUALIZADA	CARACTERÍSTICAS DOS TERRENOS
BAIXO	$p < 10^{-5}$	Declividades inferiores a 30°, ausência de linhas de drenagem, presença de cobertura vegetal, sedimentos inconsolidados, alteração de rocha e solos saprolíticos pouco intemperizados.
MÉDIO	$10^{-5} < p < 10^{-3}$	Declividades até 45°, solos saprolíticos muito intemperizados e solos rasos, presença de linhas de drenagem natural áreas urbanizadas (pouca vegetação).
ALTO	$10^{-3} < p < 10^{-2}$	Declividades acima de 45°, solos saprolíticos muito intemperizados, solos rasos e afloramento de rocha presença de drenagem em encosta, áreas urbanizadas e vegetação rala.
MUITO ALTO	$p > 10^{-2}$	Declividades acima de 45°, solos rasos e afloramentos rocha, linhas de drenagem em encosta, área urbanizada e vegetação rala.

Com isso, nota-se que a análise quantitativa é extremamente vantajosa, pois estes dados possibilitam a avaliação quantitativa do perigo e facilitam nas tomadas de decisão para mitigação do risco.

A Figura 5.6 apresenta o Mapa Quantitativo de Suscetibilidade que expressa graficamente de forma qualitativa a tendência de ocorrer escorregamentos de terra no 1º Distrito de Petrópolis.



**Figura 5. 6** Mapa Quantitativo de Suscetibilidade ou de Perigo



### 5.3 Mapa Quantitativo de Risco

As situações de risco e suas conseqüências potenciais são documentadas neste mapa. As conseqüências associadas a uma situação de risco podem afetar vidas humanas, produzir efeitos econômicos ou causar mudanças ambientais. Neste sentido, a situação de risco de uma área em particular, da superfície de uma encosta, dependerá do uso que se fizer do solo e das condições em que se encontra.

De acordo com o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006), o mapeamento de risco pode ser realizado em dois níveis de detalhes distintos: o zoneamento (ou setorização) de risco e o cadastramento de risco. No zoneamento de risco são delimitados setores nos quais, em geral, encontram-se instaladas várias moradias. Desta forma, admite-se que todas as moradias do setor se encontram em um mesmo grau de risco, como exemplo risco alto. Entretanto, em meio às moradias deste setor pode haver algumas edificações que não apresentam situação de risco tão elevada. Assim pode-se considerar que, no zoneamento de risco, há uma generalização.

Portanto, o Mapa Quantitativo de Risco proposto foi um mapa de setorização, ou seja, houve uma generalização de áreas de risco o que significa que possam existir casos em que a classificação do mapa não corresponde à situação do terreno em particular. Nestes casos será necessário um cadastramento posterior das áreas de risco com objetivo de verificar a condição de risco do local.

Conforme já mencionado, o risco é a combinação dos mapas de suscetibilidade com as informações de vulnerabilidade. A palavra vulnerabilidade significa estar vulnerável a alguma condição ou evento. É um termo usado para expressar o grau de relação que existe entre um elemento no meio ambiente e um determinado evento que sobrevindo, poderá afetar a comunidade do elemento, em condições normais.

Os aspectos sócio-econômicos de uma determinada região e o tempo de permanência de um indivíduo em sua residência afetam ou contribuem para a análise do padrão de vulnerabilidade. Os padrões construtivos e nível econômico da população são fatores que influenciam diretamente a análise de risco devido à condição de perigo que estas proporcionam para os escorregamentos.

### 5.3.1 Vulnerabilidades das Construções

Os dados obtidos para geração desses mapas foram extraídos do banco de dados georreferenciados elaborado pelo Instituto de Ecologia e Tecnologia de Meio Ambiente – ECOTEMA, através de um convênio com Fundo Nacional do Meio Ambiente – Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de produzir o Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis e dados dos setores censitários (IBGE, 2000).

Os dados dos setores censitários do IBGE permitem a análise e diagnóstico, podendo-se identificar a qualidade e quantidade de domicílios, renda familiar, padrões construtivos, entre outros. A partir desses dados as informações foram georreferenciadas formando os mapas de padrões construtivos.

#### Mapa de padrões construtivos (ECOTEMA, 2001)

Para elaboração deste mapa foi realizado um diagnóstico da zona urbana, resultado da observação dos tipos de habitação existentes na região, refletindo assim a qualidade de moradia dos seus habitantes. O diagnóstico permitiu o mapeamento da área, retratando a incidência dos padrões construtivos determinados.

Os tipos de habitações encontradas refletem as necessidades naturais de abrigo do povo que nelas vive e a tecnologia disponível. O método construtivo aplicado, como em muitas outras regiões, está diretamente ligado à sua realidade sócio-econômica. Esta relação implica no uso de material impróprio e na utilização de técnicas não adequadas à região.

Critérios, utilizados para avaliar a capacidade de oferecer condições de conforto e segurança ao usuário e à durabilidade destas construções:

- **Estrutura** - existência ou não de estrutura, o material empregado e o grau provável de assistência recebida em sua execução;
- **Acabamento** – refere-se aos elementos externos (cobertura, revestimento, esquadrias, etc.), que contribuem para avaliação da qualidade da construção, ou seja, durabilidade e estado de conservação;

- **Tipologia urbana** – avalia a implantação da construção às características urbanas do local. Tais como a adequação aos parâmetros legais, forma geométrica dos lotes e o uso predominante da região.

As classes de padrões construtivos são definidas a partir destes critérios:

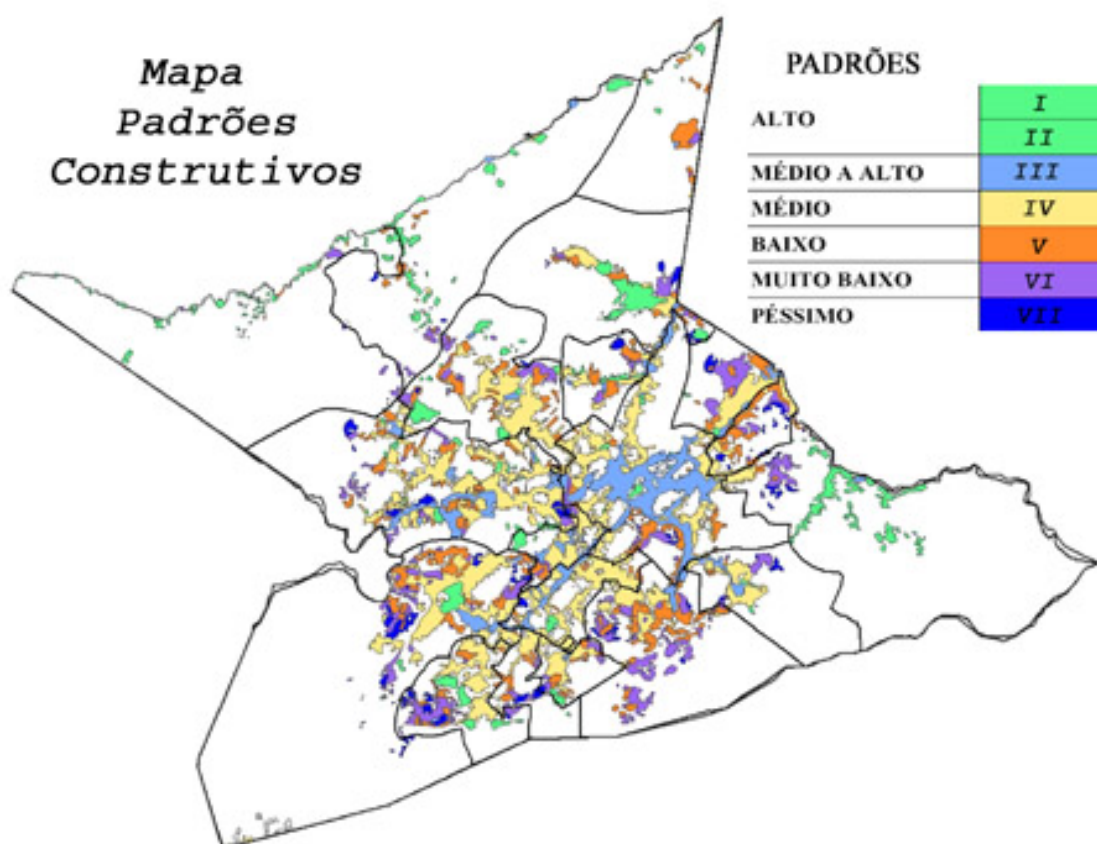
- I. Construções bem estruturadas, normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, ocupando lotes com formação ordenada e baixa taxa de ocupação;
- II. Construções providas de estruturas executadas normalmente sem controle tecnológico com acabamento de nível baixo, ou muito baixo, ocupando grandes propriedades urbanas ou rurais com baixa taxa de ocupação localizadas em áreas com grau de adensamento baixo, de uso normalmente residencial e/ou rural;
- III. Construções bem estruturadas, seguidas de acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, ocupando lotes da área central com formação ordenada e taxa de ocupação elevada, adensamento vertical;
- IV. Construções bem estruturadas, normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano;
- V. Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano;
- VI. Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo ou sem acabamento, ocupando lotes com formação desordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano;
- VII. Construção desprovida de estrutura ou provida de estrutura precária, em sua maioria sem acabamento, formação desordenada de lotes, localização de

áreas isoladas, formando aglomeração de construções, normalmente desprovidas, ou providas indevidamente, de serviços urbanos.

A partir destas características, os aglomerados urbanos foram classificados de acordo os padrões construtivos: alto, médio a alto, médio, baixo, muito baixo e péssimo. A cada uma destas feições foi atribuída uma probabilidade deduzida, resumida na Tabela 5.8. A Figura 5.7 apresenta o mapa de padrões construtivos.

**Tabela 5.8** Valores de probabilidades deduzidas para os padrões construtivos

PADRÃO	CLASSES	PROBABILIDADE DEDUZIDA
Alto	I	0,01
	II	0,01
Médio a Alto	III	0,1
Médio	IV	0,1
Baixo	V	0,5
Muito baixo	VI	0,7
Péssimo	VII	0,9



**Figura 5.7** Mapa de Padrões Construtivos – ECOTEMA, 2001.

### 5.3.2 Vulnerabilidade Temporal

A vulnerabilidade temporal ( $V_t$ ), já mencionada na Equação 5.9, está associada ao tempo de permanência dos indivíduos em sua residência, escola, indústria, comércio, prédio público, etc, e ao período do dia que os escorregamentos ocorrem com maior frequência.

OLIVEIRA, 2004, apresentou a Tabela 5.9 com estimativas de vulnerabilidade temporal para uma família padrão que é constituída por 6 (seis) indivíduos, um casal de adultos (ambos com emprego fora de casa), 3 (três) menores em idade escolar e 1 (um) idoso.

**Tabela 5.9** Estimativa da parcela de vulnerabilidade correspondente à probabilidade temporal para uma família padrão (OLIVEIRA,2004).

<b>VULNERABILIDADE TEMPORAL (<math>V_T</math>)</b>	
<b>CONSIDERAÇÕES</b>	<b><math>V_t</math></b>
Probabilidade dos indivíduos adultos estarem em casa	0,5
Probabilidade dos menores em idade escolar estar na residência em dias úteis	0,6
Probabilidade de o idoso estar na residência em dias úteis	1,0
Probabilidade dos adultos e menores estarem na residência aos sábados e domingos	0,7
Probabilidade do idoso estar na residência aos sábados, domingos e feriados	0,9
Probabilidade da família estar na residência ao longo de um ano.	0,60-0,70

A vulnerabilidade das construções envolve o conhecimento da interação entre um dado escorregamento e os elementos afetados. Portanto, para a análise do grau de vulnerabilidade, devem-se considerar os danos provocados às residências em função do impacto de fragmentos de rocha e detritos de escorregamento ou corridas, em função do tipo de estrutura da residência, ou seja, o padrão e as condições em que foram construídas e o tempo de permanência de um indivíduo estar na residência.

