

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

MINIMIZAÇÃO DE RISCOS, MAPEAMENTO DE
DESLIZAMENTOS E MODELAGEM GEOTÉCNICA: ESTUDO
DE CASO BR 376/PR

Fabio Bertuol

Porto Alegre
2013

Fabio Bertuol

**MINIMIZAÇÃO DE RISCOS, MAPEAMENTO DE
DESLIZAMENTOS E MODELAGEM GEOTÉCNICA: ESTUDO
DE CASO BR 376 PR**

TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL,
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA. ORIENTAÇÃO:
PROF. Ph.D. LUIZ ANTÔNIO BRESSANI

Porto Alegre

2013

CIP - Catalogação na Publicação

Bertuol, Fabio
Minimização de riscos, mapeamento de deslizamentos
e modelagem geotécnica: estudo de caso BR 376 PR /
Fabio Bertuol. -- 2013.
301 f.

Orientador: Luiz Antônio Bressani.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS,
2013.

1. Deslizamentos. 2. Mapeamento de Deslizamentos.
3. Modelos geomecânicos. 4. Avaliação do Terreno. 5.
Formas de Terreno . I. Bressani, Luiz Antônio ,
orient. II. Título.

FABIO BERTUOL

MINIMIZAÇÃO DE RISCOS, MAPEAMENTO DE DESLIZAMENTOS E MODELAGEM GEOTÉCNICA

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA, área de concentração - Geotecnia e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2013

Luiz Antônio Bressani

Ph.D. pelo Imperial College, University of London

Orientador

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Ph.D. pela University of Leeds

Coordenador do PPGEC

BANCA EXAMINADORA:

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Ph.D. pela University of Leeds

Willy Alvarenga Lacerda

Ph.D. pela University of California - Berkeley

Eduardo Soares de Macedo

Dr. pela Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho

Mauricio Abramento

Ph.D. pelo Massachusetts Institute of Technology -
MIT

AGRADECIMENTOS

O Doutorado é um curso bastante longo. São 4 anos bastante intensos em um turbilhão de aulas, pesquisas de campo, escritório e laboratório, trabalhos profissionais e acadêmicos, docência, congressos...

O que foi dito no parágrafo acima serviu para abrir precedente a um pedido de desculpas antecipado. Sei que normalmente o pedido de desculpa a pessoas não citadas vem no final dos agradecimentos, quase como uma nota de rodapé, o que pode acabar desmerecendo alguém deixado para trás. Por esta razão, quero de antemão, pedir sinceras desculpas a estas pessoas que com certeza de forma circunstancial ou direta contribuíram para esta tese. Muito Obrigado a todos!

Aos amigos e amigas, Max, Daiana, Ramiro, Thaís pela sincera amizade e apoio. Não existem palavras que possa utilizar para descrever minha gratidão.

Agradecimento a todos os “alunos” do Laboratório. Que o coleguismo continue presente em todos, pois esta qualidade é fundamental para que o laboratório funcione bem e que se desenvolvam pesquisas excepcionais. Jair, muito obrigado, seus conhecimentos e dedicação fizeram com que diversos obstáculos fossem superados e muitos previamente eliminados. Esse afinco gerou um bordão consagrado no laboratório (eeeeesse Jair).

Gustavão, o mais novo Engenheiro do pedaço. Trabalhamos juntos profissionalmente e academicamente. Durante o seu trabalho de conclusão você encarou um tema bastante intrincado (ver Capítulo 5.....opa, desculpem força do hábito), o que me ajudou muito durante a tese. Valeu por ter encarado.

Ter dado passos acadêmicos tão largos só foram possíveis com apoio. Minha família, sempre forneceu o suporte necessário para avanços. Queria agradecer a minha irmã Renata (que agora também tem me ajudado a me concertar nas lesões do esporte) minha mãe Nelci e meu pai Renato que muitas vezes deixaram de lado suas atividades e interesses próprios para cuidar dos filhos. Muito Obrigado.

Nos últimos anos tive apoio de uma segunda família, a da minha namorada e futura companheira, Cris. O que falar da Cris, uma mulher de personalidade forte e com sensibilidade para dar apoio nos momentos certos, obrigado meu amor por todo o apoio, paciência e dedicação. Seu Fernando e dona Vera Rocha, sogro e sogra, fiquei com dúvida ao usar estes termos para dizer qual é a minha ligação com eles, especialmente sogra, que por diversas vezes é quase um termo pejorativo. No meu caso não. Encontrei nestas pessoas um apoio, carinho e atenção inacreditáveis, um especial Obrigado a vocês.

Ao professor Luiz Antônio Bressani (orientador), obrigado pela transferência conhecimento incondicional, tanto durante o mestrado como durante o doutorado, além do apoio e troca de ideias ao longo dos últimos anos.

Trabalhar em ambiente SIG de fato não é algo que esteja no cotidiano dos engenheiros geotécnicos. O desenvolvimento da tese, que fez uso desta ferramenta, só foi possível devido ao apoio do LABGEO (Laboratório de Geoprocessamento) da UFRGS. Lá pessoas dedicadas fornecem todo suporte necessário, inclusive para os marinheiros de primeira viagem. Obrigado ao professor Hasenack, Eliseu e demais colegas. A disposição com que trabalham impressiona.

Gostaria de agradecer também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro proporcionado durante a realização dos estudos.

A minha caminhada Geotécnica começou ainda durante a faculdade dentro da empresa Azambuja Engenharia e Geotecnia. Na Azambuja, sempre fui instigado a ir mais fundo, a fazer mais e também fiz amigos. Apesar de ser uma empresa, a relação sempre ultrapassou os limites profissionais, para o lado do bem. Aqui fica meu agradecimento a toda a equipe da empresa, coordenada por Eduardo Azambuja, Marco Aurélio Azambuja, Marcos Strauss e Alexandre Nichel por todo apoio durante a graduação, mestrado e doutorado.

Caro Eduardo Azambuja. Gostaria de expressar aqui o agradecimento especial pelo que fizeste pela minha tese. Só foi possível adquirir os dados que permitiram o desenvolvimento do trabalho acadêmico porque você intermediou a relação com a empresa Arteris (concessionária administradora da rodovia estudada). Esta relação de

apoio direto começou ainda no meu trabalho de conclusão e perdura até hoje. Seus ensinamentos, não só profissionais, me fizeram crescer. MUITO OBRIGADO pelo suporte e dedicação ao longo dos anos (há quase uma década).

Preciso também agradecer a empresa Arteris (que pertence, a Abertis), a Autopista Litoral Sul (ALS), uma das concessionárias sob comando da Arteris. As pessoas que mais diretamente me relacionei destas empresas foram Samuel Mezzomo (amigo e antigo colega de mestrado e de trabalho), Sérgio Asakawa e Fernando Infante. Sem o apoio logístico e institucional teria sido ainda mais difícil de alcançar os resultados aqui obtidos. Muito Obrigado.

Agradeço, por fim, aos membros da banca examinadora, professor Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, Willy Alvarenga Lacerda, Eduardo Soares de Macedo e Mauricio Abramento por aceitarem o convite, fico honrado com a presença dos senhores.

*“Throughout the centuries there were men who took
first steps down new roads armed with nothing but
their own vision”*

Ayn Rand

RESUMO

BERTUOL, F. **MINIMIZAÇÃO DE RISCOS, MAPEAMENTO DE DESLIZAMENTOS E MODELAGEM GEOTÉCNICA: ESTUDO DE CASO BR 376 PR.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A humanidade têm enfrentado mudanças climáticas sem precedentes na sua história recente, as quais tem gerado um número crescente de deslizamentos com consequentes perdas humanas e materiais. Nos últimos anos estes eventos salientaram a importância de se conhecer os riscos inerentes às atividades humanas em geral. Com relação aos deslizamentos de terra, a ocupação de áreas impróprias, a construção de obras cada vez mais interferentes no meio físico e alguma alteração no regime de chuvas, têm contribuído para um grande aumento de óbitos consequentes de deslizamentos urbanos e prejuízos de monta nas rodovias. Para se construir uma adequada ferramenta de gestão dos riscos é preciso inicialmente mapear os prováveis deslizamentos a que um local está sujeito. Para tanto, é necessário utilizar modelos capazes de avaliar cartograficamente as encostas. Contudo, os modelos disponíveis na literatura são aplicáveis apenas para rupturas planares/taludes infinitos, não existindo referências para os demais tipos de movimento. A presente tese vem preencher parcialmente esta lacuna, propondo uma modelagem geomecânica (Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica - MGEC) que permite fazer a avaliação de movimentos rotacionais e compostos (translacional associado a rotacional), através de mapas. Para isto, foi necessário adaptar as metodologias de Avaliação do Terreno existentes, para que fosse possível atribuir parâmetros de solo as encostas/taludes, trabalhando-se em grandes escalas com elevado nível de detalhe, adaptação aqui denominada de Espacialização. Como forma de comprovação do MGEC e da Espacialização, foi feito um mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos em um subtrecho de 6 km da rodovia federal sob concessão (km 666 ao km 672 da BR 376-PR, Florianópolis/SC - Curitiba/PR). O local já sofreu com diversos deslizamentos que causaram ou interrupção parcial ou fechamento total da rodovia em anos recentes, com uma documentação acessível. O Mapa de Suscetibilidade seguiu as diretrizes de mapeamento propostas pelo JTC1 da ISSMGE, IAEG e ISRM. O mapa construído nesta tese, utilizando o MGEC desenvolvido, foi capaz de reproduzir muito bem as condições de campo e os deslizamentos que ocorreram no trecho em análise.

Palavras-chave:

Palavras-chave: deslizamentos, mapeamento de deslizamentos, rodovias, zonas urbanas, modelos geomecânicos, Avaliação do Terreno, Formas de Terreno (*Landform*)

ABSTRACT

BERTUOL, F. RISK MINIMIZATION, LANDSLIDE MAPPING AND GEOTECHNICAL MODELING: CASE BR 376 PR. 2013 Thesis (Engineering Doctoring) - Program of Post-Graduation in Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre.

Mankind has been facing climate changes with no precedent in its recent history and this has been causing an increasing number of landslides with human and material losses. In recent years these events highlighted the importance of risk knowledge associated to human activities. In relation to landslides, the occupation of unsuitable areas, the construction of engineering works with increasingly interference with the physical environment and some change in rainfall patterns have contributed to a large increase in number of deaths caused by urban landslides and large economic losses in highways. To build an adequate risk management tool is necessary to initially map the landslides that are likely to occur in a particular site. Therefore, it is necessary to use models capable of evaluating the slopes cartographically. However, the models available in the literature are only for planar landslides (infinite), with no references for other kinds of landslides. This gap is partially filled by this thesis, where the geomechanical model developed (Geomechanical Model of Cartographic Stability – GMCS or MGEC) allows the evaluation of rotational and compound slides (association of translational and rotational slides) through maps. For that it was necessary to adapt the existing Landform Evaluation methodologies in order to assign soil parameters for slopes and to work on large scales with high level of detail, here called of Spatialization. To test the GMCS and Spatialization suggested, a mapping of Landslide Susceptibility was carried out along 6 km of a federal highway under concession (Florianópolis/SC - Curitiba/PR, km 666 to km 672 of BR 376-PR). This region suffered several landslides in the past that caused partial disruption or even total closure of the highway. The Susceptibility Map was made using the guidelines for landslide mapping proposed by JTC1 of ISSMGE, IAEG and ISRM. The map built in this thesis, with the support of GMCS, was able to reproduce very well the field conditions and landslides that occurred in the site.

Keywords:

Keywords: landslide, landslide mapping, highways, urban zones, geomechanical models, Terrain Evaluation and Landforms.

Índice

LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	20
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	23
1 INTRODUÇÃO	25
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA TESE	25
1.2 JUSTIFICATIVA	29
1.3 OBJETIVOS	32
1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE	32
2 DEFINIÇÃO DE TERMOS.....	34
3 REDUÇÃO DE RISCOS EM TALUDES.....	38
3.1 CONCEITUAÇÃO GERAL	39
3.2 GESTÃO DE RISCOS EM TALUDES.....	40
3.2.1 Estratégias de gerenciamento de risco urbano.....	42
3.2.1.1 Identificação e análise de riscos	43
3.2.1.2 Ações não estruturais para a redução de riscos	45
a) Medidas restritivas ao desenvolvimento	46
b) Criação de itens específicos nos códigos de edificações	48
c) Exemplo de plano de ações não estruturais	49
3.2.1.3 Ações estruturais para a redução de riscos.....	50
3.2.1.4 Informações públicas e treinamento	50
3.2.2 Estratégias de gerenciamento de risco de projetos lineares	53
3.2.3 Priorização de ações.....	56
3.2.3.1 Priorização em zonas urbanas.....	57
3.2.3.2 Priorização em rodovias.....	57

3.3	REDUÇÃO DE RISCOS EM TALUDES DE PAÍSES POBRES.....	58
4	CONSIDERAÇÕES SOBRE MAPEAMENTO DE RISCO DE DESLIZAMENTO .	64
4.1	MOVIMENTOS DE MASSA E FATORES CONDICIONANTES	64
4.2	CONCEITUAÇÃO DE MAPEAMENTO DE RISCO	66
4.3	METODOLOGIAS DE ZONEAMENTO.....	68
4.3.1	Exemplos nacionais e internacionais	68
4.3.1.1	Exemplo nacional 1	68
4.3.1.2	Exemplo nacional 2.....	70
4.3.1.3	Exemplo internacional.....	71
4.3.2	Uma tentativa de unificação internacional	73
4.3.2.1	Inventário de deslizamentos	74
4.3.2.2	Mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos.....	75
4.3.2.3	Mapeamento de perigo de deslizamento	76
4.3.2.4	Mapeamento de risco de deslizamento	77
4.3.2.5	Considerações adicionais	77
4.4	OUTRAS QUESTÕES SOBRE METODOLOGIAS.....	78
4.4.1	Descritores	78
4.4.2	Análises Probabilísticas e Relativas/Determinísticas.....	79
4.4.3	Análises Empíricas.....	80
4.5	MAPEAMENTO DE DESLIZAMENTO COMO UMA FERRAMENTA PARA OCUPAÇÃO HUMANA	81
4.5.1	Aplicação do mapeamento como ferramenta para planejamento urbano	82
4.5.2	Mapeamento e o gerenciamento de rodovias.....	84
4.6	ESCOLHA DO MAPEAMENTO ACERTADO	85
4.6.1	Condições iniciais	85
4.6.2	Recomendações sobre tipos, nível de mapeamento e escalas de mapas	86