Para o cálculo da vulnerabilidade temporal nas diversas situações da análise de Risco, será adotado um valor fixo de 0,6 que corresponde à probabilidade do indivíduo estar em sua residência, construída em estrutura de concreto armado e alvenaria, no momento do acidente, considerando neste caso a família padrão como referência.

### 5.3.3 Integração Temática do Mapa de Risco

A partir dos dados de vulnerabilidade temporal e integração dos Mapas de suscetibilidade e Padrões Construtivos o Mapa de Risco Individual é gerado aplicando-se um algoritmo equivalente a Equação 2.3.

O **risco individual** anual pode ser definido como a probabilidade de um indivíduo identificável, que vive num setor de risco, encontrar-se exposto às conseqüências de uma situação de risco (queda de fragmentos de rocha, escorregamentos, corridas de detritos, enchentes ou inundações) vir a se tornar vítima fatal de um acidente. Neste caso o valor de “E” na Equação de risco 2.3 é igual à unidade.

O **risco específico** é o produto da probabilidade de ocorrência de uma dada situação de risco pela vulnerabilidade de um dado elemento na área de risco.

O **risco total** é o número esperado de vidas perdidas, pessoas feridas, danos à propriedade e interrupção de atividades econômicas. É o produto do risco específico e dos elementos em risco para o conjunto das situações de risco de escorregamentos em uma área de risco em estudo. Neste caso o valor de E equivale a população que habita a área de risco.

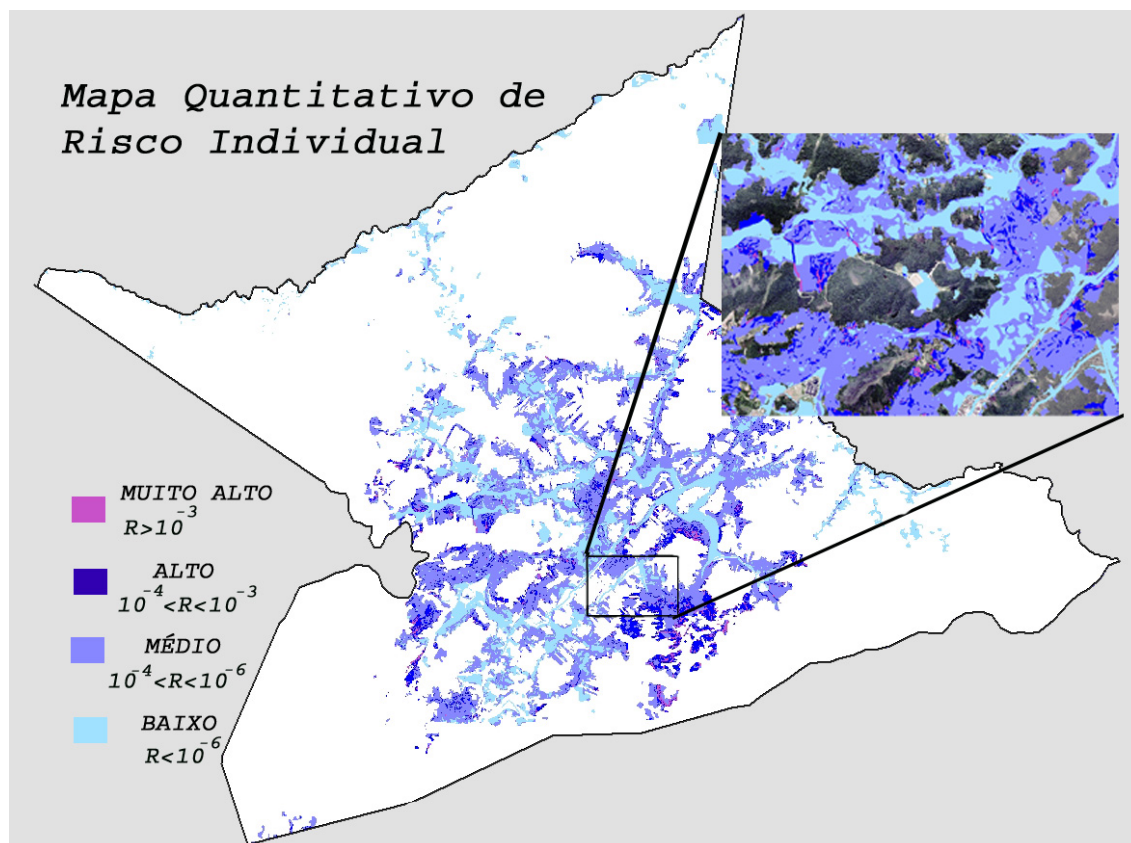
A Tabela 5.10 exemplifica o valor calculado para um ponto (25m<sup>2</sup>) do mapa de risco que expressa a probabilidade anual de um indivíduo ser atingido por um escorregamento, dada às características atribuídas para aquele local.

**Tabela 5. 10** Exemplo do cálculo do risco individual anual para cada região atribuindo o valor constante de 0,6 à vulnerabilidade temporal.

REGIÕES	POSTERIOR	PADRÃO CONSTRUTIVO	RISCO ANUAL
Alto da Serra	1,91E-06	0,9	1,03E-06
Bingen	1,41E-04	0,5	4,24E-05
Castelânea	1,63E-02	0,7	6,84E-03
Caxambú	1,80E-04	0,1	1,08E-05
Centro	2,65E-02	0,9	1,43E-02
Estrada da Saudade	8,00E-07	0,1	4,80E-08
Fazenda Inglesa	3,18E-05	0,5	9,53E-06
Floresta	1,27E-02	0,1	7,59E-04
Independência	3,06E-03	0,9	1,65E-03
Morin	3,08E-04	0,9	1,66E-04
Mosela	3,46E-07	0,7	1,45E-07
Quarteirão Brasileiro	2,65E-07	0,1	1,59E-08
Sertão do Carangola	1,90E-03	0,01	1,14E-05
Quitandinha	9,19E-04	0,5	2,76E-04
Retiro	1,41E-04	0,5	4,23E-05
Rocio	1,90E-03	0,7	7,97E-04
São Sebastião	5,27E-07	0,9	2,85E-07
Siméria	1,03E-08	0,5	3,08E-09
Valparaíso	4,84E-04	0,9	2,61E-04

As cores representam o grau de risco classificado como: muito-alto (rosa), alto (azul escuro), médio (azul claro) e baixo (preto). Para análise detalhada destes resultados deverão ser considerados os valores atribuídos para cada feição temática e vulnerabilidade das construções.

Esta teoria permitiu a construção do Mapa Quantitativo de Risco Individual, ilustrado na Figura 5.8 que exhibe um detalhe do mapa, com a ortofoto ao fundo. Observa-se que as manchas cobriram toda a área ocupada, ou seja, somente é possível visualizar os topos de morros, o que diferencia do mapa de suscetibilidade apresentado na Figura 5.4.



**Figura 5.8** Mapa Quantitativo de Risco Individual.

A partir da probabilidade calculada para o risco individual anual pode-se calcular a probabilidade total anual de uma determinada região. O risco total anual de indivíduos de uma localidade pode ser calculado pela multiplicação da população em risco pela probabilidade individual anual em cada localidade. A Tabela 5.11 mostra uma estimativa deste cálculo, considerando que 1.000 pessoas em risco.

**Tabela 5.11** Estimativa da probabilidade total de pessoas em risco, considerando para cada região o valor constante de 1000 habitantes.

REGIÕES	RISCO ANUAL	RISCO REGIONAL ANUAL
Alto da Serra	1,03E-06	1,03E-03
Bingen	4,24E-05	4,24E-02
Caxambú	1,08E-05	1,08E-02
Centro	1,43E-02	1,43E+00
Estrada da Saudade	4,80E-08	4,80E-05
Fazenda Inglesa	7,49E-04	7,49E-01
Floresta	7,59E-04	7,59E-01



Portanto, o modelo quantitativo apresentado permite também identificar e quantificar uma população em risco.

#### 5.3.4 Critérios para a Avaliação de Risco

A Avaliação de Risco de deflagração, reativação ou aceleração de escorregamentos em encostas, enchentes e inundações constitui um processo iterativo que, a partir dos resultados da Análise de Risco, faz uma estimativa de risco. Este é avaliado confrontando-se com os critérios de risco aceitável e tolerável. Desta forma existe a necessidade de se estabelecer critérios de risco aceitável e tolerável. Estes critérios, da mesma forma que o risco estimado na Análise de Risco, deve ser expresso em termos de perdas de vidas, financeiras e sócio-ambientais ao longo de um dado período de tempo.

O processo de Avaliação de Risco deve envolver os proprietários de bens no setor de risco, o agente regulador (Poder Público: Governos Federal, Estadual e Municipal), profissionais consultores e, em alguns casos, a sociedade como um todo, ou no mínimo a população afetada pela situação de risco.

É desejável, quando não essencial, que o analista de risco esteja envolvido ao longo de todo o processo de gerenciamento de risco, uma vez que este sendo um processo iterativo requer a avaliação da sensibilidade dos cálculos das estimativas de risco e das variáveis assumidas ao longo do desenvolvimento das medidas mitigadoras propostas.

Segundo FELL & HARTFORD (1997) existe um nível de aceitabilidade e tolerância de riscos de movimentos de massa em todas as regiões onde a instabilidade de encostas se apresenta como um problema. Infelizmente, raramente, quando nunca, existe indicação qualquer de um nível de risco, realmente considerado tolerável. A Análise de Risco pode ser empreendida, embora com dificuldade, sem requerer a definição do que é risco tolerável, uma vez que tal definição se faz necessária para o Gerenciamento do Risco.

O critério de **risco individual aceitável** define a probabilidade anual de fatalidade que um indivíduo convive no trabalho e na vida cotidiana. Para esta categoria de risco a sociedade não faz nenhuma menção a respeito do gerenciamento de risco e nem considera justificáveis gastos adicionais para a sua mitigação. Constitui o limite inferior numa escala de risco.

O critério de **risco individual tolerável** constitui a probabilidade anual de fatalidade abaixo da qual um indivíduo estaria disposto a conviver desde que sejam garantidos certos valores essenciais e haja confiança que estes estejam sendo corretamente controlados, monitorados e que futuramente, na medida do possível, sejam reduzidos. Corresponde ao limite superior numa escala de risco.

Os riscos individuais compreendidos entre o risco aceitável e o risco tolerável caracterizam situação de risco cujo incremento de risco deve ser evitado tanto quanto for razoavelmente possível. Isto é, deve se aplicar o seguinte princípio: o risco deve ser *“tão baixo quanto for razoavelmente possível”* (que vem da expressão em inglês *“As Low as Reasonably Practible”*, cuja sigla é ALARP).

A Tabela 5.12 descreve os critérios para determinação do grau de probabilidade de ocorrência do processo de risco estabelecidos por documentos do Ministério da Cidade e nos trabalhos realizados pelo IPT e Unesp. Os valores das faixas de risco individual, aceitável, tolerável e de faixa ALARP para o Município de Petrópolis são os já citados na Figura 5.1.

**Tabela 5. 12** Associação de critérios de risco qualitativos (Ministério das Cidades) e quantitativos (OLIVEIRA, 2004).

GRAU DE PROBABILIDADE	FAIXA RISCO INDIVIDUAL	DESCRIÇÃO
BAIXO OU SEM RISCO	$Ri < 10^{-6}$	<p>* Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de <b>baixa potencialidade</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>* Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e margens de drenagens.</p>
MÉDIO (RISCO ACEITÁVEL)	$10^{-6} < Ri < 10^{-4}$	<p>* É a condição menos crítica.</p> <p>* Mantidas as condições existentes, <b>não se espera</b> a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso.</p> <p>* Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de <b>baixa potencialidade</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p>
ALTO (FAIXA ALARP)	$10^{-4} < Ri < 10^{-3}$	<p>* Observa-se a presença de <b>alguma(s) evidência(s)</b> de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém <b>incipiente(s)</b>.</p> <p>* Mantidas as condições existentes, <b>é reduzida a possibilidade</b> de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.</p> <p>* Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de <b>alta potencialidade</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>* Observa-se a presença de <b>significativa(s) evidência(s)</b> de instabilidade (trincas, no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.)</p> <p>* Mantidas as condições existentes, <b>é perfeitamente possível</b> a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.</p>
MUITO ALTO (RISCO INTOLERÁVEL)	$Ri < 10^{-3}$	<p>* Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de <b>alta potencialidade</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>* As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego, etc.) <b>São expressivas</b> e estão presentes em <b>grande número e/ou magnitude</b>.</p> <p>* É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.</p>

#### **5.4 Estudos de Casos**

A fim de validar todo o modelo metodológico proposto nesta pesquisa compararam-se os resultados obtidos com os mapas de Suscetibilidade de Escorregamentos e Risco confeccionados com áreas de risco identificadas através do Inventário de Acidentes e Situações de Risco (OLIVEIRA, 2004).

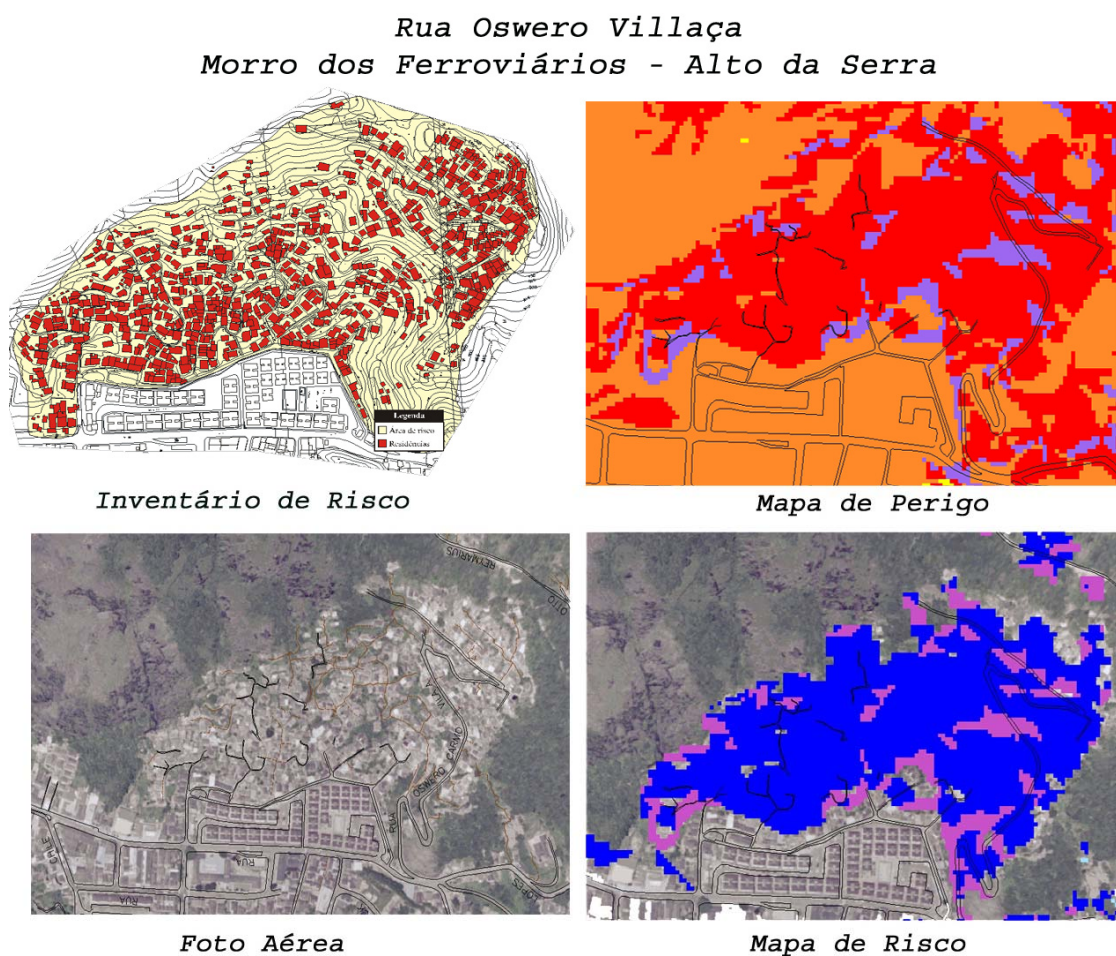
Na pesquisa realizada por Oliveira (2004) foi estimado um risco médio para uma determinada localidade definida previamente como sendo área de risco com base nos dados do inventário e experiência do autor. Para cada localidade foi calculado um único valor de probabilidade para quantificação do risco.

Para averigação dos resultados do modelo apresentado, empregando Sistemas de Informações Geográficas a partir da integração das características do meio-físico, foram selecionadas seis áreas risco alto e muito alto, que foram comparadas e ratificadas, com as localidade definidas empiricamente como de risco no Inventário de Acidentes.

### 5.4.1 Rua Oswero Vilaça – Alto da Serra

A Rua Oswero Vilaça localiza-se na Região do Alto da Serra, localidade conhecida como morro dos Ferroviários. Trata-se de área bastante densa, ocupando o sopé de uma encosta rochosa e padrão construtivo precário.

A Figura 5.9 mostra a comparação da delimitação da área definida no inventário e a mancha resultante no Mapa de Perigo e no Mapa Quantitativo de Risco.



**Figura 5.9** Análise das situações de perigo e risco no Morro dos Ferroviários – Alto da Serra

Em análise aos valores apresentados na Tabela 5.13, e através do conhecimento físico da área, foto interpretação nos mapas de estado natural e padrões construtivos, pôde-se definir as possíveis causas e apresentação de soluções possíveis para diminuição do grau de risco.

**Tabela 5. 13** Análise quantitativa de Risco da Rua Oswero Villaça – Alto da Serra.

ANÁLISE QUANTITATIVA DA SITUAÇÃO DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS			
	PROBABILIDADE DEDUZIDA	CLASSE	SITUAÇÃO DO TERRENO
DRENAGEM	0,01	-	ausência de drenagem
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	0,9	SRSR	Solo Raso Sobre Rocha
VEGETAÇÃO	0,5	au	área urbana
DECLIVIDADE	0,1	entre 10° e 30°	sujeito a rastejos e escorregamentos
PADRÃO CONSTRUTIVO	0,5	BAIXO	precárias as condições de implantação
<b>PERIGO</b>	<b>1,67E-03</b>	Grau de perigo Alto (predominante)	
<b>RISCO ANUAL</b>	<b>5,01E-04</b>	Grau de risco Alto (predominante)	

A partir destes valores, pôde-se deduzir que os fatores responsáveis pela intensificação do perigo é associação da existência de terrenos de solo raso sobre rocha, com área urbana e padrão construtivo baixo.

Para os parâmetros de área urbana e padrão construtivo baixo foi feita uma simulação considerando, como exemplo, a redução de 50% dos valores atribuídos no julgamento, conforme Tabela 5.14.

**Tabela 5. 14** Simulação quantitativa para mitigação do risco na Rua Oswero Villaça – Alto da Serra.

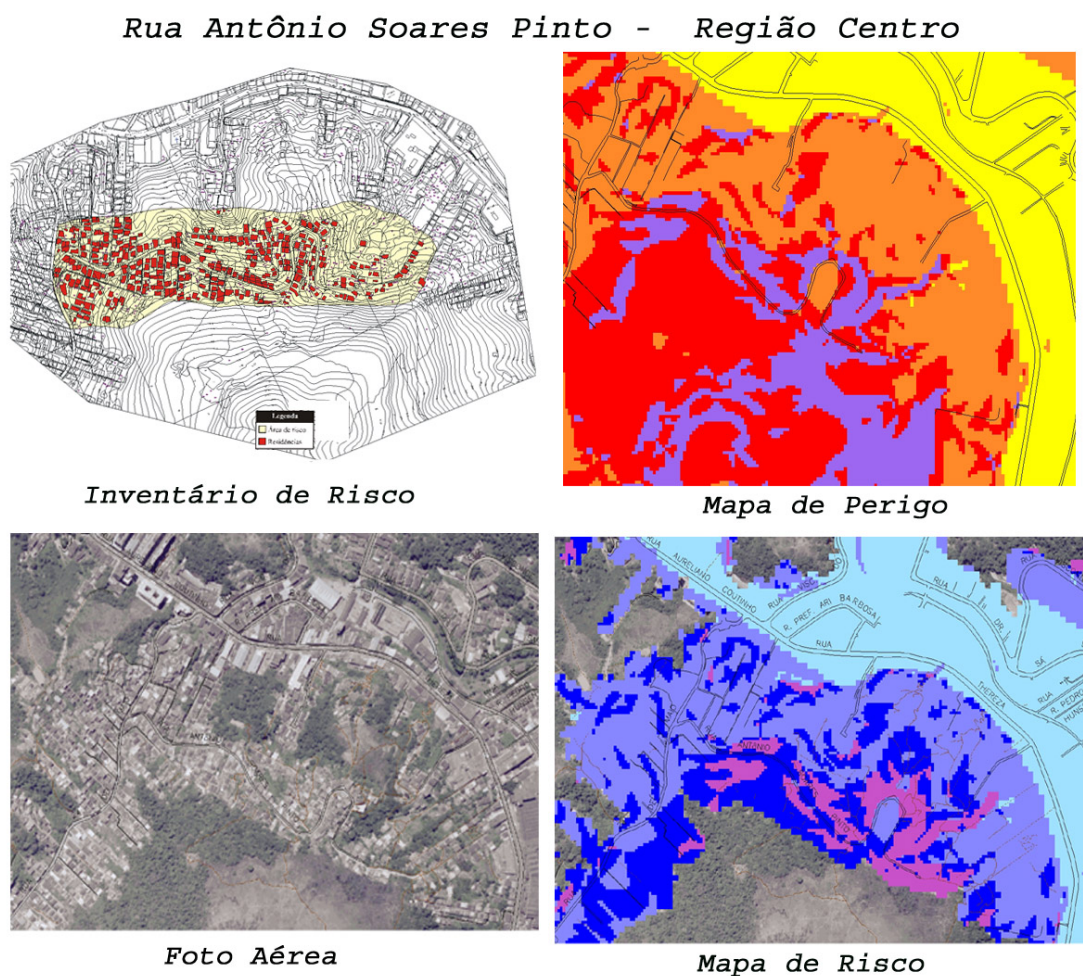
PERIGO	RISCO INDIVIDUAL	GRAU DE RISCO INDIVIDUAL	SIMULAÇÃO
<b>1,67E-03</b>	<b>5,01E-04</b>	ALTO	Situação encontrada
<b>5,57E-04</b>	<b>8,36E-05</b>	MÉDIO	Melhorias nas condições urbanas e construções

O resultado demonstrou uma redução nos graus de perigo e risco o que confere ao local uma solução viável para a mitigação do risco, sendo estas: melhoria das condições urbanas (drenagem, contenções e reflorestamento) e melhorias das construções (diminuição da vulnerabilidade). Para isso será necessária uma avaliação mais detalhada da área de forma que se possam quantificar essas melhorias sugeridas.

Para este caso devem ser considerados os possíveis impactos sobre as residências provenientes da encosta à montante. Devendo, para isso, serem adotadas medidas visando a minimização destes impactos.