4.6.3	Inter-relação: tipos e níveis de mapeamento	89
4.7	DIFICULDADE <i>VERSUS</i> CONFIABILIDADE DO MAPEAMENTO.....	89
4.7.1	Dificuldades do mapeamento.....	90
4.7.2	Confiabilidade do mapeamento	91
4.8	EQUIPE QUALIFICADA, QUESTÃO ESSENCIAL NO MAPEAMENTO	92
4.8.1	Instrução aos profissionais contratados.....	92
4.8.2	Situações de emergência.....	93
5	INTERPRETAÇÃO DO TERRENO - GEOMORFOLOGIA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS (<i>LANDFORM</i>)	97
5.1	DISCUSSÕES PRELIMINARES	98
5.1.1	Evolução da técnica	99
5.2	INTERPRETAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	101
5.3	INTERPRETAÇÃO COM AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS (<i>LANDFORM</i>).....	104
5.3.1	Avaliação visual da paisagem.....	104
5.3.2	Avaliação do Terreno	104
5.3.2.1	Níveis Hierárquicos	105
a)	Sistema de Terreno.....	106
b)	Unidade de Terreno	107
c)	Elemento de Terreno.....	108
5.3.2.2	Finalidade Geotécnica	109
5.3.2.3	Análise Paramétrica/Morfométrica	110
5.3.3	Outras questões sobre Avaliação do Terreno.....	116
5.4	GEOMORFOLOGIA <i>VERSUS</i> AVALIAÇÃO DO TERRENO - ABORDAGEM SOBRE ESCALA	118
6	SIG - SISTEMA DE INFORMaÇÃO GEOGRÁFICA	120
6.1	APRESENTAÇÃO.....	120
6.2	AMBIENTE SIG - CONCEITOS	121

6.3	SIG <i>VERSUS</i> MODELAGEM GEOTÉCNICA DE ESTABILIDADE	125
7	LOCAL DE ESTUDO.....	126
7.1	CLIMA DO LOCAL DE ESTUDO	128
7.2	GEOLOGIA DO LOCAL DE ESTUDO	130
7.3	GEOMORFOLOGIA DO LOCAL DE ESTUDO	131
7.4	PEDOLOGIA DO LOCAL DE ESTUDO	133
7.5	RECURSOS HÍDRICOS DO LOCAL DE ESTUDO	133
7.6	VEGETAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	134
7.7	CONDIÇÕES GERAIS DO TRECHO EM ESTUDO	135
8	DESENVOLVIMENTO DO MODELO GEOMECÂNICO DE ESTABILIDADE COM BASE CARTOGRÁFICA - MGEC.....	137
8.1	DESCRIÇÃO GERAL SINTÉTICA	140
8.1.1	Exemplos de rupturas ocorridas no local de estudo	141
8.1.1.1	Talude – km 667+120 pista norte	142
8.1.1.2	Talude – km 667+900 pista norte	144
8.1.1.3	Talude – km 669+790 pista sul	146
8.2	CONSTRUÇÃO DO MODELO GEOMECÂNICO	147
8.2.1	Modelagem primária	149
8.2.2	Modelagem por Faixa de Alturas	156
8.2.3	Ponderações dos Mapas Temáticos por Faixa de Altura	169
8.2.3.1	Coesão.....	169
8.2.3.2	Atrito.....	173
8.2.3.3	Peso Específico	176
8.2.3.4	Inclinação do talude	179
8.2.3.5	Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica	182
8.2.3.6	Definição dos pesos dos Mapas Temáticos.....	183
8.2.3.7	Observação sobre pesos da Faixa de Altura Baixa	205

9	CONSTRUÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE	206
9.1	COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA TESE	206
9.1.1	Coleta de dados e expedições de campo	207
9.1.2	Organização dos dados para a tese (trabalhos de escritório)	211
9.2	CONSTRUÇÃO DA BASE DIGITAL	214
9.3	<i>LANDFORM</i> E ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS	220
9.4	DETERMINAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE (MGEC E SIG).....	225
9.4.1	Descritores de Suscetibilidade adotados	226
10	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	233
10.1	DISCUSSÕES INICIAIS.....	233
10.2	MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS	234
10.3	OBSERVAÇÕES SOBRE ESPACIALIZAÇÃO	242
11	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	244
11.1	CONCLUSÕES	244
11.2	SUGESTÕES.....	248
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	251
	ANEXO I - DADOS DE TODOS OS TALUDES ROMPIDOS	259
	ANEXO II - TABELAS DE ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS E CÁLCULO DO IS_{MODELO}	265
	ANEXO III - MAPA DE SUSCETIBILIDADE	282
	ANEXO IV - MAPA DE DECLIVIDADE	292

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de óbitos por ano (adaptado de MACEDO 1999, MACEDO 2004, IPT 2009 e MACEDO 2011).	28
Figura 2: Número de óbitos por estados no período de 1988 a 1999 (adaptado de MACEDO 1999).....	29
Figura 3: Número de catástrofes naturais no mundo entre 1980 e 2007 (adaptado de MUNICH RE 2007)	41
Figura 4: Configuração da equipe de gerenciamento em St. Lucia (adaptado de ANDERSON e HOLCOMBE 2006).....	61
Figura 5: Mapas e dados de entrada para o mapeamento de risco (adaptado de CASCINI <i>et al.</i> 2005)	72
Figura 6: Porcentagem de acerto para risco iminente (MACEDO e ZUQUETTE 2002)	95
Figura 7: Porcentagem de acerto para risco a ser observado (MACEDO e ZUQUETTE 2002).....	95
Figura 8: Porcentagem de acerto para risco baixo (MACEDO e ZUQUETTE 2002) ...	96
Figura 9: Formas de mapeamento do terreno.	98
Figura 10: Unidades taxonômicas (ROSS 1992).....	103
Figura 11: Formas de mapeamento do terreno, avaliação visual da paisagem.	104
Figura 12: Formas de mapeamento do terreno, Avaliação do Terreno e Níveis Hierárquicos.....	105
Figura 13: Aplicação da técnica de Avaliação do Terreno (COOKE e DOORNKAMP 1990 citado por LOLLO 1995).	106
Figura 14: Formas de mapeamento do terreno, Avaliação do Terreno, Níveis Hierárquicos e Finalidade Geotécnica.....	110
Figura 15: Modelo de perfil de talude (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a)....	111
Figura 16: Variáveis Morfométricas (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a e LOLLO e GANDOLFI 1995).....	112
Figura 17: Modelo de perfil de talude, formas derivadas e intervalos dominantes (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a).	115

Figura 18: Esquema comparativo entre níveis de mapeamento geotécnico segundo a Geomorfologia e Avaliação do Terreno.	119
Figura 19: Comparativo entre a representação Vetorial e Raster de uma situação real (ENSRI 2007).	122
Figura 20: Formas de representação Vetorial e matricial de elementos em mapas SIG (ENSRI 2007).	123
Figura 21: Exemplos de Mapas Temáticos (ENSRI 2007).	124
Figura 22: Exemplo de um MNT para definição da superfície de um terreno, coordenadas "x", "y" e "z" (ENSRI 2007).....	125
Figura 23: Localização do subtrecho a ser mapeado no trabalho experimental (ALS 2010).....	127
Figura 24: Deslizamentos no km 667+900 da BR 376 (adaptado de ALS 2010 e Google Earth 2011).	128
Figura 25: Clima de região em estudo, adaptado do mapa de clima do Brasil do IBGE.	129
Figura 26: Clima de região em estudo, adaptado do mapa de clima do Paraná do ITCG.	130
Figura 27: Mapa geológico do trecho do trabalho experimental (adaptado de CPRM 2003 – Curitiba, folha SG. 22)	131
Figura 28: Geomorfologia na qual o trecho da rodovia em estudo se insere, adaptado da carta geomorfológica do ITCG, folha Curitiba.	132
Figura 29: Esquema do mapa pedológico do trecho da rodovia em estudo, adaptado do mapa de solos do estado do Paraná.	133
Figura 30: Esquema da bacia hidrográfica na qual o trecho da tese se insere, adaptado do mapa das bacias hidrográficas do estado do Paraná.....	134
Figura 31: As três classes de vegetação cortada pela rodovia no trecho em estudo, adaptado do mapa de vegetação, folha Pedra Branca do Araraquara.	135
Figura 32: Esquema de análise quantitativa, semiquantitativa e qualitativa.	138
Figura 33: Exemplos de rupturas de taludes de corte com ruptura compostas (rotacional e translacional de solo) (a) km 667+120 Norte, (b) km 667+160 Norte e (c) e (d) km 667+900 Norte.....	141
Figura 34: Seção retroanalizada para o talude do km 667+120, pista norte, mostrando as espessas camadas de solo e a superfície de ruptura inserida apenas na camada mais superficial.	142

Figura 35: Perfil de sondagem a percussão típico do talude no km 667+120, pista norte, indicando um perfil estratigráfico composto por solos espesso e de reduzido N_{SPT}	143
Figura 36: Seção retroanalizada para o talude do km 667+900, pista norte, mostrando as espessas camadas de solo e a superfície de ruptura inserida apenas na camada mais superficial.	144
Figura 37: Perfil de sondagem a percussão típico do talude no km 667+900, pista norte, indicando um perfil estratigráfico composto por solos espesso e de reduzido N_{SPT}	145
Figura 38: Seção retroanalizada para o talude do km 669+790, pista sul, mostrando as espessas camadas de solo e a superfície de ruptura inserida apenas na camada mais superficial.....	146
Figura 39: Perfil de sondagem a percussão típico do talude no km 669+790, pista sul, indicando um perfil estratigráfico composto por solos espesso e de reduzido N_{SPT} ...	147
Figura 40: Mapas Temáticos utilizados para a construção do Modelo desenvolvido nesta tese.	148
Figura 41: Talude genérico e parâmetros envolvidos.....	150
Figura 42: Resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e da geometria do talude.	152
Figura 42: Resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e da geometria do talude. (Continuação)	153
Figura 43: Ilustrativas do efeito da coesão e do ângulo de atrito sobre a estabilidade em (a) encostas baixas e (b) altas.....	154
Figura 44: Divisão do talude em Faixas de Altura.	155
Figura 45: Faixa de Altura baixa - resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.	159
Figura 46: Faixa de Altura média - resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.	161
Figura 47: Faixa de Altura alta - resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.	163
Figura 48: Faixa de Altura muito alta - resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.	165
Figura 49: Fator de Segurança e os parâmetros do talude.	166

Figura 50: Variação no Fator de Segurança versus variação de parâmetros.	167
Figura 51: Variação qualitativa no Fator de Segurança em função da variação em cada um dos parâmetros envolvidos na estabilidade da encosta.	168
Figura 52: Índice de segurança resultante qualitativo <i>versus</i> variação dos parâmetros.	168
Figura 53: Organização dos resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com a variação do parâmetro coesão, para cada Faixa de Altura.	172
Figura 54: Organização dos resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com a variação do parâmetro ângulo de atrito, para cada Faixa de Altura.	175
Figura 55: Organização dos resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com a variação do parâmetro peso específico, para cada Faixa de Altura.	178
Figura 56: Organização dos resultados gráficos das análises de estabilidade no talude genérico com a variação do parâmetro inclinação do talude, para cada Faixa de Altura.	181
Figura 57: Cálculo do Índice de Segurança Médio.	184
Figura 58: Definição gráfica da sensibilidade do modelo.	186
Figura 59: Fotos aéreas, curvas de nível e cursos d'água de um trecho da rodovia (com as pistas em paralelo), recortadas ao redor dos eixos (faixa total de 300m). ...	215
Figura 60: Arquivos SHAPE (a) das curvas de nível, (b) bordas da rodovia e acessos, (c) cursos de água e (d) eixos da rodovia com quilometragem.	217
Figura 61: Composição de mapa no <i>software</i> IDRISI, apresentando todos os arquivos vetoriais dos Elementos da Base Digital.	218
Figura 62: Composição de mapa no <i>software</i> IDRISI com arquivos vetoriais, MNT e a sombra sobre o terreno.	219
Figura 63: Composição de mapa no <i>software</i> IDRISI, (a) com os taludes rompidos representados por pontos e (b) com os taludes cadastrados durante a primeira fase (coleta de dados e expedições de campo) dos trabalhos.	220
Figura 64: Representação esquemática qualitativa da diferença de valores de estabilidade calculados para os valores de altura mediana dentro das Faixas de Altura Média.	227
Figura 65: Gráfico esquemático da relação entre os parâmetros coesão e ângulo de atrito <i>versus</i> Fator de Segurança <i>versus</i> altura do talude.	228
Figura 66: Desenvolvimento numérico e esquemático para a determinação dos intervalos de valores para os descritores para a Faixa de Altura média.	230

Figura 67: Desenvolvimento numérico e esquemático para a determinação dos intervalos de valores para os descritores para a Faixa de Altura média.	231
Figura 68: Desenvolvimento numérico e esquemático para a determinação dos intervalos de valores para os descritores para a Faixa de Altura média.	232
Figura 69: Legenda de Descritores e cores utilizadas no Mapeamento de Suscetibilidade realizado na tese.	232
Figura 70: Percentual e número de taludes por Faixa de Altura.	235
Figura 71: Distribuição das 9 folhas de mapa (a) distribuição geral e (b) exemplo de posicionamento da folha analisada.	238
Figura 72: Distribuição do número de taludes por Classe de Suscetibilidade em cada Faixa de Altura.....	239
Figura 73: Percentual de taludes classificados com Suscetibilidade Elevada ou Muito Elevada por Faixa de Altura.	239
Figura 74: Percentual de taludes com inclinação maior que 25° organizados por Faixa de Altura.	240
Figura 75: Relação chuva <i>versus</i> movimento fluxo de detritos para várias regiões (KANJI <i>et al.</i> 1997).	250

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comunicação e as etapas de um desastre (adaptado de MORA 2001)	52
Tabela 2: Atividades necessárias para a preparação de um inventário de deslizamentos (adaptado de FELL <i>et al.</i> 2008a)	74
Tabela 3: Recomendações sobre o tipo, nível de mapeamentos e escalas de mapas para zoneamentos de deslizamentos (adaptado de FELL <i>et al.</i> 2008a).	87
Tabela 4: Escalas de zoneamento e suas aplicações (adaptado de FELL <i>et al.</i> 2008a).	88
Tabela 6: Unidades de Terreno e critérios de reconhecimento (adaptado de LOLLO 1995).....	108
Tabela 7: Critérios de descrição das Unidades de Terreno (adaptado de LOLLO 1995).	108
Tabela 8: Variáveis Morfométricas (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a e LOLLO e GANDOLFI 1995).	113
Tabela 9: Comparativo entre a cartografia tradicional e a cartografia SIG (adaptado de CAMARA <i>et al.</i> 1996).	121
Tabela 10: Resultados das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e da geometria do talude.	151
Tabela 11: Faixa de Altura baixa - resultados das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.....	158
Tabela 12: Faixa de Altura média - resultados das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.....	160
Tabela 13: Faixa de Altura alta - resultados das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.....	162
Tabela 14: Faixa de Altura muito alta - resultados das análises de estabilidade no talude genérico com as variações dos parâmetros do solo e inclinação do talude.	164
Tabela 15: Organização das análises de estabilidade frente a variação do parâmetro coesão organizadas por Faixa de Altura.	171
Tabela 16: Organização das análises de estabilidade frente a variação do parâmetro ângulo de atrito organizadas por Faixa de Altura.	174