#### 5.4.2 Rua Antônio Soares Pinto

A Rua Antônio Soares Pinto tem início na Rua 24 de Maio no Centro do 1º Distrito. Desenvolve-se a meia encosta, possuindo várias servidões ortogonais ligando a Rua Teresa, localizada a jusante.



**Figura 5.10** Análise das situações de perigo e risco na Rua Antônio Soares Pinto – Centro.

Este caso é bastante similar ao anterior, diferenciando somente a declividade, demonstrado na Tabela 5.15. Percebe-se que o grau de situação de risco passa para a faixa de risco Muito Alto, demonstrando a influência da declividade conforme já mencionado anteriormente.

Para esta situação os fatores responsáveis pela intensificação do perigo são atribuídos às características do terreno, declividade, área urbana e do risco às condições das construções.

**Tabela 5. 15** Análise quantitativa de Risco da Rua Antônio Soares Pinto - Centro

ANÁLISE DE SITUAÇÃO DE PERIGO DE ESCORREGAMENTOS			
	PROBABILIDADE DEDUZIDA	CLASSE	SITUAÇÃO DO TERRENO
DRENAGEM	0,01	-	ausência de drenagem
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	0,9	SRSR	Solo Raso Sobre Rocha
VEGETAÇÃO	0,5	au	área urbana
DECLIVIDADE	0,5	entre 30° e 45°	escorregamentos
PADRÃO CONSTRUTIVO	0,5	BAIXO	precárias as condições de implantação
<b>PERIGO</b>	<b>1,48 x 10<sup>-2</sup></b>	Grau de perigo Muito Alto (predominante)	
<b>RISCO ANUAL</b>	<b>1,50 x 10<sup>-3</sup></b>	Grau de risco Muito Alto (predominante)	

Considerando a mesma abordagem feita anteriormente, foi feito uma simulação com a redução de 50% dos valores atribuídos na probabilidade deduzida no julgamento para o parâmetro de área urbana e padrões construtivos. De acordo com os resultados descritos na Tabela 5.16.o grau de risco passou de muito alto para alto.

**Tabela 5. 16** Simulação quantitativa para mitigação dos riscos na Rua Antônio Soares Pinto -Centro

PERIGO	RISCO INDIVIDUAL	GRAU DE RISCO INDIVIDUAL	SIMULAÇÃO
1,48E-02	1,50E-03	MUITO ALTO	Situação encontrada
4,99E-03	7,49E-04	ALTO	Melhorias nas condições urbanas e construções

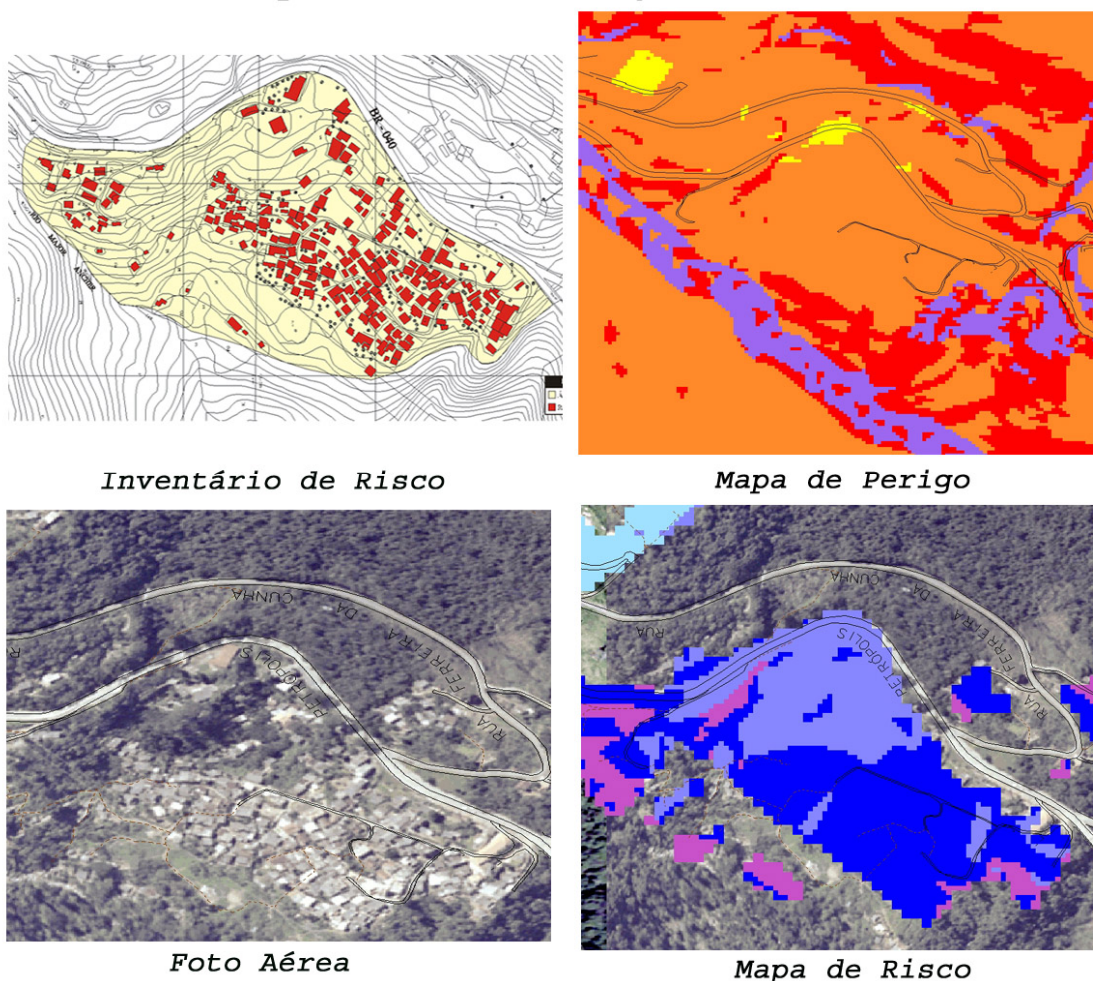
O resultado demonstra que mesmo adotando-se medidas de melhoria para a localidade, esta ainda estaria em situação de risco alto. Por tratar-se de área já registrada anteriormente como de risco, pode ser considerada uma área extremamente crítica do ponto de vista de ocupação. As moradias que se encontram nesta área sempre estarão sujeitas ao risco de escorregamentos ou a risco de serem atingidas por blocos ou detritos provenientes da encosta de montante.



### 5.4.3 Bairro Duques – BR-040 – Região Quitandinha

O Duques é um Bairro, localizado a meia encosta a jusante da BR-040. O terreno é caracteristicamente um talus-colúvio, possuindo muitos fragmentos de rocha em situação instável, muitos deles, oriundos do desmonte de rocha para a implantação da rodovia. Em alguns pontos a drenagem da estrada foi obstruída e desviada de forma precária, inclusive observa-se em eventos de chuvas intensas o alagamento da rodovia neste trecho, em razão deste desvios. A área em questão confronta com a REBIO do Tingüá e a área de preservação permanente, está, parcialmente ocupada.

#### *Bairro Duques - BR040 - Região Quitandinha*



**Figura 5.11** Análise das situações de perigo e risco no Bairro Duques - Quitandinha

Esta é uma área bastante complexa, do ponto de vista de ocupação, face aos diversos fatores que influenciam a localidade, conforme relatado anteriormente e na avaliação desta análise.

Como se pode observar, a condição dos mapas indica resultados de situação de perigo médio e risco médio e alto predominantemente. Entretanto, esta situação encontra-se confinada em áreas de perigo alto e riscos muito altos. Esta condição coincide com as ocupações localizadas na área de drenagem e terrenos próximos da estrada, onde a declividade é mais elevada.

Diante deste quadro e através dos valores de probabilidades deduzidas (Tabela 5.17) para cada classe, pôde-se fazer uma avaliação mais acurada da questão.

**Tabela 5. 17** Análise quantitativa de Risco do Bairro Duques- Quitandinha.

Análise de situação de Risco de Escorregamentos			
	PROBABILIDADE DEDUZIDA	CLASSE	Situação do Terreno
DRENAGEM	0,01-0,1	sim	presença de drenagem
GEOLOGICO-GEOTÉCNICO	0,9	SRSR	Solo Raso Sobre Rocha
VEGETAÇÃO	0,1	au- flierb	área urbana - vegetação estágio inicial
DECLIVIDADE	0,1	entre 10° e 30°	rastejos e escorregamentos
PADRÃO CONSTRUTIVO	0,7	MUITO BAIXO	muito precárias as condições de implantação
<b>PERIGO</b>	<b>1,01E-04</b>	Grau de Perigo Médio (predominante)	
<b>RISCO ANUAL</b>	<b>4,23E-05</b>	Grau de Risco Médio (predominante)	

Aparentemente a situação é confortável do ponto de vista qualitativo. Porém, os valores mostram uma situação diferente, a saber:

- 1) Embora o perigo esteja dentro da faixa de perigo médio, o valor indica que está bem próximo da faixa de perigo alto;
- 2) Os fatores preponderantes para a classificação desta condição foram a presença de algum tipo de vegetação na área. A presença de linha de drenagem também contribuiu para aumentar o grau de risco apresentado em alguns pontos, devido às interferências no caminho natural das águas (ocupação por moradias, desmatamento, etc).
- 3) Nas áreas de risco Alto e Muito Alto foi a ocupação urbana na faixa marginal da drenagem que influenciou o resultado.

Após estas conclusões, foi feita uma simulação considerando duas situações possíveis e os resultados são resumidos na tabela 5.18.

**Tabela 5. 18** Simulação quantitativa para mitigação dos riscos no Bairro Duques – Região Quitandinha

Perigo	Risco Individual	Grau de Risco Individual	SIMULAÇÃO
1,01E-04	4,23E-05	MÉDIO	Situação encontrada
9,05E-04	3,80E-04	ALTO	Desmatamento e Adensamento
3,02E-04	9,06E-05	MÉDIO	Melhorias nas condições urbanas e construções

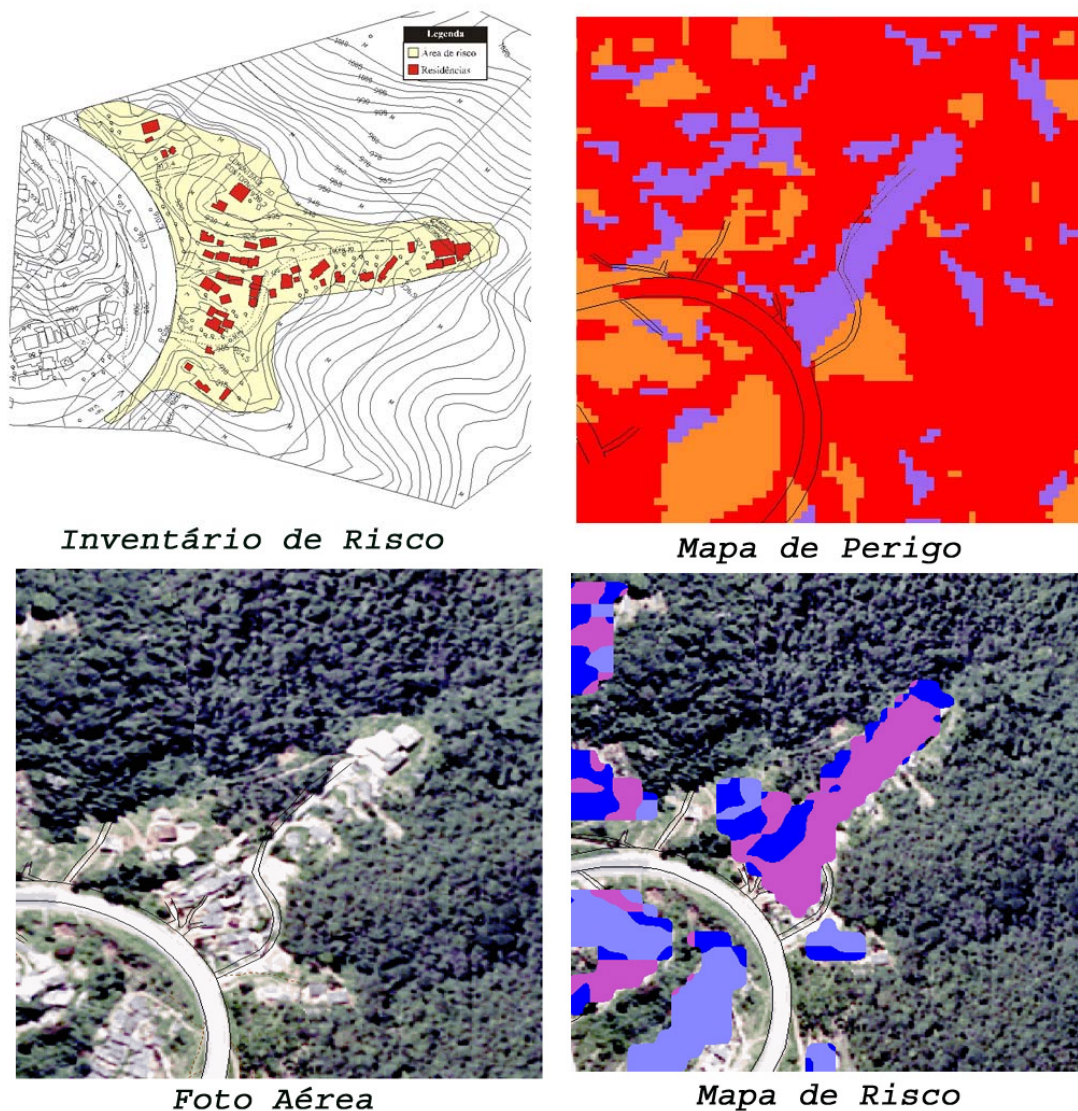
Os resultados demonstram que se houver desmatamento e adensamento ocupacional o Risco passará a ser Alto ou Muito Alto. Porém, se a ocupação urbana estiver controlada, e houver melhorias habitacionais e urbanas, as condições da área serão superiores a encontrada atualmente.

Cabe ressaltar que esta solução não considera as áreas de depósito e de possíveis impactos sobre as residências. Devendo, neste caso, também serem adotadas soluções para minimizar os possíveis impactos, provenientes das áreas a montante.

#### 5.4.4 Comunidade Estrada do Contorno II - Bingen

Trata-se de uma comunidade localizada próxima à margem da estrada BR-040. O padrão de residências é precário. As moradias foram implantadas desordenadamente localizadas em um pequeno vale, caracterizando um talvegue, com um córrego perene cujo entorno é constituído por uma vegetação densa.

#### *Comunidade Estrada do Contorno II - Bingen*



**Figura 5.12** Análise comparativa das situações de perigo e risco da Comunidade do Contorno II

A situação desta área é extremamente crítica do ponto de vista de ocupação urbana. A análise qualitativa demonstrada na comparação dos mapas confere ao local um grau de perigo e risco muito alto, donde se deduz que as condições físicas do terreno associadas

ao padrão construtivo levaram a esta classificação. A partir desta análise foi montada a Tabela 5.19 para realização de uma análise quantitativa de risco.

**Tabela 5. 19** Análise Quantitativa de Risco para a Comunidade do Contorno II - Bingen

<b>Análise de situação de Risco de Escorregamentos</b>			
	<b>PROBABILIDADE DEDUZIDA</b>	<b>CLASSE</b>	<b>Situação do Terreno</b>
DRENAGEM	0,1	sim	presença de drenagem
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	0,9	SRSR	Solo Raso Sobre Rocha
VEGETAÇÃO	0,1	aubd	área urbana baixa densidade
DECLIVIDADE	0,1 - 0,5	entre 10° e 30° e 30° e 45°	rastejos e escorregamentos
PADRÃO CONSTRUTIVO	0,7	MUITO BAIXO	muito precárias as condições de implantação
<b>PERIGO RISCO INDIVIDUAL</b>	<b>2,02E-02</b>	<b>8,50E-03</b>	<b>Grau de Perigo MUITO ALTO (predominante)</b>
			<b>Grau de Risco MUITO ALTO (predominante)</b>

Observa-se que a presença de drenagem associada com a declividade, tipo de solo contribuíram para o resultado apresentado. São todos fatores ambientais que dificultam o seu gerenciamento. Apesar disto foi feita uma simulação quantitativa para tentativa de uma solução de mitigação deste risco conforme demonstra a Tabela 5.20.

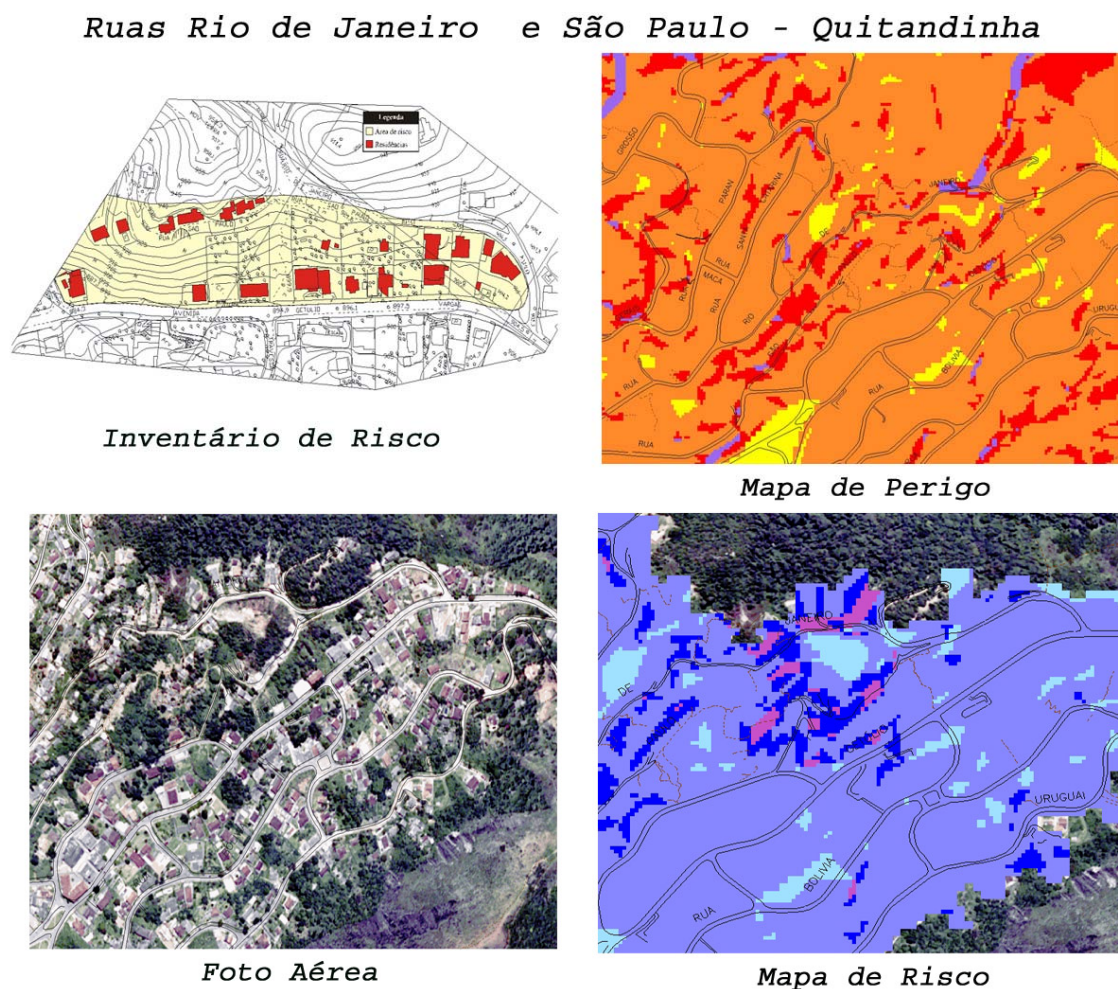
**Tabela 5. 20** Simulação para mitigação do Risco na Comunidade do Contorno II - Bingen

<b>Perigo</b>	<b>Risco Individual</b>	<b>Grau de Perigo e Risco Individual</b>	<b>SIMULAÇÃO</b>
<b>2,02E-02</b>	<b>8,50E-03</b>	<b>MUITO ALTO</b>	Situação encontrada
<b>1,87E-03</b>	<b>3,93E-04</b>	<b>ALTO</b>	Reflorestamento, controle de adensamento ocupacional e melhorias habitacionais.e urbanas

O resultado demonstra que mesmo adotando-se medidas de melhoria para a localidade, esta ainda estaria em situação de risco alto. Uma solução seria a verificação da viabilidade de se adotar medidas de monitoramento da área nas épocas de chuvas intensas ou adoção de medida mais extrema que seria a remoção das moradias.

#### 5.4.5 Rua Rio de Janeiro e Rua São Paulo- Quitandinha

O Bairro Quitandinha constantemente é cenário de escorregamentos. Vários são os relatos de acidentes nesta região. Os terrenos nesta área são constituídos de solos residuais e colúvios de matriz siltosa e silto arenosas, bastante suscetíveis a escorregamentos e processos erosivos. A ocupação caracteriza-se pela diversificação dos tipos de construção, e na forma em que estas encontram-se implantadas, ou seja, sem as condições geotécnicas mínimas necessárias para garantir a segurança da área. A Figura 5.13 ilustra as situações qualitativas da área.



**Figura 5.13** Análise comparativa das situações de perigo e risco na Rua Rio de Janeiro e São Paulo – Bairro Quitandinha.

A análise qualitativa apresentada nos mapas mostra que, embora seja uma área pouco densa do ponto de vista de ocupação urbana, o perigo e o risco se apresentam

predominantemente na faixa de grau Médio. Tendo em vista as características da área e por tratar-se de uma localidade bastante vulnerável para as ocorrências de escorregamentos foi montada a Tabela 5.21 para uma avaliação quantitativa mais detalhada da área em questão.

**Tabela 5. 21** Análise Quantitativa de Risco para a Rua Rio de Janeiro e Rua São Paulo Bairro Quitandinha

<b>Análise de situação de Risco de Escorregamentos</b>			
	<b>PROBABILIDADE DEDUZIDA</b>	<b>CLASSE</b>	<b>Situação do Terreno</b>
DRENAGEM	0,01	X	ausência de drenagem
GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO	0,7	SSMI	Solo saprolítico muito intemperizado
VEGETAÇÃO	0,5	Au	área urbana, com algum tipo de vegetação rasteira
DECLIVIDADE	0,1	entre 10° e 30°	rastejos e escorregamentos
PADRÃO CONSTRUTIVO	0,1	MÉDIO	precárias as condições de implantação
<b>PERIGO</b>	<b>2,35E-04</b>	Grau de Perigo Médio (predominante)	
<b>RISCO ANUAL</b>	<b>1,41E-05</b>	Grau de Risco Médio (predominante)	

Comparando os valores do grau de risco médio da Tabela 5.21 com o valor  $1,81 \times 10^{-5}$  calculado no Inventário de Acidentes para o Risco Individual, pôde-se validar o resultado atribuído pelo modelo para a área em questão, ou seja, valor dentro da faixa de risco Médio. Entretanto, face às características do local foi feita uma simulação quantitativa para se verificar a existência de soluções para mitigação dos problemas locais, demonstrado na Tabela 5.22.