Tabela 17: Organização das análises de estabilidade frente a variação do parâmetro peso específico organizadas por Faixa de Altura.....	177
Tabela 18: Organização das análises de estabilidade frente a variação do parâmetro inclinação do talude organizadas por Faixa de Altura.	180
Tabela 19: Taludes da Faixa de Altura média utilizados para testes do modelo.	185
Tabela 20: Taludes da Faixa de Altura alta utilizados para testes do modelo.	185
Tabela 21: Taludes da Faixa de Altura muito alta utilizados para testes do modelo..	186
Tabela 22: Tabela de balizamento inicial do peso dos Mapas Temáticos.	188
Tabela 23: Valores de Fator de Segurança e variação no Fator de Segurança, calculados com o programa Slope/W, para a Faixa de Altura média (valores em negrito são os parâmetros de projeto do talude do km 670+790).	189
Tabela 24: Resultados do índice de segurança calculado com o Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica para os taludes da Faixa de Altura média. ..	191
Tabela 25: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura média – mapa temático de coesão.....	192
Tabela 26: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura média – mapa temático de atrito.	193
Tabela 27: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura média – mapa temático de peso específico.	193
Tabela 28: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura média – mapa temático de inclinação do talude.....	194
Tabela 29: Peso dos Mapas Temáticos para a Faixa de Altura média.	194
Tabela 30: Valores de Fator de Segurança e variação no Fator de Segurança, calculados com o programa Slope/W, para a Faixa de Altura alta (valores em negrito são os parâmetros de projeto do talude do km 668+650).	195
Tabela 31: Resultados do índice de segurança calculado com o Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica para os taludes da Faixa de Altura alta.	196
Tabela 32: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura alta – mapa temático coesão.....	197
Tabela 33: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura alta – mapa temático atrito.	198

Tabela 34: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura alta – mapa temático peso específico.	198
Tabela 35: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura alta – mapa temático inclinação.	199
Tabela 36: Peso dos Mapas Temáticos para a Faixa de Altura alta.	199
Tabela 37: Valores de Fator de Segurança e variação no Fator de Segurança, calculados com o programa Slope/W, para a Faixa de Altura muito alta (valores em negrito são os parâmetros de projeto do talude do km 667+900).	200
Tabela 38: Resultados do índice de segurança calculado com o Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica para os taludes da Faixa de Altura muito alta.	201
Tabela 39: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura muito alta – mapa temático coesão.	202
Tabela 40: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura muito alta – mapa temático atrito.	203
Tabela 41: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura muito alta – mapa temático peso específico.	203
Tabela 42: Avaliação da sensibilidade do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica, para a Faixa de Altura muito alta – mapa temático inclinação. ...	204
Tabela 43: Peso dos Mapas Temáticos para a Faixa de Altura muito alta.	204
Tabela 44: Cadastro de taludes realizado na tese, pista sul.	209
Tabela 45: Cadastro de taludes realizado na tese, pista norte.	210
Tabela 46: Banco de dados do trecho analisado na tese, km 666 ao km 672 da BR-376 PR.	213
Tabela 47: Dados dos taludes rompidos que foram utilizados na Espacialização, organizados por Faixa de Altura.	225
Tabela 48: Valor médio de IS_R para cada Faixa de Altura, calculados utilizando os mesmo taludes para os testes do MGEC.	235

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

km	Quilometragem, refere-se a localização na rodovia dos taludes
ALS	Autopista Litoral Sul
CAD	<i>Computer Aided Design</i> , em português, desenho auxiliado por computador
SIG	<i>Geographic Information System</i> , em português, Sistema de Informação Geográfica, GIS
SHAPE	Tipo de arquivo digital utilizado em <i>software</i> SIG
GPS	Global Position System, em português, sistema de posicionamento global
sigVIA	Programa de gerenciamento da utilizado pela ALS
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MDT	Modelo Digital do Terreno
MGEC	Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica
FS	Fator de Segurança
H	Altura do talude
A_{med}	Inclinação média do talude
IS_R	Índice de Segurança Resultante
$IS_{R\ médio}$	Índice de Segurança Resultante médio
IS_{modelo}	Índice de Segurança Modelo, valor final de segurança da encosta calculado com o MGEC
IG	Instituto Geológico – São Paulo
ITCG	Instituto de Terras Cartografia e Geociência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
JTC1	<i>Joint Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes</i>

ISSMGE	<i>International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering</i>
IAEG	<i>International Association for Engineering Geology and the Environment</i>
ISRM	<i>International Society for Rock Mechanics</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
UNDRO	<i>United Nations Disaster Relief Organization</i>
TRIGRS	<i>Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model</i>
SINMAP	<i>Stability Index Mapping</i>
SHALSTAB	<i>Shallow Landslide Stability Analysis</i>
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UNISDR	<i>United Nations Office for Disaster Risk Reduction</i>
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas ao leitor as condições gerais sobre a qual a tese se apoia (contextualização), as razões que justificam os trabalhos desenvolvidos, os objetivos e a organização da tese de doutoramento.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA TESE

A redução das ameaças impostas por deslizamentos de taludes à população e à infraestrutura tem se solidificado como um tópico de repercussão internacional. A temática está na vanguarda da ciência Geotécnica, sendo um desafio a pesquisadores, engenheiros e às políticas urbanísticas/sociais.

Quanto aos desastres naturais, encontra-se na literatura afirmações do tipo: danos associados a desastres naturais superam em muito os causados por todas as guerras, e os desastres naturais são a maior ameaça à sobrevivência humana, conforme BRASIL (2007a) – Ministério da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Defesa Civil). Não se tem certeza quanto a estas afirmações (não foram encontradas outras citações semelhantes), contudo, os desastres naturais são causadores de um grande número de óbitos.

Segundo BRASIL (2007b) – Ministério da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Defesa Civil), como consequência do desenvolvimento tecnológico e econômico, sem a observância dos moldes de segurança da sociedade, os desastres serão cada vez mais intensos devido à deterioração ambiental (que levam a mudanças climáticas), potencializando a vulnerabilidade das edificações e obras de infraestrutura.

De acordo com o BRASIL (2007c) – Ministério da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Defesa Civil), não há uma estimativa das perdas econômicas

associadas a desastres naturais no Brasil, mas certamente as cifras atingidas são enormes. Todavia, só nos Estados Unidos estima-se (mesmo lá é difícil de quantificar as perdas, pois os registros não são rotineiramente realizados após cada evento) que os deslizamentos de terra causam, todos os anos, perdas de 1 a 2 bilhões de dólares, com uma média de óbitos que ultrapassa 25 fatalidades, USGS (2011) e CORNFORTH (2005). No Brasil tem havido uma sequência de grandes acidentes com deslizamentos, especialmente nos últimos 5 anos. Entre os acidentes mais relevantes, temos Santa Catarina em 2008, e o Rio de Janeiro em 2009 (litoral sul) e 2010 (capital) e 2011 (região serrana), onde centenas de pessoas perderam a vida e os danos econômicos foram enormes.

O desastre catarinense foi desencadeado por um longo período chuvoso, 56 dias, seguido por uma chuva torrencial de 4 dias, onde precipitaram aproximadamente 800 mm. Este fenômeno foi o deflagrador da tragédia que teve os seguintes números: (a) no município de Gaspar (55 mil habitantes) 1.000 casas foram destruídas, (b) muitas obras aparentemente bem construídas foram danificadas, (c) cerca de 4.000 deslizamentos, (d) 135 vítimas fatais, (e) 78 mil desabrigados e (f) 51 municípios atingidos, segundo BRESSANI (2009) e MARINHO (2009). Em relação às características dos acidentes geotécnicos de novembro de 2008. BRESSANI (2009) comenta: (i) diferentes tipos de ocorrências tais como ruptura de cortes, aterros e encostas naturais, (ii) em diversos pontos foram verificados fenômenos de liquefação (que levaram a escorregamentos rápidos), (iii) grandes volumes de água percolando através do solo e superficialmente, (iv) as rupturas podem ter sido catalisadas pelo enchimento de trincas no terreno que geram empuxo e (v) evidências testemunhais de fluxo subterrâneo muito acentuado, percebido pela água saindo de pequenos orifícios nos cortes.

Embora os custos para atuar pós-evento sejam muito maiores que os custos de aplicação de medidas preventivas, a Defesa Civil brasileira, apesar de seus esforços, alcançou poucos avanços na redução da exposição da população aos desastres, BRASIL (2007b) e BRASIL (2007c) - ambas do Ministério da Integração Nacional - sendo que os referidos esforços têm sido um ponto controverso entre pesquisadores. A identificação do perigo a que uma determinada atividade humana está sujeita é imprescindível para definir a sua vulnerabilidade, porém esta definição não é trivial,

devido à sua temática multidisciplinar (Geotecnia, Geologia, Engenharia Civil, Meio Ambiente, Política, Economia, Geografia e Sociologia...).

Os escorregamentos de terra, foco do trabalho desta tese, se configuram entre os desastres naturais que mais causam vítimas fatais no país. Segundo MACEDO (2004), no Brasil não há um banco de dados quantitativo oficial que possibilite aos pesquisadores analisar adequadamente os acidentes naturais e suas consequências, especialmente os de origem geológica. A partir da coleta de informações na imprensa o autor conseguiu estimar alguns números que indicam que os danos associados a enchentes/inundações são os que possuem maior frequência e perdas econômicas, MACEDO (1999) e MACEDO (2004). Por outro lado, os escorregamentos são os que causam maiores perdas humanas (óbitos). IG (2009) - Instituto Geológico do Governo do Estado de São Paulo - complementa: além do maior número de vítimas fatais, os escorregamentos são responsáveis por importantes prejuízos materiais, destacando os desastres ocorridos em 1967, na Serra das Araras (RJ) e Caraguatatuba (SP) que geraram um número de óbitos estimados em 1.320 e a destruição de centenas de edificações (próximo ao número de óbitos totais ocorridos no Brasil entre 1988 e 2004, ver figura 1). Adicionando-se isto a leitura de MACEDO (1999) é possível perceber que são os grandes eventos isolados que causam os maiores números de registros de vítimas fatais por escorregamentos.

Na figura 1 são sintetizados os dados encontrados na literatura nacional a respeito dos óbitos decorrentes de escorregamentos no Brasil. Observando a figura 1, alguns fatores importantes podem ser ressaltados: (a) o total de óbitos causados por escorregamento no Brasil está aumentando e (b) a média anual de óbitos apresenta uma tendência de aumento. As pequenas diferenças entre os valores de óbitos por ano na figura 1 se devem à atualização dos dados, MACEDO (2011). Na referida figura optou-se por apresentar, também, os dados mais antigos, para mostrar a necessidade de periodicamente revisar/atualizar os bancos de dados, tema que será abordado mais adiante no texto.

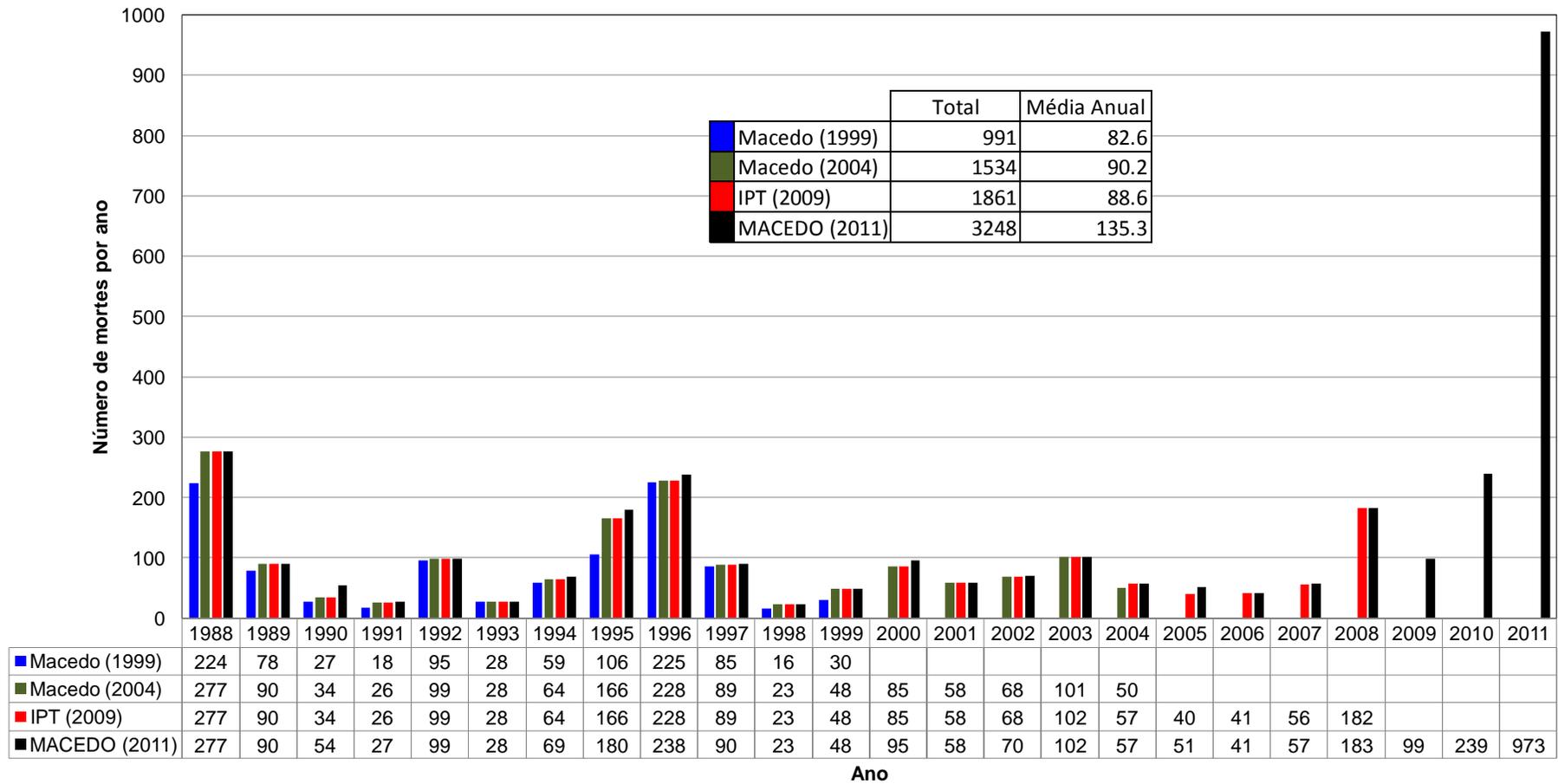


Figura 1: Número de óbitos por ano (adaptado de MACEDO 1999, MACEDO 2004, IPT 2009 e MACEDO 2011).

A distribuição de desastres no Brasil não se dá de forma homogênea. Segundo KOBAYAMA *et al.* (2006), os estados mais atingidos por deslizamentos são: Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Paraíba. Dados semelhantes são encontrados em MACEDO (1999), ver figura 2.

Desenhado este quadro, fica claro que a perda de vidas está aumentando pelo aumento da frequência dos grandes eventos (média anual crescente de óbitos). Cabe ressaltar que os dados da figura 2 são anteriores aos acidentes recentes que ocorreram, por exemplo, no estado do Rio de Janeiro (cidade e interior). Para combater estas calamidades é necessário que a infraestrutura e as cidades estejam preparadas e organizadas, tendo como base o mapeamento de áreas de risco e criação de medidas regulativas efetivas de ocupação/construção.

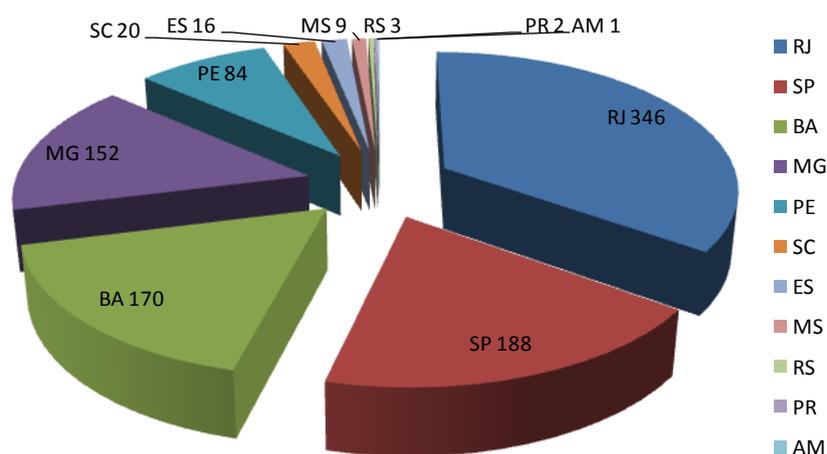


Figura 2: Número de óbitos por estados no período de 1988 a 1999 (adaptado de MACEDO 1999)

1.2 JUSTIFICATIVA

É imperioso que se conheça o risco a que as atividades humanas estão sujeitas para avaliar que medidas de prevenção/proteção são necessárias. FELL *et al.* (2008a) sintetizam a questão observando que (a) o passado serve como guia para o futuro. Em outras palavras, regiões que tiveram deslizamentos no seu passado muito provavelmente sofrerão novamente e (b) e áreas com a mesma topografia, geologia e

geomorfologia que as que sofreram deslizamento no passado também são propensas a deslizamentos.

Cabe aqui uma observação sobre conceitos. Nesta parte inicial do texto da tese, não será feita distinção entre as nomenclaturas empregadas pelas referências bibliográficas (por exemplo, perigo e risco) mantendo-se como nos originais. Mais adiante será dada uma atenção maior ao tema.

Conforme é comentado no texto de FELL *et al.* (2005), lidar com deslizamentos de taludes naturais, cortes e aterros, sempre envolveram, de alguma forma, a avaliação e gerenciamento de risco. Contudo, isto era feito com base no julgamento e experiência dos engenheiros envolvidos. Apenas nos anos 70 é que começaram a surgir aplicações mais formais de avaliação de riscos e gerenciamento, tanto para zonas urbanas quanto para rodovias. LEROI *et al.* (2005) adicionam ao tema uma questão emblemática; apesar do progresso da ciência, da tecnologia e da prevenção de risco, paradoxalmente as sociedades parecem menos preparadas para encarar os desastres e reduzir seus efeitos. LEROI *et al.* (2005) dizem que isto se deve ao fato que as metodologias desenvolvidas não conseguiram reduzir o impacto dos desastres naturais, sendo necessário conhecer melhor os fenômenos. Os autores atribuem a isto o fato de que a sociedade técnica passou muito tempo preocupada com os processos físicos envolvidos na determinação de soluções técnicas e estruturais, enquanto que soluções mais qualitativas e globais ficaram na periferia das discussões.

Também é muito recente no Brasil a incorporação de mapeamentos de riscos em projetos lineares (por exemplo, rodovias - alvo de estudo da tese). Quando se trata de rodovias, que periodicamente têm problemas com movimentos de massa, geralmente se atua apenas de forma reativa: ocorrem deslizamentos e então se parte para investigações geotécnicas e retroanálises para determinar as contenções mais adequadas. Com isto, as rodovias sofrem com interrupções e os custos de operação disparam frente às constantes tormentas. KELLY *et al.* (2005) corroboram esta ideia dizendo que, quando se trata de movimentos de massa, já há um pleno domínio técnico no que tange à investigação e monitoramento de deslizamentos, porém as metodologias de avaliação de nível de perigo e estratégias de gestão de riscos (ou investimentos) não conseguiram desenvolver-se com a mesma velocidade.

Percebendo a necessidade de contribuir para a criação de uma cultura de controle de risco geotécnico, esta tese busca agregar informações para o mapeamento de deslizamentos e estratégias de minimização de riscos associados. Para tanto, será fundamental discutir a falta de convergência (nacional e internacional) tanto no que diz respeito à nomenclatura quanto no que diz respeito às metodologias de mapeamento propriamente ditas. Assim, serão debatidas as dificuldades encontradas - consequência da característica multidisciplinar do tema e das dificuldades geotécnicas de fazer um mapeamento. Além do debate sobre as dificuldades, serão apontados caminhos para o aperfeiçoamento da técnica. Com isto, é esperado que seja possível contribuir para o estado da arte sobre o tema.

No que tange à parte de desenvolvimento de conhecimento acadêmico da tese, será construído um Modelo Geomecânico para avaliar cartograficamente a estabilidade de encostas. Este modelo faz uso das atuais metodologias de análise de estabilidade de taludes, e pode analisar rupturas rotacionais (também conhecidas como circulares), translacionais de solo e compostas (associação de mais de um tipo de ruptura, no caso, rotacional e translacional de solo).

Com o modelo foi possível mapear a Suscetibilidade a Deslizamentos da rodovia BR-376 PR que liga Florianópolis (SC) e Curitiba (PR), subtrecho compreendido entre km 666 ao km 672. Boa parte do local é encravado em serra, ou seja, de relevo muito acidentado. O trecho tem sofrido nos últimos anos frequentes interrupções de tráfego devido a deslizamentos.

Por estas razões, o mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos do trecho da rodovia em questão se justifica, pois permitirá a criação/refinamento de um modelo adaptado às condições brasileiras (clima e solos tropicais). A metodologia que servirá como base dos trabalhos será aquela recomendada nas diretrizes do Comitê Técnico de Deslizamento em Taludes Naturais e Artificiais, JTC1 (*Joint Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes*) da ISSMGE (*International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*), IAEG (*International Association for Engineering Geology and the Environment*) e ISRM (*International Society for Rock Mechanics*).

1.3 OBJETIVOS

Em linhas gerais, os temas que serão tratados nesta pesquisa dizem respeito à (a) minimização de risco de deslizamento em ambientes urbanos e em projetos lineares (especialmente rodovias), (b) metodologias de mapeamento e (c) desenvolvimento de um modelo capaz de indicar cartograficamente a estabilidade das encostas. Ao longo do trabalho também serão discutidas questões relativas a (i) comunicação e educação, questões primordiais para a redução dos riscos nos ambientes urbanos e (ii) problemas associados a redução de riscos em países pobres.

Os principais objetivos são:

- aplicar uma metodologia de Mapeamento de Suscetibilidade de Deslizamento;
- adaptação da metodologia de Avaliação do Terreno e Geomorfologia para distribuição de parâmetros de solo em grandes áreas - Espacialização;
- criação de algoritmos de interpolação dos Mapas de Parâmetros que permitam a correta construção do Modelo Geomecânico dos taludes;
- fazer um mapeamento de Suscetibilidade a deslizamentos como forma de aplicação prática;
- auxiliar para o avanço científico do mapeamento de deslizamentos;

1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE

O texto da tese encontra-se dividido em 11 Capítulos:

- Capítulo 1 é feita uma apresentação do tema da tese, onde são salientados os objetivos, a justificativa e a relevância deste tema;
- Capítulo 2 é apresentada uma discussão sobre as divergências nas nomenclaturas aplicadas a mapeamento de deslizamentos;
- Capítulo 3 se discute o atual estado da arte relativo à minimização de riscos a deslizamentos em ambientes urbanos e em projetos lineares (rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, oleodutos...);

- Capítulo 4 é revisado o panorama atual sobre a metodologia de mapeamento de riscos de deslizamentos encontrados na literatura internacional;
- Capítulo 5 são apresentadas as metodologias utilizadas para compreensão do terreno (Geomorfologia e Avaliação do Terreno);
- Capítulo 6 revisa-se as atuais plataformas digitais que auxiliam na execução de mapeamento - Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Capítulo 7 é descrita a região onde serão desenvolvidos os trabalhos práticos de mapeamento;
- Capítulo 8 discutido o desenvolvimento e a forma na qual o Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica (MGEC) foi concebido;
- Capítulo 9 é apresentada a dinâmica dos trabalhos de mapeamento de Suscetibilidade;
- Capítulo 10 são mostrados os resultados práticos do Mapa de Suscetibilidade feito com o MGEC;
- Capítulo 11 são discutidas as conclusões sobre os trabalhos desenvolvidos na tese e sugeridas linhas de pesquisa para as futuras pesquisas que se debrucem sobre o mesmo tema.

Por fim, são apresentadas as Referências Bibliográficas para elaboração da tese e os Anexos.

2 DEFINIÇÃO DE TERMOS

Para qualquer forma de comunicação ou linguagem (desenho, escrita, programação,...) existem padrões e regras, para que todos os usuários compreendam o que se está dizendo. Quando o assunto é mapeamento de risco não há um padrão bem estabelecido de termos técnicos, fazendo surgir a primeira dificuldade nos trabalhos de zoneamento de deslizamento, que é a falta de padronização na terminologia e metodologia. O foco deste Capítulo é apresentar as diversas posições sobre terminologia encontradas nas referências bibliográficas.

No Canadá, em 2004, o Ministério das Florestas, da província da Colúmbia Britânica, publicou um manual sobre estudo de risco de deslizamento para planejamento de operação de florestas. Entre outros itens, o manual apresentou os termos técnicos que devem ser empregados para análise de riscos de deslizamentos, VANDINE *et al.* (2005). Por questões legislativas da região, os geotécnicos foram incumbidos da tarefa de análise de risco de deslizamento associados a florestas, que são frequentes naquela região. Os resultados das análises são muito utilizados (por biólogos, profissionais que trabalham com florestas e governos). Desta forma, o Ministério das Florestas recomendou que todos os estudos obedecessem à nomenclatura publicada.

O Ministério das Cidades, associado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), BRASIL (2007d) – Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Secretaria Nacional de Programas Urbanos) - visando criar uma referência nacional, definiu alguns termos técnicos utilizados em mapeamento de riscos em encostas e margens de rios (evento, perigo, vulnerabilidade, suscetibilidade, risco e área de risco). Contudo, os termos adotados pelo Ministério das Cidades não são completamente semelhantes ou compatíveis com os termos adotados no “Glossário de Defesa Civil, Estudo de Riscos e Medicina de Desastres” – BRASIL (2004) – Ministério

da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Defesa Civil) - feito pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, órgão do Ministério da Integração Nacional. É de notar que termos importantes não são citados neste glossário e que ele não possui características específicas para a Geotecnia, pois abrange uma vasta gama de estudo de risco.

A Organização das Nações Unidas (ONU), preocupada com os avanços dos desastres naturais, escolheu a década de 90 como a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais. Assim, a partir daquele momento, foram publicados por ela vários textos referentes ao assunto. A terminologia também foi uma das preocupações da ONU, por isto, em 2009, lançou os Termos Básicos de Redução de Riscos de Desastres, UNISDR (2009). O objetivo do documento era promover uma terminologia comum a todos. Assim, os termos adotados servem para muitas outras tarefas, além daquela de mapeamento de deslizamento de encostas.

Preocupados com as diversas nomenclaturas utilizadas no mapeamento de risco de deslizamento, o JTC1 (*Joint Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes*) da ISSMGE, IAEG e ISRM reuniu mais de 40 pesquisadores de vários países (inclusive do Brasil) para que juntos definissem uma padronização, tanto no que se refere a métodos quanto no que tange à terminologia de mapeamento de risco geotécnico. Esta reunião gerou os documentos (i) FELL *et al.* (2008a) – que expande o trabalho de FELL *et al.* (2005) - e (ii) FELL *et al.* (2008b) - um novo documento com observações feitas sobre o primeiro. Nestes artigos foram definidos métodos e termos específicos para zoneamento de escorregamentos de encostas. Nos documentos é fortemente recomendado que eles devam ser utilizados como guias nestes tipos de trabalhos. Associado a isto há um grande grupo de pesquisadores no Brasil que passaram a trabalhar com os textos (apesar disto, não há um consenso nacional sobre esses trabalhos).

Com base no que foi explicado acima, nesta tese foram adotadas as recomendações encontradas em FELL *et al.* (2008a) e FELL *et al.* (2008b). Assim, de agora em diante os termos utilizados na tese são aqueles definidos no JTC1. Apenas durante a revisão bibliográfica, onde dezenas de referências são pesquisadas, foi mantida a nomenclatura que cada autor utilizou no texto original consultado. Isto evita o emprego de termos com sentidos que não sejam aqueles almejados pelos autores do texto consultado.

Abaixo serão apresentados os termos mais relevantes que foram adotados na tese, conforme FELL *et al.* (2008a) e FELL *et al.* (2008b), para a perfeita compreensão do leitor. Cabe salientar que as definições foram traduzidas o mais fielmente possível. Além dos termos apresentados pelos pesquisadores, também serão expostos termos que foram empregados pelo autor da tese para o desenvolvimento do trabalho.

Inventário de Deslizamentos – reunião de dados sobre os deslizamentos já ocorridos, tais como: localização, classificação, volume, atividade e data de ocorrência de deslizamentos.