**Tabela 5. 22** Simulação para mitigação do Risco na Rua de Janeiro e Rua São Paulo – Bairro Rio de Janeiro.

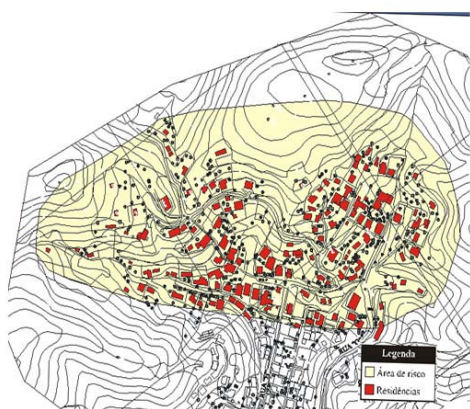
<b>Perigo</b>	<b>Risco Individual</b>	<b>Grau de Risco Individual</b>	<b>SIMULAÇÃO</b>
<b>2,35E-04</b>	<b>1,41E-05</b>	MÉDIO	Situação encontrada
<b>2,61E-05</b>	<b>7,83E-07</b>	<b>BAIXO</b>	Reflorestamento, melhoria das condições de moradias (implantação) e infra-estrutura urbana

Para obtenção destes resultados foi adotado, conforme casos anteriores, a redução de 50% nos valores das probabilidades deduzidas para a classe de vegetação e padrão construtivo. Conforme os valores apresentados, as sugestões para mitigação do risco nesta área seriam o reflorestamento, um maior controle no licenciamento das construções, principalmente nas obras de implantação (geotécnicas) e melhorias na infra-estrutura urbana. Este é um caso típico de situação de Risco causado por influências antrópicas. O gerenciamento de risco neste caso resolveria o problema.

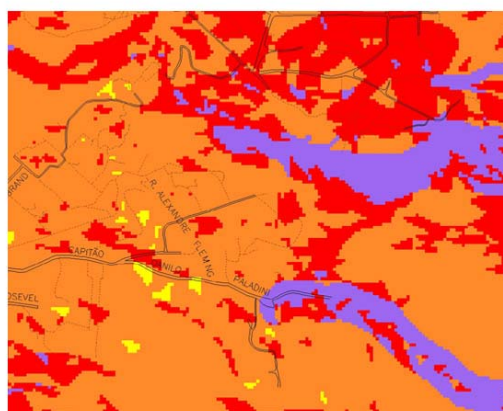
#### 5.4.6 Rua Capitão Danilo Paladini – São Sebastião

Esta localidade possui padrão de residências diversificado. As moradias e edificações próximas à rua, possuem padrão médio e à medida que estas se afastam o padrão vai decaindo até o padrão de construção muito baixo que localiza-se próximo ao sopé da encosta rochosa sendo esta última, a área mais crítica do ponto de vista dos escorregamentos conforme análise quantitativa, ilustrada na Figura 5.14. Estes terrenos são característicos de tálus-colúvio ao pé de uma escarpa rochosa.

##### *Rua Capitão Danilo Paladini- São Sebastião*



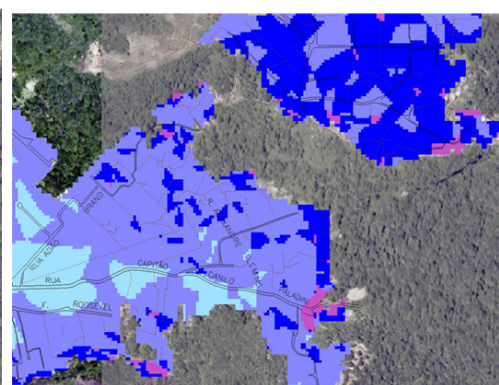
*Inventário de Risco*



*Mapa de Perigo*



*Foto Aérea*



*Mapa de Risco*



**Figura 5.14** Análise comparativa das situações de perigo e risco na Rua Capitão Danilo Paladini no Bairro São Sebastião.

De acordo com a análise qualitativa dos mapas de risco e de perigo, as áreas em questão não oferecem muita preocupação para o risco de escorregamentos, sendo observado o risco alto somente em alguns trechos. A Tabela 5.23 apresenta a análise quantitativa da área.

**Tabela 5.23** Análise Quantitativa de Risco para a Rua Capitão Danilo Paladini- São Sebastião.

<b>Análise de situação de Risco de Escorregamentos</b>			
	<b>PROBABILIDADE DEDUZIDA</b>	<b>CLASSE</b>	<b>Situação do Terreno</b>
DRENAGEM	0,1	x	ausência de drenagem
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	0,9	SSMI	Solo Saprolítico Muito Intemperizado
VEGETAÇÃO	0,5	au	área urbana - vegetação estágio inicial
DECLIVIDADE	0,1	entre 10° e 30°	rastejos e escorregamentos
PADRÃO CONSTRUTIVO	0,7	MUITO BAIXO	muito precárias as condições de implantação, nas áreas próximas ao sopé da encosta
<b>PERIGO</b>	<b>1,20E-04</b>	Grau de Perigo Médio (predominante)	
<b>RISCO ANUAL</b>	<b>5,04E-05</b>	Grau de Risco Médio (predominante)	

Os valores de perigo e risco encontrados na análise quantitativa confirmam a caracterização qualitativa dos respectivos mapas. Porém, para uma avaliação mais acurada e verificação de uma possível necessidade de intervenção, foi feita uma simulação, conforme os valores demonstrados na Tabela 5.24.

**Tabela 5.24** Simulação para mitigação do Risco na Rua Capitão Danilo Paladini- São Sebastião.

<b>Perigo</b>	<b>Risco Individual</b>	<b>Grau de Risco Individual</b>	<b>SIMULAÇÃO</b>
<b>1,20E-04</b>	<b>5,04E-05</b>	MÉDIO	Situação encontrada
<b>4,00E-05</b>	<b>8,40E-06</b>	MÉDIO	Melhorias nas condições urbanas e construções

Conforme análises anteriores, foi conferido uma redução de 50% aos atributos: área urbana e padrão construtivo. Consta-se que é uma área predominantemente de risco médio.

Agora, considerando o fato desta área estar registrada no inventário de acidentes como de incidência de escorregamentos, classificada como risco alto, foi feita uma comparação com o mapa de Suscetibilidade e pôde-se verificar a existência de uma grande extensão de área de risco alto e muito alto localizada a montante. Então, neste caso, os efeitos de possíveis impactos provenientes da encosta rochosa a montante devem ser considerados.

Esta análise se diferencia das demais porque as características da área não foram suficientes para classificar a área com risco alto e muito alto

## **5.5 Avaliação dos Resultados**

Esta avaliação descreve alguns resultados constatados com a aplicação da teoria Bayesiana e apresenta os produtos e informações adquiridos com a construção do banco de dados em ambiente SIG.

### **5.5.1 - Aplicação da Teoria Bayesiana**

A aplicação desta teoria consiste na atualização da probabilidade prévia dos dados previamente inventariados por Oliveira (2004), conforme já relatado no item anterior. A probabilidade posterior foi calculada através de um algoritmo decorrente do Teorema de Bayes.

O Teorema de Bayes permite a abordagem de dados sob vários aspectos. O que influencia a análise é o tipo de dado disponível e o objetivo que se pretende alcançar. O objetivo principal é de que a probabilidade posterior considere todas as características disponíveis do meio físico sob o ponto de vista de ocorrência de escorregamentos.

Uma das abordagens do Teorema de Bayes é aplicável quando se dispõe de dados (frequências) detalhados dos acidentes, ou seja, a obtenção de dados de probabilidades iniciais de ocorrência de deslizamentos em determinados tipos de solo, vegetação, declividade e drenagem. A interpretação final resulta no tipo de característica do meio físico em que ocorrem mais escorregamentos. Porém para isso, deveriam-se quantificar

pontualmente os escorregamentos, obterem-se dados detalhados (área atingida pelo acidente, características geotécnicas do solo, tipo de vegetação, etc) da área e precisão das características do meio físico.

Uma outra forma de análise consiste em utilizar as relações entre áreas para calcular os valores de  $p(E,I)$  que representa o fator de escala da equação. Porém para isto seriam necessários dados sobre a quantidade em áreas ( $m^2$ ) em que ocorreram os escorregamentos, o que também não foi possível devido a escassez de dados.

A impossibilidade de obtenção de dados de distribuição das características de acidentes ocorridos impede a utilização das abordagens mencionadas anteriormente. Portanto, conclui-se que a qualidade e quantidade de dados disponíveis são de extrema importância na avaliação dos resultados e no tipo de metodologia a ser empregada.

A abordagem empregada neste estudo, formulada anteriormente, resulta na e Equação 5.7. Através desta, a probabilidade condicional é o resultado da relação entre o produto das probabilidades deduzidas associadas a cada classe dos mapas temáticos de estado natural pela probabilidade inicial de ocorrência de escorregamentos, numerador da expressão. O denominador é definido pelo produto das probabilidades deduzidas adicionadas ao produto de seus complementos.

Todas essas abordagens podem ser facilmente geo-referenciadas e, posteriormente, analisadas de forma comparativa a fim de que seja aplicado o modelo que melhor se ajuste ao objetivo proposto.

### **5.5.2 – Banco de Dados**

O desenvolvimento desta pesquisa exigiu a construção de um banco de dados geo-referenciados. O banco de dados permitiu o processamento digital das imagens e reuniu todas as informações pesquisadas. A importância desses dados em meio digital estruturados em ambiente SIG fornece agilidade, eficiência e precisão para a realização de consultas, análises, recuperação e manipulação de informações para obtenção dos resultados finais.

O banco de dados geo-referenciado utilizou o software SPRING 4.2/INPE, para armazenamento e manipulação dos dados. Neste banco foi possível reunir todas as informações existentes, compiladas de maneira integrada, apresentadas a seguir:

- Seis mapas temáticos em estado natural que reproduzem as características físicas da área em estudo, sendo estes de: declividade, drenagem natural, domínio geológico e geotécnico, regiões, vegetação e padrões construtivos;
- Dois mapas, resultantes da integração de todas as informações obtidas: Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos e o Mapa Quantitativo de Risco Individual;
- Mosaico de ortofotos com abrangência total da área de estudo;
- Cartas topográficas na escala 1:10.000 e 1:2.000;
- Mapa de arruamento (rua, caminhos, viadutos e pontes);
- Mapa de hidrografia (rios, lagos, córregos e linhas de drenagem).

Com todas essas informações estruturadas, este banco constituiu uma ferramenta fundamental para avaliação de todas as situações de risco de forma quantitativa e qualitativa, principalmente as classificadas como risco alto e muito alto, dando, assim, suporte para o Gerenciamento de Risco nestas áreas.

Esta análise demonstrou que o modelo sugerido é bastante eficaz. A análise integrada dos fatores condicionantes é de extrema importância na avaliação quantitativa de risco. Entretanto, conforme já relatado anteriormente, este Mapa de Risco elaborado é apenas uma generalização das áreas de risco, ou seja, o fato de uma moradia estar em área de risco não significa que está efetivamente em risco e vice-versa.

Em uma etapa posterior, deverá ser realizado um trabalho de campo ao nível de detalhe, principalmente das áreas mais vulneráveis (risco Alto e risco Muito Alto), para o cadastramento das moradias que estão efetivamente em risco e a quantificação, se necessário, das medidas estruturais e não estruturais que deverão ser realizadas para mitigação do risco de escorregamentos nestas áreas.