Suscetibilidade a deslizamento – avaliação de deslizamentos que existem ou potencialmente podem ocorrer na área avaliada.

Perigo de deslizamento - uma condição com potencial de causar uma consequência indesejável. A descrição do perigo de deslizamento deve adicionar à suscetibilidade de deslizamento, entre outras questões, uma análise de frequência estimada de deslizamentos.

Vulnerabilidade – O grau de perda de um dado elemento ou conjunto de elementos inseridos em uma área afetada pelo perigo de deslizamento. Para propriedades, a perda vai ser o valor do dano relativo ao valor da propriedade; para pessoas, vai ser a probabilidade de vidas a serem perdidas, dado o número de pessoa(s) que serão afetadas pelo deslizamento.

Risco de deslizamento – uma medida de probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedades e meio ambiente. O risco calcula a probabilidade de dano, pois já são conhecidas as vulnerabilidades e perdas esperadas do sistema mapeado no caso de um evento.

Análise Qualitativa – uma análise que usa palavras, escalas descritivas ou numéricas de classificação para descrever seus resultados.

Análise Quantitativa – uma análise baseada em valores numéricos de probabilidade, vulnerabilidade/consequências, resultando em um valor numérico, por exemplo, de risco.

Serão sinônimos de movimento de massa as palavras rupturas, escorregamentos e deslizamentos.

Rupturas circulares e rotacionais terão o mesmo significado.

Taludes e encostas terão a mesma conotação (embora encostas sejam naturais sempre).

Mapeamento e Zoneamento serão utilizados como sinônimos.

3 REDUÇÃO DE RISCOS EM TALUDES

Neste Capítulo serão discutidas as questões referentes à minimização de riscos humanos, financeiros e ambientais, quando ficam sujeitos a movimentos de massa capazes de gerar danos. A minimização será abordada sobre duas óticas: ocupação de cidades (residencial, comercial e industrial) e de infraestrutura ou projetos lineares (ferrovias, rodovias, redes de distribuição,...). Apesar do objetivo maior desta tese ser o mapeamento de uma rodovia (infraestrutura), a maioria das temáticas envolvidas no gerenciamento converge em ambos, como será visto nos parágrafos que se seguem.

No que tange à Geotecnia, especialmente à estabilidade de taludes, a população fica vulnerável devido à ocupação de terrenos inadequados para o desenvolvimento – pela construção de estradas e ferrovias, áreas residenciais, comerciais e industriais. Quando regiões instáveis são utilizadas, eventos como deslizamentos (escorregamentos) de terra, fluxo ou corrida de detritos e quedas, tombamento e rolamentos de blocos, podem gerar grandes catástrofes. CLAYTON (2001) comenta que o método tradicional para o controle de riscos associados ao subsolo passa por uma completa investigação e projeto geotécnico, produzindo um plano robusto e bem acertado às condições do subsolo. O autor ainda comenta que, apesar de nenhuma construção estar isenta de riscos, esses podem ser minimizados, manejados (controlados), compartilhados, transferidos ou aceitos, porém não podem ser ignorados.

Dentro deste espectro, salienta-se a importância das medidas que buscam reduzir riscos em taludes, com a finalidade de definir um plano de ocupação humana mais razoável, que utilize intervenções geotécnicas indiretas, de baixo custo, evitando medidas mais dispendiosas, em geral pontuais, HIGHLAND E BOBROWSKY (2008).

No que tange às rodovias, a partir do mapeamento é possível ajudar na gestão desta, através de: (a) redução de custo com seguro, (b) sinais de alerta em condições meteorológicas desfavoráveis, (c) simulação dos efeitos de uma determinada intervenção em uma região problemática, (d) servir como base de dados para anteprojetos de Engenharia, (e) priorização de intervenções, entre outras. Estas mesmas características também são aplicáveis a ambientes urbanos.

Os fatores aqui discutidos devem ser observados pela política de ocupação nacional, pois se o Brasil deseja crescer de forma consolidada precisa ter um projeto bem estruturado de nação. Para isso, no que diz respeito ao tema desta tese, é necessário: (a) desenvolvimento sustentável, (b) redução de desastres, (c) proteção ambiental e (d) bem-estar social, existindo uma importante interação entre estes pontos. Como afirma BRASIL (2007b) – Ministério da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Defesa Civil): *“é imperioso que o processo de planejamento do desenvolvimento nacional contemple, de forma clara e permanente, a prevenção dos desastres”*.

3.1 CONCEITUAÇÃO GERAL

Normalmente as notícias mais divulgadas na imprensa a respeito de desastres ligados à estabilidade de encostas são em regiões urbanas, apesar destas ocorrências não serem uma exclusividade deste tipo de ocupação. Isto é facilmente explicado pelo fato dos maiores danos visíveis, quer sejam humanos quer sejam financeiros, ocorrerem quando regiões mais fortemente antropizadas são atingidas, conduzindo a calamidades. No caso de rodovias, o número de vítimas fatais é menor, contudo os custos financeiros (mais discretos ou silenciosos) também chegam a grandes cifras, visto que muitas das rodovias atingidas são artérias de escoamento da produção do país, que tem como principal modal de transporte o rodoviário.

A urbanização (crescimento mais acelerado da população urbana que a rural) é um fenômeno moderno e irrefreável, observado a partir, principalmente, do século XIX, após a expansão causada pela revolução industrial. Estima-se que em 2008 mais da metade de população mundial (3,35 bilhões de pessoas) passou a viver em cidades. Segundo BANDEIRA e COUTINHO (2008), em países pobres a ocupação das cidades vem se tornando um problema ainda maior, devido à desordem com que esta ocupação acontece, conduzindo a problemas socioambientais, de infraestrutura,

alterações nos sistemas naturais e habitações situadas em áreas de risco. Ainda segundo os mesmos autores, por muitas vezes, regiões que necessitem de maiores investimentos para ocupação (planícies de extravasamento de corpos hídricos, manguezais, zonas estuarinas e encostas) são deixadas de lado. BANDEIRA *et al.* (2008) complementa argumentando que essas regiões acabam sendo utilizadas pela parcela da população mais carente, deixando a cargo dos governos, de todas as esferas, a tarefa de mitigar os efeitos e as consequências da ação antrópica da população mais vulnerável, que possui baixa capacidade de autoproteção.

Em relação às encostas, há um modelo característico da implantação de moradias, BANDEIRA e COUTINHO (2008). As edificações são implantadas em patamares, gerados a partir de cortes no terreno natural, sem a observância das boas práticas de Engenharia Geotécnica. Normalmente o material escavado é lançado sobre a borda da encosta, sem qualquer compactação. Mesmo em obras rodoviárias, algumas vezes as porções mais inferiores dos aterros não são compactadas, o que acaba levando à ruptura destes taludes, AZAMBUJA (2010). Segundo BANDEIRA e COUTINHO (2008), citando SCHUSTER (1996), no século XXI há expectativa que os movimentos de massa continuem, devido à remoção da vegetação, aumento das precipitações (sequela das mudanças climáticas), além da urbanização já citada.

Para transpor a intrincada problemática da ocupação humana, é necessário que se desenvolva um plano de gerenciamento, com uma abordagem multidisciplinar. Neste contexto será feita nas páginas que se seguem, uma abordagem sobre essa temática, no que diz respeito à estabilidade de taludes. Além de um enfoque geotécnico, também é contemplado o ponto de vista financeiro e humano da questão (visto que estes, para uma análise correta, não podem ser deixados de lado).

3.2 GESTÃO DE RISCOS EM TALUDES

A ocupação humana tem sofrido com crescente número de calamidades nos últimos anos. Na **figura 3** isto fica claro, onde desastres naturais como tempestades, tormentas e chuvas (intimamente ligados à estabilidade de taludes), no período 1980 a 2007, foram os que mais cresceram no planeta, o que levou a triplicar o número de deslizamentos de terra, MUNICH RE (2007).

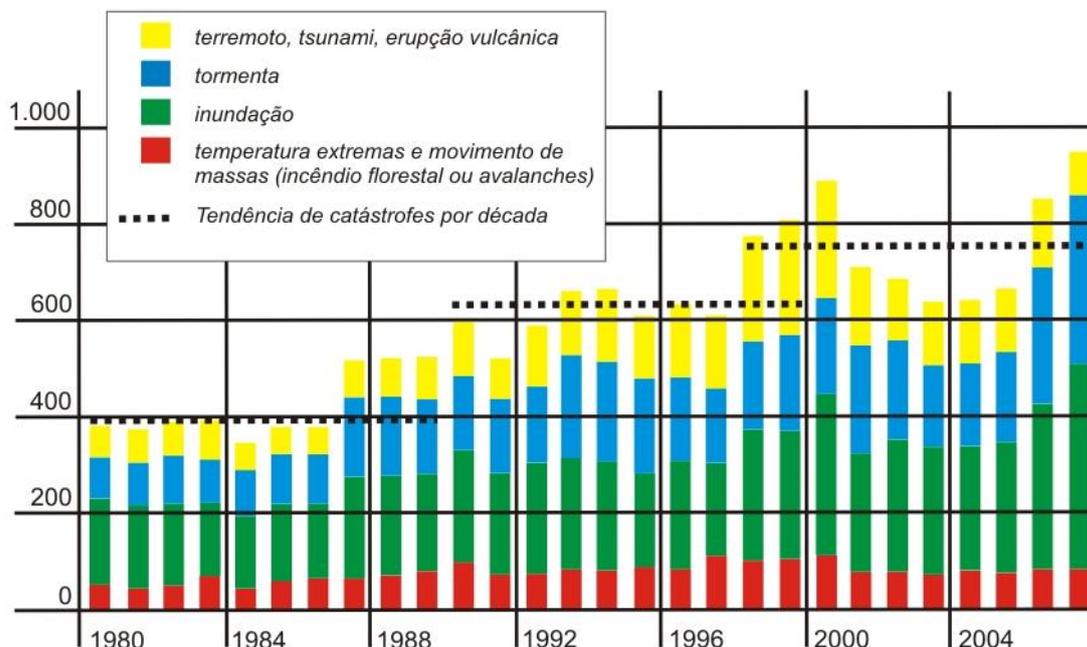


Figura 3: Número de catástrofes naturais no mundo entre 1980 e 2007 (adaptado de MUNICH RE 2007)

De fato, é necessário que se desenvolva um plano de ocupação territorial, sendo parte integrante deste plano o gerenciamento de riscos em taludes (encostas). Cabe aos governos federal, estadual e municipal, definir as diretrizes a serem seguidas e fazer com que essas sejam cumpridas.

BANDEIRA e COUTINHO (2008) comentam que: há uma semelhança no processo de gerenciamento de riscos (atividades análogas a serem desenvolvidas) no Brasil e no resto do mundo. Algumas semelhanças podem ser exemplificadas: (a) pelo programa bem sucedido para redução de riscos de escorregamentos norte americano – *U.S. Geological Survey* 1982, (b) pelas estratégias indispensáveis para gerenciamento de riscos sugeridas pela Organização das Nações Unidas – UNDRO (1991) e (c) FELL e HARTFORD (1997) e FELL *et al.* (2005). Uma descrição sucinta destas é feita abaixo.

O Plano Norte-americano segue as seguintes premissas, conforme COSTA (2005):

- base adequada de informações técnicas;
- comunidade técnica apta a aplicar e ampliar esta base de dados;

- governo local habilitado e preocupado com o problema;
- cidadãos conscientes do valor do plano (mantendo assim o programa que promoverá a saúde, segurança e bem-estar geral da sociedade).

As estratégias traçadas em UNDRO (1991):

- identificação e análise de riscos;
- ações não estruturais de redução de risco (criação de planos preventivos, de monitoramento e de emergência);
- ações estruturais de redução de desastres (consistem em obras de Engenharia);
- informações públicas e treinamento;
- Planejamento para emergências.

Os processos de gerenciamento descritos por FELL e HARTFORD (1997) e FELL *et al.* (2005), se dividem em 3 grandes abordagens principais.

- análise de risco;
- avaliação de risco;
- gerenciamento de risco.

A seguir serão discutidas as etapas de gerenciamento de risco, segundo a esquematização proposta em UNDRO (1991), visto que, na visão deste autor, esta proposta engloba todos os planos citados. Portanto todas as três estratégias serão utilizadas para a construção do raciocínio, além de outras referências que serão citadas oportunamente. A discussão, para facilitar o entendimento do leitor, será dividida em dois subitens: (i) estratégias de gerenciamento de risco urbano – item 3.2.1 e (ii) estratégias de gerenciamento de risco de projeto lineares – item 3.2.2.

3.2.1 Estratégias de gerenciamento de risco urbano

A definição entre as melhores estratégias de gerenciamento de escorregamentos de terra, segundo COSTA (2005), deveria estar apoiada nos custos, sem necessariamente serem custos financeiros. Conforme estes autores seriam os custos iniciais/diretos (por exemplo, construção ou remoção), custos sociais e potencial de ruptura que deveriam ser considerados, visto que as opções entre

gerenciamento são feitas sobre o imponderável, ou seja, os futuros eventos desencadeadores de instabilidade de encostas (tempestades, terremotos,...) que não possuem previsão certa.

SCHUSTER e KOCHEKMAN (1996), explicam que existem três opções fundamentais que servem de alternativas de gerenciamento, que devem ser avaliadas pelos governos para a redução de ameaças naturais: (a) não tomar atitude, (b) prover auxílio e assistência à reabilitação pós-sinistro e (c) tomar posição proativa para frear e contornar as ameaças de deslizamentos a fim de evitar danos sérios. Quando a opção de gerenciamento adotada é proativa, existem passos para o gerenciamento de riscos em ambientes urbanos, que serão descritos abaixo, itens 3.2.1.1 a 3.2.1.4.

3.2.1.1 Identificação e análise de riscos

Para a posição proativa de gerenciamento, a identificação e análise de riscos é a pedra fundamental sobre a qual se apoiará todo o restante das ações para mitigação de riscos. Sendo assim, as etapas de trabalho podem ser divididas em duas: (a) identificação de riscos (mapeamento, que será abordado em capítulo específico) e (b) análise de riscos identificados. No trabalho realizado por BANDEIRA *et al.* (2008) na região Metropolitana de Recife, os autores comentam que estas etapas foram realizadas por equipes técnicas compostas por geólogos, engenheiros civis e assistentes sociais em parceria com técnicos da Defesa Civil.

Para a identificação de risco, a metodologia de trabalho consiste, na ordem, em trabalhos de escritório e de campo, BANDEIRA *et al.* (2008). Este processo resultará no mapeamento das áreas de risco, conforme recomenda o Ministério das Cidades para os municípios brasileiros:

- com uma avaliação qualitativa básica dos riscos, avaliando suscetibilidade dos solos - declividade, tipo de material envolvido e características de drenagem superficial e subsuperficial MENDONÇA *et al.* (2008);
- com uma avaliação qualitativa básica da vulnerabilidade de determinado ambiente exposto aos acidentes - ou seja, situação de ocupação do solo que compreende densidade de moradias, cortes, aterros, lançamento de detritos, sobrecargas, desmatamentos e redes de água e esgoto MENDONÇA *et al.* (2008).

Ainda segundo BANDEIRA *et al.* (2008), deve-se considerar a vulnerabilidade da população afetada (quantidade de moradias e equipamentos públicos ameaçados, além do cadastramento socioeconômico da população) pelos prováveis acidentes.

Assim, os trabalhos de escritório são: (a) construção de base cartográfica georeferenciada em escala adequada, (b) levantamento de dados disponíveis (mapas, cadastros,...) obtidos em pesquisas bibliográficas e banco de dados dos municípios, (c) pré-setorização das áreas de risco.

Concluídos os trabalhos de escritório (análise preliminar dos dados existentes) passa-se aos trabalhos de campo, seguindo as indicações determinadas na pré-setorização. Segundo BANDEIRA *et al.* (2008), os principais materiais utilizados nos trabalhos de campo são: (a) fichas de avaliação de risco e fichas das intervenções de Engenharia, (b) mapas, (c) *checklist* de itens a serem observados, (d) câmera digital para o registro das situações de risco no campo e (e) GPS para anotação de coordenadas. Os dados coletados em campo são lançados no mapa base das áreas vistoriadas, e podem ser compilados e empregados em um sistema de Geoinformação (sistema automatizado que armazena, analisa e manipula dados - ver Capítulo 6).

Do que já foi comentado sobre a ocupação humana, fica evidente que a análise de riscos se tornou uma prática indispensável para gerir problemas da antropização do meio ambiente. Segundo FELL e HARTFORD (1997) e FELL *et al.* (2005), esta análise inclui avaliação do perigo e das consequências, esta última compreendendo a identificação e quantificação de elementos em risco (humanos e materiais), além da probabilidade espaço/tempo de perdas de vidas e bens. Esses autores ainda comentam que é necessário fazer uma avaliação do risco, que é a etapa onde se faz o julgamento do risco, baseado em critérios de aceitação. Os critérios de aceitação são os julgamentos de riscos toleráveis ou não, feitos através da demanda social e regulamentação da área, além de verificar se as medidas mitigadoras que estão sendo utilizadas são apropriadas para controle do risco. Assim, é possível definir graus de riscos (baixo, médio, alto e muito alto) a cada região inspecionada, pois desta forma é possível priorizar as intervenções.

Terminados os trabalhos descritos anteriormente, é possível definir as estratégias que serão adotadas para gerenciamento do risco nas áreas estudadas,

conforme a urgência de cada região. Estas estratégias podem ser ações não estruturais (item 3.2.1.2) ou ações estruturais (item 3.2.1.3).

No Brasil, através do Ministério das Cidades, o gerenciamento de risco está sendo aprimorado, principalmente, pela introdução dos PMRR (Planos Municipais de Redução de Riscos) que consistem no mapeamento de regiões de riscos e definição de medidas para redução de riscos (estruturais ou não), além de uma previsão de custos destas medidas. Os PMRR estão sendo aplicados aos municípios brasileiros como, por exemplo, em GOBBI *et al.* (2008) e PEREIRA *et al.* (2008) na cidade de Caxias do Sul no Rio Grande do Sul, em MENDONÇA *et al.* (2008) na cidade de Teresópolis no Rio de Janeiro e em BANDEIRA e COUTINHO (2008) e BANDEIRA *et al.* (2008) na cidade de Recife em Pernambuco. A metodologia indicada pelo Ministério das cidades segue os preceitos indicados em UNDRO (1991), em seus quatro princípios.

3.2.1.2 Ações não estruturais para a redução de riscos

Uma das opções para gerenciamento de riscos consiste na utilização de medidas não estruturais, sendo estas alternativas à construção de obras geotécnicas propriamente ditas. Conforme comenta GOBBI *et al.* (2008), as ações não estruturais são apoiadas em atitudes institucionais e de relacionamento onde são envolvidos: o estado (com seus órgãos responsáveis) e a população afetada, para que as medidas não estruturais planejadas (que são abrangentes e de fundamental importância) sejam colocadas em exercício.

MENDONÇA *et al.* (2008) complementam quanto a efetividade a longo prazo das intervenções estruturais frente aos processos caóticos de ocupação. Segundo os autores, há a possibilidade destas intervenções tornarem-se pouco efetivas ou de resultado insignificante, pela nova configuração das condicionantes ocupacionais com o tempo, aumentando a importância das medidas não estruturais para a administração dos riscos. BANDEIRA e COUTINHO (2008) ainda comentam que as intervenções não estruturais também podem ser medidas temporárias até que se executem as medidas definitivas (intervenções estruturais), este tema será abordado com maior ênfase no tópico “3.2.3 Priorização das Ações”.

A maioria das técnicas adotadas nas ações não estruturais para a redução de risco passa por medidas administrativas dos governos. Assim, não é necessário o

aporte de grandes quantias em dinheiro para que medidas efetivas para redução de risco sejam adotadas.

A minimização de ameaças a deslizamento nos Estados Unidos é apoiada em 3 pilares, COSTA (2005):

- criar medidas de caráter restritivo ao desenvolvimento de regiões propensas a, por exemplo, escorregamentos (função auxiliada pelo mapeamento de áreas sujeitas a riscos) – tratado no item "a" abaixo (por analogia, similar a planos diretores);
- exigir que as atividades antrópicas (movimentações de terra, paisagismos e edificação), não induzam a instabilidade da área (criação de código de edificações) – tratado no item "b" abaixo (por analogia, similar aos códigos de obra);
- proteger pessoas e propriedades nas áreas já ocupadas ou em desenvolvimento através da execução de ações físicas de controle como drenagem, alteração na geometria de taludes e barreiras de proteção (as vezes complementada por sistemas de monitoramento e alerta) – será abordado em item específico (por analogia, similar as ações de defesa civil e obras de contenção).

As duas primeiras alternativas são características de ações não estruturais e a última de ações estruturais, ver tópico 3.2.1.3.

A efetividade das ações não estruturais passa também pela conscientização da população envolvida. Para isto a comunidade precisa ser incluída no processo, pois inclusive pode ajudar nos trabalhos. Normalmente se executam palestras onde engenheiros, sociólogos, arquitetos e outros profissionais participam. Esta questão será ponderada no decorrer deste texto.

a) Medidas restritivas ao desenvolvimento

A maneira menos traumática (financeira e social) de gerenciar risco em taludes consiste em evitar o problema (“*avoidance*” termo em inglês), ou seja, não ocupar regiões problemáticas (especialmente as de maior grau de risco). Para isto, é necessário conhecer toda a região, sendo possível determinar os locais que possuem maior vulnerabilidade. A palavra chave, mais uma vez, é planejamento do uso de

terras. Criam-se medidas restritivas para o desenvolvimento em regiões classificadas como inadequadas destinando-as ou a atividades com menor densidade populacional ou de infraestrutura (áreas abertas, parques).

As alternativas de *avoidance* podem ser feitas pela aplicação de uma ou mais das seguintes possibilidades: (a) remoção ou conversão de áreas instáveis existentes, (b) desestimular desenvolvimento de áreas instáveis e (c) regulamentação para novos desenvolvimentos em áreas instáveis.

Remoção ou conversão de áreas instáveis existentes

Quando há ocupação de uma área em risco podemos recorrer ou à remoção, que consiste em aquisição pública de determinada área para a realocação da população para áreas mais adequadas, ou conversão consistindo na adaptação das construções para resistir ao movimento de taludes. Em ambas, há necessidade da avaliação da viabilidade financeira das medidas.

Desestimular desenvolvimento de áreas instáveis

No parágrafo anterior discutiu-se como evitar o problema em áreas já ocupadas. Quando se trata de áreas ainda não ocupadas é mais eficiente desestimular o desenvolvimento, quando viável. COSTA (2005), em seus estudos sobre a literatura internacional do assunto, aponta as seguintes formas para desestímulo: (a) programa de informação pública, (b) divulgar a compradores o risco associado a uma determinada área, obrigando os corretores a apresentar uma declaração de ameaça geológica, (c) não fornecer infraestrutura pública - ruas, eletricidade, água, coleta de lixo e esgoto, por exemplo, (d) sinalização visual de advertência – placas, (e) aplicar taxas de crédito e financiamentos desestimulantes, (f) custos mais elevados com seguros, (g) aquisição pública – compra, condenação e/ou interdição, (h) consciência pública da sujeição legal, ou seja, alertar a compradores e empreendedores sobre a obrigatoriedade de análise de estabilidade de taludes.

Regulamentação para novos desenvolvimentos em áreas instáveis

A população cresce a olhos vistos. Como consequência disto, há uma demanda cada vez mais intensa por novas áreas. Assim, será impossível, em longo prazo, impedir que uma área indesejável para o desenvolvimento não seja ocupada.

Por esta razão, é necessário que exista uma regulamentação para áreas ainda não ocupadas e que possuam algum tipo de risco. COSTA (2005) baliza a questão através de:

- evitar ou controlar a localização e a densidade dos novos desenvolvimentos (utilizando zoneamento) ;
- destinar zonas de risco a atividades que impliquem em reduzidas perdas e perigos no caso de um eventual deslizamento (agricultura, reflorestamento, parques, áreas de proteção ambiental, áreas de recreação, feiras de exposições...). Em outras palavras, controlar a vulnerabilidade;
- coibir a prática de atividades que possam desencadear eventos instabilizadores (tais como: construção de estradas, edifícios, sistemas de irrigação, armazenamento/disposição de resíduos...).

b) Criação de itens específicos nos códigos de edificações

Claramente há necessidade que os códigos de edificações dos municípios contemplem um item específico que se refira à construção dentro de uma zona de risco. COSTA (2005) comenta que estes códigos devem considerar escavações, construções e terraplenagem, e sejam desenvolvidos a fim de assegurar que a ação antrópica não prejudique a estabilidade de encostas em regiões reconhecidamente instáveis. Estes códigos têm como base:

- obrigatoriedade de pedido licença para movimentação de terra (raspar, escavar, aterrar, cortar) que inclua, quando relevante, um projeto das escavações temporárias e definitivas, mostrando sua estabilidade;
- regulamentação de projeto, construção, inspeção e manutenção, objetivando ou a minimização ou a proibição de alteração de geometria do terreno (corte e aterro);
- rígido controle sobre remoção de vegetação e rompimento de drenagem;
- exigência de projetos adequados de drenagem superficial e subsuperficial tanto no que tange à construção como inspeção e manutenção.

MENDONÇA *et al.* (2008) comentam que os códigos criados para ocupação do solo precisam, obrigatoriamente, ser associados a um trabalho de fiscalização. Isto é evidente, pois a criação de regras sem uma severa fiscalização dos órgãos responsáveis diminui a sua força, estimulando os maus executores e desanimando a boa prática.

c) Exemplo de plano de ações não estruturais

Como pôde ser visto até o momento, as ações não estruturais são relevantes para a minimização de riscos em taludes, e contemplam um grande leque de profissionais envolvidos. MENDONÇA *et al.* (2008) afirmam: as ações não estruturais possuem importância equivalente ou superior às ações estruturais. Os autores comentam o plano de ações para a redução de riscos sugerido para a cidade de Teresópolis, Rio de Janeiro, em regiões já ocupadas, sintetizando a questão através das seguintes propostas, na sua grande maioria não estruturais:

- conscientizar a população da existência do problema, das ações nocivas à estabilidade de encostas, dos sinais de iminência - ameaça - de um processo de instabilização, das medidas preventivas e corretivas e o caráter coletivo do problema. Esta questão em específico será analisada em maior profundidade no item 3.2.1.4 “Informações públicas e treinamento”;
- manutenção dos sistemas de drenagem e cursos d’água naturais;
- coleta de resíduos sólidos urbanos em assentamentos precários (sistemas específicos);
- avaliação de locais de deságue (sistemas pluviais e sanitários);
- projeto de saneamento básico (nas comunidades que estejam inseridas em zonas de risco);
- definição de normas e fiscalização intensiva para ocupação e uso do solo;
- implantação de sistema de alerta;
- criação de um órgão municipal de gerência de riscos naturais;
- atualização do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR).

3.2.1.3 Ações estruturais para a redução de riscos

Apesar das alternativas não estruturais apresentadas acima (medidas restritivas e códigos específicos), por diversas vezes regiões inapropriadas são utilizadas ou precisam ser utilizadas. COSTA (2005) aborda a questão sobre a seguinte perspectiva: a ocupação de encostas sujeitas a rupturas continuará, e para isso, os programas de planejamento do uso do solo devem conter as intervenções físicas para a proteção de bens e vidas. O autor define os controles físicos de instabilidade de encostas como sendo: drenagem (construção), modificações na geometria de taludes e contenções.

O alto custo constitui a principal desvantagem das ações estruturais. Por esta razão sua aplicabilidade é restrita, e normalmente empregada onde os custos com os danos (prejuízos), tanto financeiro quanto humano, são elevados. Ou seja, empregados em locais com alta densidade populacional e/ou elevado valor de propriedades. Enquanto isso, a prerrogativa das ações não estruturais não é impedir um sinistro (ruptura de um talude) e sim atuar de forma preventiva para atenuar ou reduzir as consequências das ameaças, permitindo a tomada de medidas tanto a nível legal (leis de ocupação do solo), como operacionais (como evacuação da população). Esta metodologia constitui a base para a tomada de decisões mais adequadas e hierárquicas, mas pressupõe um conjunto de medidas de planejamento de intervenções e estudos prévios abrangentes para ser efetiva.

3.2.1.4 Informações públicas e treinamento

Certamente as questões de cunho geotécnico são fundamentais para o gerenciamento de riscos em taludes. Contudo, há um tema que tem entrado nesta pauta: a importância da participação da população.

Recentemente o mundo foi flagelado pela pandemia da gripe H1N1 (vulgo “gripe suína”) e, em âmbito nacional, a imprensa divulgou massivamente a questão da prevenção, tendo como resultado uma mudança, a olhos vistos, dos hábitos da população. Nos desastres naturais ocorridos no estado de Santa Catarina (2008) e Rio de Janeiro (2011), a cobertura da imprensa fez com que grande quantidade de mantimentos fosse doada e chegasse às populações atingidas.