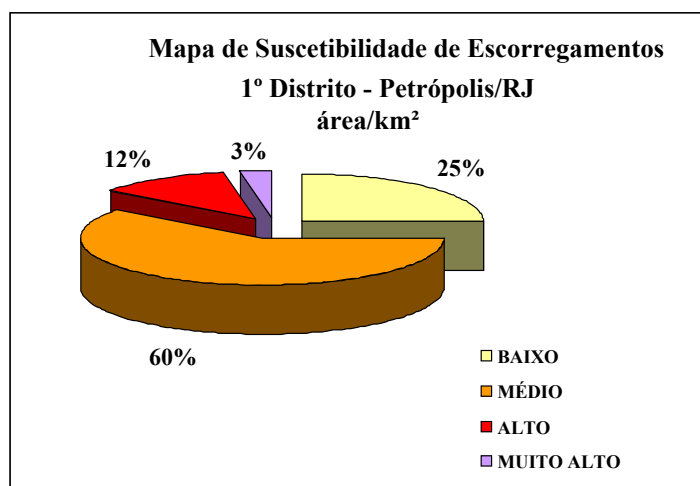
Para concluir esta questão determinaram-se os percentuais para cada faixa de suscetibilidade a escorregamentos e de risco. Estes percentuais foram obtidos relacionando-se a área de cada faixa com a área total do 1º Distrito, para o Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos e da área total urbanizada, para o Mapa de Risco

(Tabela 5.25). Estas informações foram obtidas empregando o banco de dados georeferenciado, conforme mostram os gráficos das Figuras 5.13 e 5.14.

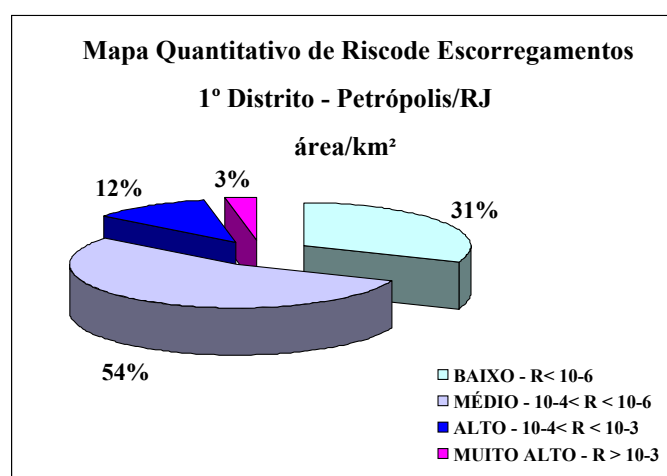
**Tabela 5. 25** Valores das faixas dos mapas de perigo e de risco.

FAIXAS	MAPA DE PERIGO ÁREA/km <sup>2</sup>	MAPA DE RISCO ÁREA/km <sup>2</sup>
BAIXO	33,55	8,5
MEDIO	79,59	14,8
ALTO	15,78	3,14
MUITO ALTO	3,54	0,81
<b>TOTAL:</b>	<b>132,47</b>	<b>27,25</b>

A diferença entre as áreas se justifica ao fato de que o Mapa de Risco só considera a área com ocupação urbana.



**Figura 5. 15** Percentual de áreas para cada faixa do Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos.



**Figura 5. 16** Percentual de áreas de cada faixa do Mapa de Risco Individual Anual de Escorregamentos.

Os resultados dos percentuais das áreas de risco muito alto e alto e das áreas de muito alta e alta suscetibilidade, de uma certa forma, desmistificam avaliações qualitativas, opiniões infundadas, que muitas vezes superestimaram a abrangência das áreas de risco no 1º Distrito de Petrópolis.

## **Capítulo 6 –Comentários e Conclusões Finais.**

Neste capítulo são apresentados os comentários e conclusões obtidas nas etapas desenvolvidas na presente pesquisa.

### **6.1 Comentários Finais**

O Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos foi elaborado a partir dos Mapas de estado natural, que representam as características do meio físico para cada tema (drenagem natural, vegetação, declividade e domínios geológicos-geotécnicos). As integrações de todas essas características com os dados relatados no inventário resultaram num Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos. Este mapa retrata as condições e potenciais de perigo de escorregamentos em que uma área está sujeita, considerando apenas os aspectos naturais.

Comparando os resultados obtidos no Mapa de Suscetibilidade Escorregamentos, onde foram definidas faixas de perigo: muito-alto, alto, médio e baixo, com algumas áreas registradas no inventário de escorregamentos foi possível verificar a boa confiabilidade da metodologia empregada para a escala adotada. Os mapas obtidos representam uma distribuição espacial das áreas com potencial de ocorrência de escorregamentos, com base nas características do meio-físico. Entretanto, apesar da já referida boa confiabilidade do mapa, este deve ser continuamente alimentado com informações obtidas através de trabalhos de campo, registros de novos acidentes, alterações antrópicas, e de feições não percebidas durante o trabalho de foto interpretação. A restituição das áreas definidas neste mapa não devem ser consideradas como informação absoluta devendo, portanto, em uma etapa ulterior serem confirmadas e ajustadas com informações obtidas através de levantamento de campo.

Os modelos de análise a partir do conceito de decisão sob incertezas e inferência de probabilidades estão sendo muito empregados na Análise Quantitativa de Risco. A inexistência e/ou até impossibilidade de adquirir a totalidade dos dados necessários para a aplicação de modelos determinísticos têm sido superadas pela aplicação de modelos probabilísticos com a dedução da influência de cada condicionante do meio físico, através do julgamento de especialistas. No presente trabalho os resultados obtidos através da abordagem probabilística foram bastante satisfatórios produzindo resultados

bem consistentes com as informações pré-existentes para a escala de trabalho empregada.

A atribuição de valores, probabilidades deduzidas por julgamento de especialistas, às feições de cada mapa temático permitiu a realização de simulações de forma satisfatória como demonstram os resultados obtidos.

A dedução de probabilidades por julgamento em substituição a dados mais concretos como, por exemplo, a quantificação da área de um sinistro, dados geotécnicos obtidos em laboratório, características físicas do local do deslizamento, etc, e, conseqüente, aplicação do Teorema de Bayes, conduziu a resultados da atualização da probabilidade inicial que permitiram a elaboração de um Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos bastante verossímil, superando, assim a falta de informações.

Além disso, o emprego deste modelo teve como principal vantagem a praticidade para a geração dos mapas, justamente em face da escassez de informações específicas sobre escorregamentos, possibilitando a aplicação em outras regiões, com baixo custo.

A hierarquização das prioridades de intervenção foi estabelecida através de critérios quantitativos de risco escolhidos com base na bibliografia consultada e associados aos critérios qualitativos definidos pelo Ministério das Cidades (2006). As manchas de áreas de Risco Muito Alto e Alto, do mapa, com abrangência de 3 e 12% da área, respectivamente, coincidiram com as áreas de risco conhecidas através do Inventário de Acidentes e Situações de Risco.

A principal vantagem da metodologia proposta neste trabalho é de tornar viável a elaboração dos mapas em ambiente SIG a partir de uma quantidade restrita de informações pertinentes aos escorregamentos, aproveitando mapas de estado natural que podem ser elaborados com baixo custo a partir de foto-interpretação complementado por trabalho de campo sem a realização de levantamentos detalhados.

A apresentação de faixas quantificadas de risco, após o levantamento da população em risco, permite a determinação do número de indivíduos (famílias) que estão em risco, tornando, assim, possível uma hierarquização mais criteriosa das áreas destinadas a intervenção.



A utilização de ambiente SIG possibilita uma fácil localização das áreas com suscetibilidade Alta e Muita Alta e as áreas urbanizadas com risco Alto e Muito Alto, permitindo assim, a identificação precisa dos elementos em risco, bem como o monitoramento do crescimento urbano nas áreas muito suscetíveis a escorregamentos.

A facilidade de manipulação dos dados quantitativos dos mapas de estado natural permite a realização de simulações, por exemplo, para a mitigação do risco.

A disponibilidade de um banco de dados reunindo todas as informações geo-referenciadas permite a manipulação das informações de forma integrada e constitui ferramenta documental essencial para o suporte ao Gerenciamento de Risco de Escorregamentos.

Em se tratando o banco de dados de uma ferramenta dinâmica, este requer uma constante atualização de dados para a sua manutenção.

Uma das principais desvantagens para aplicação da metodologia proposta consiste na necessidade de uma base topográfica digital. Entretanto, esta base topográfica poderá ser criada a baixo custo através de fotos aéreas ou fotos de satélite.

Outra desvantagem que pode ser apontada consiste na necessidade de obtenção de mapas de estado natural: vegetação, drenagem, geológico-geotécnico, etc, elaborados por especialistas.

A manipulação do banco de dados geo-referenciado necessita de treinamento de profissionais para o manuseio do “software”.

Os mapas gerados a partir do banco de dados requerem verificação em campo para ajustes do modelo e correção de possíveis distorções.

A utilização do SIG como ferramenta básica de análise e cartografia digital tem possibilitado um avanço significativo nas pesquisas de gerenciamento quantitativo de riscos. Pesquisas e publicações de artigos técnico científicos tratando especificamente do tema gerenciamento de risco de escorregamentos têm se tornado cada vez mais freqüentes.

Observa-se uma clara tendência mundial e nacional para intensificação da utilização dos métodos quantitativos na avaliação de riscos, principalmente aqueles que possam causar efeitos danosos à população, como os escorregamentos de terra ocorridos nos últimos anos em diversas regiões do Brasil e do mundo.

Finalmente, pôde se verificar que as análises e pesquisas para áreas sujeitas a escorregamentos têm se intensificado bastante nestas últimas décadas, devido ao intenso crescimento das áreas urbanas. Fato este, que no Brasil, levou o Governo Federal a ter uma atuação pró-ativa com relação ao tema em diversas cidades do país. O arcabouço legal e a clara necessidade de gerenciamento dessas áreas têm propiciado um avanço nas pesquisas voltadas para esta questão.

## 6.2 Conclusões Finais

OBJETIVOS	RESULTADOS
<p>Produzir metodologia para elaboração de <b>Mapa Quantitativo de Risco Individual Anual</b> de Escorregamentos, delimitando áreas de risco, através de Sistema de Informações Geográficas.</p>	<p>Os Mapas de Suscetibilidade de Escorregamento e o Mapa Quantitativo de Risco, gerados com a metodologia empregada, <b>confirmaram a parte analisada dos resultados apresentados</b> no Inventário de Acidentes e Situações de Risco.</p>
<p>A compilação de informações existentes com a <b>criação de um banco de dados geo-referenciado</b>, produzindo mapas temáticos de estado natural da região.</p>	<p>A reunião das características e interpretações do meio-físico em um único banco de dados geo-referenciado <b>demonstrou ser uma forma viável e eficaz para a organização e manipulação de todas as informações.</b></p>
<p>Emprego de <b>probabilidades deduzidas por julgamento de especialistas</b> para as condicionantes de escorregamentos, representadas nos mapas temáticos de estado natural.</p>	<p>O emprego da dedução de probabilidades por especialistas, em substituição às correlações entre características do meio-físico e dos escorregamentos com aplicação do Teorema de Bayes, <b>revelou-se como boa alternativa para elaboração do Mapa Quantitativo de Risco</b> frente à escassez de dados geotécnicos.</p>
<p>Utilização de <b>probabilidades iniciais provenientes da frequência relativa</b> de escorregamentos calculada a partir do inventário de acidentes e situações de risco de Petrópolis.</p>	<p>A existência de registros de acidentes de escorregamentos em inventário da área em estudo, <b>possibilitaram a aplicação do Teorema de Bayes</b>, ou seja, a frequência relativa dos acidentes tomadas como probabilidades <b>iniciais</b> pôde ser atualizada a partir de informações adicionais.</p>
<p><b>Integrar Mapas Temáticos</b> de estado natural empregando algoritmo com base no Teorema de Bayes;</p>	<p>Pode-se afirmar que o emprego de um algoritmo baseado na Estatística Bayesiana para integração temática dos mapas de estado natural <b>conduz a resultados confiáveis</b> na identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos.</p>
<p><b>Utilização de SIG</b>, na definição de áreas de Risco Alto e Muito Alto, com base em critérios de risco, para <b>subsidiar o Gerenciamento de Risco de Escorregamentos.</b></p>	<p>A definição de áreas de risco é uma ferramenta valiosa no Gerenciamento de Risco de Escorregamentos e, portanto, o modelo de dados (geo-referenciados em SIG) desenvolvido neste trabalho <b>poderá subsidiar o Poder Público num melhor planejamento do uso do solo.</b></p>

Concluindo pode-se afirmar que o emprego de um algoritmo baseado na Estatística Bayesiana para integração temática dos mapas de estado natural conduz a resultados confiáveis na identificação de áreas suscetíveis a escorregamento, sendo uma ferramenta valiosa no Gerenciamento Quantitativo de Risco de Escorregamentos sendo que o Banco de Dados desenvolvido neste trabalho poderá subsidiar o Poder Público num melhor planejamento do uso do solo.