MORA (2001) trata da importância dos meios de comunicação para informar a população sobre os riscos de desastres, e as ações que as comunidades precisam ter durante os sinistros, citando exemplos de tipos de comunicação (imprensa nacional e internacional...). A autora comenta que uma cultura de prevenção implica em ações coletivas que só podem ocorrer através de um grande processo social, que passa pela democratização da informação sobre desastres e a crescente participação da sociedade.

A pesquisadora comenta um enfoque importante: para incrementar a prevenção de desastres, é importante que a parcela mais carente da população compreenda os meios de comunicação como um canal por onde podem elucidar outros membros da comunidade, promovendo assim a prevenção. Isto, segundo MORA (2001), proporciona uma alternativa ao fluxo tradicional da informação que as instituições adotam frequentemente, algumas vezes usando conceitos e terminologias que não tem sentido para a maioria das pessoas. MORA (2001) ainda comenta a sistemática de comunicação para a gestão de risco em função das fases do desastre (antes, durante e depois), ver tabela 1.

O que se enfatiza nestas referências é que as medidas preventivas de desastres naturais muitas vezes só podem ser efetivas se há um senso comum na população sobre a sua importância. Surge assim a necessidade da imprensa na divulgação das práticas que precisam ser observadas pelos indivíduos, além da responsabilidade dos governos em promover a geração destas informações.

Mas esta carga não deve recair somente sobre a imprensa e governos, os técnicos envolvidos nos trabalhos também devem produzir ou traduzir as informações para uma linguagem mais adequada (acessível). MILITITSKY (2009) coloca a temática da seguinte maneira, é preciso ampliar o diálogo com os formadores de opinião e com parcelas mais amplas do estado brasileiro e da sociedade civil, através da difusão de conhecimento e da experiência dos profissionais. O autor ainda completa: a contribuição dos profissionais do país não chega ao conhecimento da maioria, e este fato se deve, em boa parte, à postura adotada durante a nossa trajetória profissional (mantendo muitas vezes os diálogos entre iguais, fechado ao ambiente técnico e acadêmico).

Tabela 1: Comunicação e as etapas de um desastre (adaptado de MORA 2001)

FASES		ETAPAS	AÇÃO DE COMUNICAÇÃO
Antes	Prevenção	Prevenção	* <u>Advertência sobre o risco e o perigo.</u> Informação sobre o fenômeno
		Mitigação	* <u>Difusão de medidas de prevenção</u> Contestar falsos rumores que afetem negativamente
		Preparação	o ânimo e a tomada de decisões da população.
		Alerta	Obtenção de informações em fontes autorizadas. Orientação a população. Conscientização e orientação a autoridades.
Durante	Atenção	Reabilitação	* <u>Relato do episódio</u> Situação da comunidade afetada. * <u>Encaminhamento de informações para contestar falsos rumores.</u> Emissão das atitudes recomendadas por autoridades que administram a emergência e a comunidade.
		Reconstrução	* <u>Difusão de informações.</u> * <u>Informações sobre as zonas afetadas.</u> Orientações sobre o que a comunidade deve fazer para colaborar na reabilitação
Depois	Reabilitação	Reconstrução	

GOBBI *et al.* (2008), tratando sobre as estratégias do plano para a redução de risco para a cidade de Caxias do Sul no Rio Grande do Sul, comenta que durante a execução do plano, foram realizadas 10 oficinas com as comunidades envolvidas. As oficinas tinham o objetivo de apresentar as ações propostas e a discussão com a comunidade. Os autores comentam que duas das oficinas foram realizadas para a comunidade em geral, uma no início dos trabalhos e outra ao final dos trabalhos, e os resultados foram muito bons. Na primeira a população era informada sobre o que estava sendo executado (e às vezes a própria comunidade fornecia informações relevantes). Já na segunda, a oficina foi importante para que todas as comunidades envolvidas tivessem acesso aos resultados e os critérios de hierarquização dos setores de risco (a priorização das intervenções será tratada em item específico). Das oficinas realizadas os autores apresentam algumas conclusões importantes:

- discutir os procedimentos técnicos nas oficinas não oferece um ganho considerável ao trabalho. Para a população pouco importa saber qual o tipo de solução, basta o conhecimento de que será dada uma solução (ou seja, não o que será feito, mas quando será feito). Nas áreas de risco há carências múltiplas, além do risco Geotécnico, desta forma

apresentar a solução apenas no que diz respeito ao risco das encostas gera insatisfação na comunidade;

- há uma maior vantagem em educar sobre como evitar o risco comparativamente a apresentar soluções específicas. Em outras palavras, mostrar “como não construir” (práticas não adequadas);
- coletar informações/sugestões para criação dos planos de gestão de risco com medidas não estruturais funcionou;
- foi fundamental a composição de uma equipe multidisciplinar nas oficinas.

Em SILVA e MACEDO (2007) os autores salientam o papel fundamental da percepção de risco da população. Para os pesquisadores, a comunicação do risco deve objetivar a conscientização da população no que tange à prevenção de acidentes, sendo que o alvo é a redução/minimização de problemas, controle da formação de novas áreas em locais de risco e a convivência com o perigo.

3.2.2 Estratégias de gerenciamento de risco de projetos lineares

Nos tópicos anteriores foi ponderado sobre quais são as estratégias para o gerenciamento de risco no ambiente urbano. Muitos dos temas lá abordados servem para rodovias, especialmente para o projeto de novos traçados e duplicações, que através de mapeamentos podem identificar, previamente, locais problemáticos ou que precisarão de projetos especiais (permitindo avaliar os custos preliminares de implantação) ou por onde o traçado não deve passar (enfrentamento de um ponto é demasiadamente oneroso). Assim sendo, apesar de naqueles tópicos existirem temas correlatos com projetos lineares (rodovias, ferrovias, linhas de transmissão,...) agora serão apresentadas estratégias específicas para este tipo de situação. Isto será feito com base em exemplos encontrados na literatura internacional, a fim de demonstrar modelos que vêm sendo aplicados.

Em KELLY *et al.* (2005) é mostrada a aplicação de um sistema de gerenciamento de risco utilizado na malha rodoviária de Saskatchewan, no Canadá, baseada em um vasto histórico de investigações geotécnicas desde os anos 60. Conforme comentado pelos autores, as práticas modernas de gerenciamento de deslizamentos precisam ter a capacidade de:

- fazer uma avaliação do grau de periculosidade intrínseco de um determinado ponto;
- avaliar a necessidade de um determinado ponto ter monitoramento e inspeções continuados;
- garantir a segurança dos interesses públicos através da emissão de sinais de alerta e de emergência;
- determinar a ordem de investimentos financeiros (priorização de ações).

O gerenciamento de risco de deslizamento aplicado a uma rede de rodovias do sudeste da Austrália foi apresentado por STEWART e BUYS (2005). Os autores apontam que se o risco financeiro prepondera sobre o risco de perda de vidas, pode se optar por alternativas de gerenciamento de longo prazo, assim, intervenções que buscam a remediação do risco devem ser aplicadas apenas após tentativas de gerenciamento.

Comparando planos específicos e genéricos de gerenciamento, STEWART e BUYS (2005) dizem que enquanto os primeiros são aplicáveis a taludes sob monitoramento ou de alto risco, os planos genéricos podem ser usados em pontos de menor risco, onde apenas um plano de inspeção é necessário. Os pesquisadores pontuam questões relevantes para os planos de gerenciamento, apresentados nos parágrafos que se seguem.

Gerenciamento de informações. Conforme STEWART e BUYS (2005), uma vez que os riscos já foram identificados (o mapeamento de risco está completo), há a constante necessidade de administrar e manipular os dados resultantes, a fim de comparar os diferentes graus de risco atribuídos aos vários locais mapeados. Isto é feito com o objetivo de definir prioridades de intervenção, STEWART e BUYS (2005) e KELLY *et al.* (2005). Quanto à implementação dos planos de gerenciamento, STEWART e BUYS (2005) comentam que quando há um pequeno número de taludes a ser observado o trabalho é simplificado, contudo se existem centenas ou milhares de taludes que necessitam de atenção é preciso utilizar sistema de gerenciamento de informações. O sistema de gerenciamento guarda todas as informações fundamentais de cada ponto, sendo elas: (a) informações georreferenciadas, (b) sínteses da análise de risco/informações esquemáticas – planos, seções transversais, detalhes dos perigos identificados, (c) fotografias e informações relevantes, (d) protocolo de

inspeção, monitoramento e manutenção, (e) relatórios correlatos e, adicionalmente, (f) informações sobre o histórico de inspeções.

Aplicação de medidas de remediação. A intervenção de remediação é uma escolha natural para aumentar a segurança em longo prazo de taludes classificados como de alto risco. Contudo, frente à grande necessidade de recursos e tempo para realizar intervenções em um talude grande, complexo e de alto risco, pode ser mais efetivo intervir em vários taludes simples e de menor risco, enquanto as investigações e os projetos daquele são executados.

Processo de tomada de decisão. O passo inicia com a decisão essencial de remediar ou gerenciar o talude de alguma forma alternativa. A decisão será influenciada pelos seguintes fatores: (a) a magnitude e a natureza do risco, (b) disponibilidade de tempo e recursos para aplicação de uma solução alternativa e (c) os custos e benefícios os quais podem incluir alteração no grau de risco do talude, o custo de vidas e custos de operação da rodovia. De qualquer maneira, há um grau de incertezas envolvido em todas estas variáveis, porém todos os impactos das soluções devem ser completamente dominados e os custos de implementação serem os mais realistas possíveis. Como recomendação geral, STEWART e BUYS (2005) ressaltam que os recursos devem ser concentrados em áreas onde os danos por escolhas erradas são maiores.

Sistema atualizado. O inventário sobre o talude e seu perfil de risco (grau de risco) deve ser mantido atualizado para um gerenciamento de risco constante. A constante atualização é feita pela: (a) imposição contratual de revisões periódicas, (b) revisão periódica do inventário, devido, por exemplo, a intervenções fora da faixa de domínio e mudança de comportamento de um local anteriormente classificado como de baixo risco, entre outras, (c) manter um programa de recadastro para análise de risco para taludes classificados com grau de risco alto ou intermediário e onde novos taludes podem ser classificados com o grau de risco maior do que tinham no cadastro original, (d) manter a metodologia de análise de risco sobre revisão constante e (e) desenvolver diretrizes para futuras análises quantitativas de risco, em paralelo e consistente com as análises já realizadas a fim de garantir a compatibilização.

Para encerrar a questão, e enfatizar em forma de cifras os benefícios da utilização de mapeamentos para gerenciamento de riscos, e a consequente redução

de deslizamentos, será apresentado mais um exemplo encontrado na literatura. LLOYD *et al.* (2001) reportam que um sistema de gerenciamento de deslizamento, baseado em análises de risco para uma autoestrada com 116 km de extensão na Malásia, que fez o custo de manutenção ser reduzido à metade.

Os autores começam discutindo que, embora, no atual estágio da Engenharia, já seja possível construir estruturas de contenção rapidamente, interrupções de tráfego em vias arteriais pode ter custos superior às medidas de remediação, mesmo em pequenos períodos de fechamento de tráfego. Para enfrentar as constantes interrupções no fluxo de veículos na rodovia citada, o governo da Malásia encomendou um projeto de avaliação de risco semiquantitativo (que levou 3 anos para ser realizado). A avaliação permitiu priorizar as intervenções necessárias ao longo da autopista. Isto retirou a rodovia de uma posição constante de remediação para uma posição prevenção. Falando de valores, LLOYD *et al.* (2001) comentam que a rodovia foi construída em 1979, a um custo de £74 milhões (Libras Esterlinas). Até 1993, somente com reconstrução de taludes, já havia sido gasto mais de £84 milhões.

Para este projeto foram desenvolvidos Mapas de Perigo (probabilidade de ruptura) e riscos (vulnerabilidade, em termos de danos potenciais a pessoas, propriedades ou serviços). Comparando os custos de reconstrução de taludes rompidos com os custos de intervenções em taludes em condição de pré-ruptura, foi demonstrado pelos pesquisadores que os valores foram reduzidos a 1/5. Assim sendo, os resultados dos mapeamentos são vistos como indicadores de potencial de ganhos econômicos, apesar de dados adicionais serem necessários para confirmar ou não os mapas executados, LLOYD *et al.* (2001).

3.2.3 Priorização de ações

Normalmente uma região possui diversos locais em situação de risco variado e, em alguns casos, regiões com o mesmo grau de risco. Sabidamente os municípios brasileiros, de um modo geral, têm recursos limitados, o que gera a necessidade da criação de um sistema de priorização das ações e regiões que vão receber primeiramente os recursos. Em rodovias, estejam sobre concessão ou não, há a necessidade de definir um plano de enfrentamento dos trechos apontados nos mapeamentos como demandantes de intervenção. Este plano (priorização de ações)

permite um uso dos recursos de forma mais racional, o que reduz acidentes e eventuais fechamentos de rodovias.

Assim, neste item, será discutida a priorização de ações, em ambientes urbanos e de rodovias. Para zonas urbanas, serão utilizados exemplos encontrados na literatura nacional (que são mais convenientes de serem utilizados que a literatura de países desenvolvidos, que possuem condições diferentes). Com isto em mente, no tópico 3.3 (Redução de riscos em taludes de países pobres) serão discutidas as alternativas aplicáveis a países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

3.2.3.1 Priorização em zonas urbanas

No plano de redução de riscos do município gaúcho de Caxias do Sul, GOBBI *et al.* (2008) comentam que após a conclusão dos trabalhos de campo e de escritório (indicações das ações estruturais, quantificação, orçamento...), foi necessário realizar um ordenamento das intervenções, pois não havia como a cidade realizar todo o plano ao mesmo tempo (por questões financeiras). Assim, os autores criaram um plano de ordenamento das obras, priorizando as áreas com maior risco. Em alguns casos, setores diferentes apresentaram o mesmo risco. Nestas situações, os pesquisadores realizaram uma subdivisão, através de uma análise custo/benefício (em setores que necessitavam de ações estruturais). A análise custo/benefício era a relação entre custo total de intervenção do setor, dividido pelo número de moradias do mesmo setor. Esta relação permitiu que avaliassem onde haveria o maior número de pessoas beneficiadas.

Para o plano de redução de riscos associados a escorregamentos da cidade de Teresópolis, Rio de Janeiro, MENDONÇA *et al.* (2008) comentam que as ações estruturais foram lançadas nos setores que apresentavam grau de risco alto e muito alto. Apesar dos outros setores do município apresentarem menor risco (graus médios e baixos), estes mereceram especial atenção para que seu quadro não evoluísse para uma condição mais crítica. As medidas nos setores com menor grau de risco precisam ser efetivas para evitar que o risco aumente e, principalmente, para que seja reduzido.