### **6.3 Sugestões para pesquisas futuras**

*Atualização do Inventário com acidentes e situações de risco posteriores a 1988.*

*Realização de estudos de correlações entre classes dos mapas temáticos do meio-físico com os acidentes e situações de risco do Inventário e dados pluviométricos .*

*Elaboração de Mapas de Suscetibilidade e de Risco, empregando o Teorema de Bayes, estabelecendo-se probabilidades condicionais com base nas correlações entre classes dos mapas temáticos e escorregamentos já cadastrados.*

*Elaboração de Mapas de Suscetibilidade e de Risco empregando Lógica "Fuzzy".*

*Comparação dos mapas elaborados com a metodologia empregada neste trabalho e demais possibilidades de análise empregando a Teoria de Bayes , Lógica "Fuzzy" e modelos Determinísticos.*

*Geo-referenciamento de todos os acidentes e situações de risco já cadastrados em Inventário, enriquecendo, assim, o banco de dados com informações geotécnicas.*

*Elaboração de um Sistema Especialista Dinâmico que acople ao banco de dados e, conseqüentes, Mapas de Suscetibilidade de Escorregamentos e Mapas Quantitativo de Risco, com informações meteorológicas em tempo real.*

## Referências Bibliográfica

ABGE- – *Geologia de Engenharia* – Eds. A.M.S.de Oliveira & S.N.A. de Brito. Edição CNPQ/FAPESP –São Paulo. 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Execução de Levantamento Topográfico*, NBR 13133. Rio de Janeiro, 1994

ARAÚJO, W. T., “*Uso da modelagem numérica de terreno para a construção de um map de riscos em encostas em Salvador/Ba*” . In: IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, pp 27 – 32, Salvador/Ba, set 2005

AUGUSTO FILHO, O., *Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambienta de SIG como subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: um Ensaio em Caraguatatuba (SP)*. Tese de D. Sc.,apresentada junto ao Curso de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campos de Rio Claro, SP, 196p., 2001.

BOLT, B. A. *et al. Geological harzard*. Berlin:Springer-Verlag, 328p. 1975.

BELTRAME , A. da V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas*: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BONHAM-CARTER, *G.F. Geographic Information System for Geocientists*. Modeling with GIS. Elsevier Science Ltd. The Boulevard Langford Lane, Kidlington, OX5 1GB, UK. 1994.

BONUCCELLI, T.J., *Movimentos de Massa em Ouro Preto*: importância da ocupação desordenada e caracterização dos fenômenos. Tese de D. Sc. – EESC/USP, São Carlos, 1999. 2v.

CÂMARA,G.et al., "*Fields and Objects Algebras for GIS Operations*". III Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, julho de 1995. Anais, USP, pp. 407-424, 1995.

CIDE – CENTRO DE INFORMAÇÕES DE DADOS DO RIO DE JANEIRO. *Fotografias resultantes de levantamento aerofotogramétrico realizado em 2003, na*

*escala de 1:33.500, que recobrem a área da bacia da Baía de Guanabara e adjacências, num total aproximado de 5.000 km<sup>2</sup>.* Rio de Janeiro. 2003

CORONADO, J. A. & DINIZ, N. C., "*Proposta metodológica para avaliação de risco por escorregamento na região andina do Eixo Cafeteiro, Quindío, Colômbia.*". In: IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, pp 51 – 59, Salvador/Ba, set 2005.

ECOTEMA – INSTITUOT DE ECOLOGIA E TECNOLOGIA DE MEIO AMBIENTE *Zoneamento Ambiental da APA-Petrópolis 2<sup>a</sup> Etapa e banco de dados Georeferenciado*, Fundo Nacional do Meio ambiente, 2001.

EINSTEN, H.H. *Landslide Risk – Sistematic Approaches to Assessment and Management.* Proceedings of the International Work Shop on the Landslide Risk Assessment, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21, February, 1997, p.25-50.

FEEL, R. & HARTFORD, D. Landslides Risk Management. Proceedings of the Internacional Workshop on the Landslides Risk Assessment, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21, February, 1997, p 51-109.

FERREZ, G., *Iconografia Petropolitana 1800-1890.*, 1 ed Brasil, Museu Imperial de Petrópolis, 1955.

FISCHER, M. et al. *Spatial Analytical Perspectives on GIS.* London: Tayçor & Francis. 1994.

GALVEZ, M.L., *Condicionantes Geotécnicos do Traçado de Rodovias: uma proposta Metodológica de Escolha Baseada na Análise de Decisões com Objetivos Múltiplos.* São Paulo 1995, Tese de D. Sc., Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GOODCHILD, M.F. "*Spatial Analysis with GIS: Problems and Prospects GIS/LIS.*", The in Forum Atlanta, Georgia, p. 40-48, 1991.

GOODCHILD, M.F. "*Geographical Data Modeling.*", Computers and Geoscience, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T., *Novo Dicionário Geológico-Geotécnico*, 3<sup>a</sup> ed, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2003.

GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y., *Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. Publicação N° 1080, 1976, 48p.

HANIGAN, F., *GIS by any other name is still...* The GIS Forum 1:6. 1988

IBGE –Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Setor Censitário*. Rio de Janeiro. 2000.

IBGE –Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Setor Censitário*. Rio de Janeiro. 2005.

IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Estudo Geológico-Geotécnico para Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos para Projetos de Engenharia (Túneis, Lavras a céu aberto e Barragens)*. São Paulo (IPT –Relatório, 19569). 1984

IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.- IPT. *Estudo das instabilizações das encostas da Serra do Mar na região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e a prevenção dos seus efeitos*. Relatório técnica n° 25.402. São Paulo. 125p - RJ. 1988.

IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Carta Geológica de Petrópolis* – Relatório n° 30 399 – Vol. 1 –Prefeitura Municipal de Petrópolis - RJ. 1990.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, *SPRING. Básico*, [online]. [www.dpi.inpe.br/spring/portugues/](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/), set 2006.

KATINSKY, M. *Fuzzy set modelling under imprecision*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. 1994.

LEUNG, Y. *Spatial analysis and planning under imprecision*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V. 1988.

LICHTENSTEIN, S. & NEWMAN, J. R., *Empirical scaling of common verbal phrases associated with numerical probabilities*, Psychometric science, 9(10):563-564, 1967.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco*. Brasília, DF, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas-Guia para Elaboração de Políticas Municipais*, Brasília, Cities Alliance, 2006.

MORGADO, C. do R. V & NOBREGA, J. S. W.da., "Gerência de Risco". In: Fundação Bio-Rio, *Elementos de Segurança Ambiental*. Cap 2. Rio de Janeiro, Aquarius. 2002.

MOTA, S., *Urbanização e Meio Ambiente*, 3 ed Rio de Janeiro, ABES, 2003.

NAKAZAWA, V.A. & CERRI. T.E.S., *Os Escorregamentos Ocorridos em Petrópolis – Rj em fevereiro de 1988: Ações Emergenciais*. I Simpósio Latino Americano sobre Risco Geológico Urbano, São Paulo, 1990, pp 325-333.

OLIVEIRA, L. C. D. DE, *Análise Quantitativa de Risco de Movimentos de Massa com Emprego de Estatística Bayesiana*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

PACHECO, M. & COUTINHO, R.Q., "Avaliação de Risco de Deslizamentos nas Encostas de Petrópolis (RJ) e da Região Metropolitana de Recife (PE)". Revista Solos e Rochas, São Paulo, 29, (2); Maio-Agosto, 2006.

PENHA, H. M et al. *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro- Convênio DRM/IG –UFRJ - Projeto Folha Petrópolis, Vol. I, Relatório Final*,(Inédito).256pp.1979.

PENHA, H. M. -- *Modelo de Compartimentação Estrutural das Principais Formações Geológicas da Região Centro-Occidental do Estado do Rio de Janeiro*. Simpósio de Geologia do Sudeste –Boletim de Resumos - Sbg-Núcleos Rj/Sp. 134p. 1989.

PINHEL, A.S., "Modelagem Probabilística de Mortalidade em Deslizamentos de Encostas", Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003. 110p.

PROSPEC – PROSPECÇÕES E AEROLEVANTAMENTOS S. A. *Atualização do Cadastro Predial e Territorial do Município de Petrópolis*. Prefeitura Municipal de Petrópolis. 1995



PMP - PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. *Decisão Petrópolis II – Informações para Investidores*. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. 1999.

SANTOS, M. da R.G., *Aplicação dos Métodos Fuzzy e Bayesiano para o estudo de Instabilidade de Encostas no Município de Teresópolis-RJ* - Tese de M.Sc., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, A. de B., *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos*. Campinas-SP:, Ed da UNICAMP, 2003.

SMITH, T. R., et. al., *Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale Geographic Information Systems*. In: Jour. Of Geog. Inf. Sys. 1:13-31, 1987.

SOUZA, L. A. de, *Geologia da Região de Itaipava-Araras (RJ)*, Tese de M. Sc., Programa de Geologia/UFRJ, Rio de Janeiro, 1983.

STUTZ, J. & CHEESEMAN, P.A *Short Exposition on Bayesian Interference and Probability*. National Aeronautic and Space Administration Ames Research Centre: Computational Science Division, Data Learning Group, [www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br), 1994.

TECNOSOLO – *Diagnóstico Geral Geológico Geotécnico dos Escorregamentos na Cidade de Petrópolis, face às chuvas de fevereiro de 1988*. Relatório da Prefeitura Municipal de Petrópolis. 1988.

TERRA NOVA, Instituto. - *Programa de Monitoramento da APA-Petrópolis: Mapeamento de Vegetação e Uso do Solo.*, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente IBAMA, Órgão gestor da APA-Petrópolis, 2005.

VARNES, D.J. *Landslide Hazard Zonation a Review of Principles and Practice*. Natural Hazard, 3, UNESCO, 1984, 61p

VICK, S., *Dam Safety Risk Assessment: New Directions*, "Water Power and Dam Construction, June, 1997

XAVIER DA SILVA, J. & CARVALHO-FILHO, L. M. *Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica*, IV Conferência Latino-Americana sobre Sistemas de Informações Geográficas.e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo:EDUSP, 1994, p. 609-628.

XAVIER DA SILVA, et. al. *Índice de Geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de Biodiversidade*. In: GARAY, i. (Ed.). *Conservação da biodiversidade em Ecossistemas Tropicais: avanços conceituais e revisão da novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Petrópolis: vozes, 2001, pp.299-316.

WONG, H. N.& CHAN, Y.C. *Assessment of Consequence of Landslides* . Proceedings of the International Workshop on the Landslide Risk Assessement, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21, Febuary, 1997, p. 111-163.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets*. Information and Control, 8, 338. 1965.

ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N., *Mapeamento Geotécnico: uma proposta metodológica*. Revista de Geociências, Rio Claro, v. 9, 1990.

ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N., *Cartografia Geotécnica*. 1 ed Brasil, Oficina de Textos,2004.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)