3.2.3.2 Priorização em rodovias

Para um bom gerenciamento de deslizamentos em rodovias, é preciso que a metodologia de mapeamento aplicada demonstre os locais onde é necessário investir

recursos financeiros e esforços, na medida correta, correspondente ao nível de perigo e às potenciais consequências, com base em avaliações de risco, KELLY *et al.* (2005).

Conforme STEWART e BUYS (2005), a priorização de ações, segundo o grau de risco, pode não ser necessariamente a mais apropriada, se centenas de taludes tiverem que receber intervenções (visto que haverá, obviamente, restrições orçamentárias ao se remediar centenas de pontos). Assim, as seguintes recomendações são feitas: (a) saber quando parar, pois o objetivo é reduzir e manter o risco em um nível aceitável e não eliminar completamente o risco geotécnico, (b) ficar atento à possibilidade de que uma intervenção pode levar a novos problemas, como por exemplo, o desvio de tráfego pode causar acidentes, (c) para cada talude é preciso observar o projeto, a manutenção e a potencial perda de vidas e (d) para taludes instáveis, a segurança e saúde ocupacional precisam ser contemplados durante a fase de projeto, tanto para construção quanto para a manutenção a longo prazo.

3.3 REDUÇÃO DE RISCOS EM TALUDES DE PAÍSES POBRES

Como um dos objetivos desta tese é ajudar a criar uma massa crítica de conhecimento para minimização e redução de riscos em taludes de toda a ordem, é necessário abordar o tema de experiências de redução de riscos em encostas em países pobres e em especial para as condições brasileiras, pois nosso país possui uma grande diferença de riqueza entre municípios. Assim, nos parágrafos que se seguem, será feita uma abordagem elucidativa sobre o tema, baseado em ANDERSON e HOLCOMBE (2006).

Seguramente, a minimização de riscos associados à estabilidade de encostas é uma tarefa complexa e dispendiosa, visto que envolve questões sociais e econômicas. Em países de “primeiro mundo” (desenvolvidos) a problemática de gerenciamento de riscos ainda é um tema sem solução definitiva, e a questão se agrava para países pobres, já que estes possuem grandes problemas sociais, governamentais e financeiros. De certa forma, o Brasil se insere neste contexto, apesar de sua economia, notadamente na última década, ter melhorado.

O Banco Mundial estimou que no ano 2000 já existiam 1,5 bilhões de pessoas vivendo abaixo da linha da pobreza em áreas urbanas, e tudo se configura para que

este número cresça ainda mais, ANDERSON e HOLCOMBE (2006). Nos países pobres, em casos extremos, grandes deslizamentos de terra podem ser muito caros para os governos, caso exista a necessidade de realocação da população. Assim, é mostrada a importância da redução do custo social e financeiro através da implantação de medidas para minimização de riscos em taludes. ANDERSON e HOLCOMBE (2006) realizaram um estudo piloto em St. Lucia, no oeste da Caribe (Índias Ocidentais), com dois objetivos: (i) desenvolver uma estrutura sustentável para a redução de riscos por deslizamento de terra e (ii) implementar estratégias específicas dentro das comunidades.

Comparando o problema em St. Lucia e os países caribenhos, os pesquisadores perceberam similaridades: reduzida força institucional, urbanização desordenada/acelerada, persistência da pobreza e possíveis efeitos das mudanças climáticas. ANDERSON e HOLCOMBE (2006) ainda salientam que as populações devem ser mantidas atentas sobre a redução de riscos de escorregamentos, e tal conhecimento pode promover uma maneira bastante efetiva de minimização de riscos. O projeto piloto realizado na Caribe buscou desenvolver uma aproximação sustentável para a redução de riscos de escorregamentos, procurando mecanismos de fortalecimento institucional e traçando um vínculo direto com o envolvimento comunitário/consciência pública.

Geotecnicamente, ANDERSON e HOLCOMBE (2006) descrevem a problemática encontrada na região, e certamente recorrente nas demais regiões pobres do mundo: edificações em encostas íngremes, frequentemente com carência de qualquer forma de drenagem, tornam estes locais particularmente vulneráveis a escorregamentos de terra. Obviamente, grandes deformações são corriqueiramente encontradas neste tipo de encosta, que já possuem um alto risco intrínseco de instabilidade de talude. Estes condicionantes podem ser ainda mais agravados: (a) em alguns casos, os taludes íngremes possuem uma pequena espessura de solo de cobertura, por isso os estaqueamentos são curtos ao atingirem o leito rochoso, (b) por outro lado, na parte inferior dos taludes, a espessura de solo sobrejacente ao leito rochoso, pode ser substancialmente maior e, em uma grande escala de convergência topográfica, pode haver uma alta poro-pressão localizada, e conseqüentemente a parte inferior dos taludes pode possuir um significativo risco de instabilidade. ANDERSON e HOLCOMBE (2006) também salientam que o problema vai além da

Geotecnia, há um caráter multidisciplinar, além da importância da já citada interação com a comunidade para a definição das medidas de redução de risco.

Sumarizando a pesquisa realizada pelos autores, eles objetivavam começar a contribuir para uma política sustentável de gerenciamento de riscos de escorregamentos, pelo estabelecimento de um grupo de gerenciamento intragovernamental, pela integração transversal com vários ministérios e a implementação de medidas de redução de risco em parceria com a comunidade. Foi a característica multidisciplinar do risco de escorregamento que, segundo os autores, levou à criação do comitê com vários ministérios em St. Lucia. O papel do comitê (denominado de comitê de gerenciamento MoSSaic) era o de administrar o gerenciamento da estabilidade de taludes nas comunidades através da estruturação em vários grupos, para compreender a representatividade de oito agências e ministérios do governo, (ver figura 4). Esta estrutura tinha a convicção unânime de que para haver redução de risco, de um modo próspero e sustentável, uma visão holística devia ser levada em conta.

Segundo ANDERSON e HOLCOMBE (2006), no ano de 2004 o governo de St. Lucia formalizou o comitê. Os autores comentam que para certos projetos, sempre haverá a necessidade de experiência internacional para suprir lacunas de conhecimentos específicos (no caso de projetos, e não necessariamente em investigações de campo). Por exemplo, na construção de túneis e questões associadas à estabilidade de talude, que muito provavelmente vão ultrapassar a experiência técnica de engenheiros locais (do governo ou particulares). Particularmente para o Brasil este não parece ser o caso já que temos um quadro de técnicos muito bem qualificados, que muitas vezes são referência internacional em suas áreas. Porém, localmente, municípios financeiramente menos desenvolvidos poderão ter a necessidade de consultoria externa em problemas mais complexos.

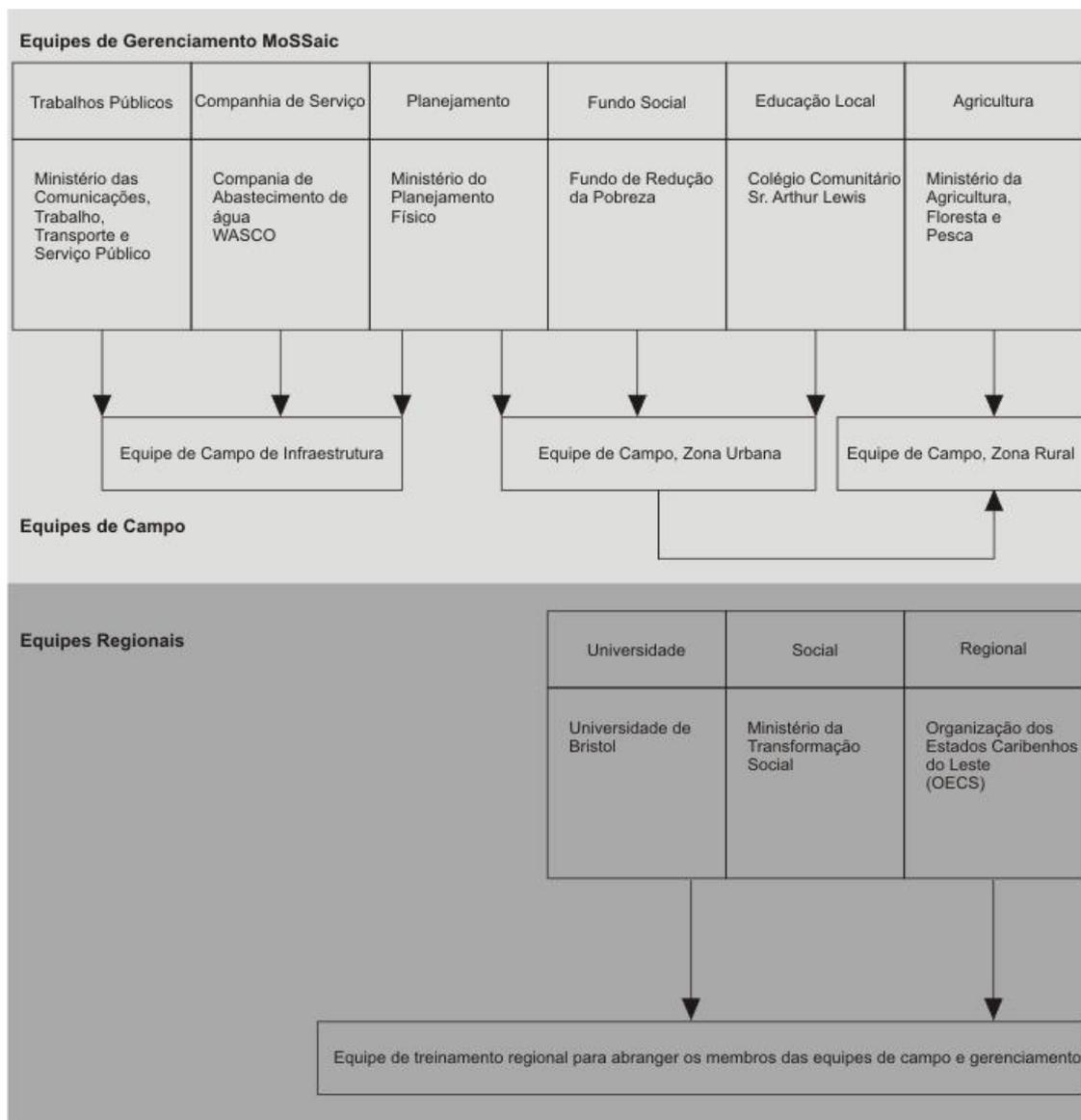


Figura 4: Configuração da equipe de gerenciamento em St. Lucia (adaptado de ANDERSON e HOLCOMBE 2006)

A dinâmica do processo adotado em St. Lucia em síntese foi a seguinte. O Banco Mundial e outros doadores estabeleceram um Fundo de Desenvolvimento Social, que tem por objetivo assistir as comunidades mais vulneráveis. Os projetos são submetidos ao fundo pelas comunidades através do Comitê de Projetos Comunitários. Os membros do Comitê são eleitos da comunidade, possuindo habilidades complementares e vontade de promover boas práticas através conscientização pública adequada àquela comunidade, sendo estas qualidades-chave para os membros do Comitê de Projetos Comunitários. Tais comitês são instrumentos que promovem

ligação entre a equipe de gerenciamento dos vários ministérios e os membros da comunidade.

Durante o zoneamento, ANDERSON e HOLCOMBE (2006) buscaram incluir a comunidade local no processo de identificação do risco de deslizamento em áreas específicas. Este artifício foi considerado importante, pois pode facilitar, mais tarde, as explicações dentro da comunidade sobre porque tal tipo de intervenção foi adotada, em certo local, diferente daquela aplicada em outro.

Na região estuda por ANDERSON e HOLCOMBE (2006), o problema principal estava associado a questões, principalmente, de drenagem. Desta forma, definiram cinco medidas de intervenções sustentáveis: (a) instalação de monitores de nível de água de baixo custo, (b) instalação de dispositivos de drenagem de baixo custo – utilizando material e mão-de-obra local, (c) construção de bueiros adicionais em locais chave, (d) realização de palestras dentro da comunidade para demonstrar boas práticas de drenagem e (e) treinamentos, de campo e escritório, para os diretores técnicos do Fundo de Desenvolvimento Social.

ANDERSON e HOLCOMBE (2006) finalizam a questão indicando os seguintes fatores:

- o comitê multidisciplinar MoSSaic, focado em proporcionar métodos de baixo custo para a redução de riscos de escorregamentos de terra no nível comunitário, é uma importante e sustentável estrutura para o governo;
- o projeto foi um indicador de que tais comitês possuem habilidade de construir capacidades dentro do governo;
- o conceito do MoSSaic proporcionou instrumentos para as comunidades e governo utilizarem alternativas de baixo custo/alto retorno para a minimização de riscos em encostas;
- as medidas apresentadas no projeto piloto estão sendo implementadas para outras áreas;
- existem evidências substanciais que ao se aplicar técnicas de redução de risco se consome apenas 15% dos investimentos necessários para atuar após os desastres;

- houve um ganho de cultura - mudança da posição de reação para a posição de prevenção de desastres. A prevenção é uma medida mais humana que as medidas de remediação, além de uma melhor relação custo/benefício;
- feito o projeto piloto, surge a oportunidade de aprender com o sucesso e converter o mesmo para um projeto regional, além de começar a discutir, em nível governamental, as políticas para dar suporte às estratégias de minimização de riscos em taludes.

Do que foi visto até agora neste texto, a premissa de BANDEIRA e COUTINHO (2008) que as práticas internacionais para a minimização de taludes são bastante semelhantes entre si estão confirmadas. Contudo, em GOBBI *et al.* (2008) é dito que as comunidades não estão preocupadas com qual solução será adotada, e sim quando será adotada. A experiência descrita por ANDERSON e HOLCOMBE (2006), na qual o envolvimento efetivo da população foi bem maior, as comunidades eram capazes de tomar decisões complexas. Isto mostra que, apesar de algumas semelhanças, os planos de minimização e redução de riscos são de grande amplitude técnica e social com especificidades devidas ao local e forma de trabalho possível (social, cultural e política).

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE MAPEAMENTO DE RISCO DE DESLIZAMENTO

No Capítulo anterior, foram apresentadas as medidas que buscam reduzir os riscos no que se refere a taludes. Neste Capítulo serão discutidas as questões que envolvem o mapeamento geotécnico de deslizamentos como forma de conhecer o local já ocupado ou que está sendo ocupado, de forma a ter uma ferramenta vital para identificação e minimização de riscos.

O mapeamento de deslizamentos é o fundamento sobre o qual todas as atividades de ocupação humana deveriam se apoiar para que as populações possam desenvolver-se sustentavelmente, tanto em relação às questões ambientais e sociais quanto às questões econômicas. O mapeamento é um instrumento que tem se consolidado no meio geotécnico na última década, visto que a demanda por este tipo de trabalho vem aumentando a par com o avanço dos desastres naturais.

4.1 MOVIMENTOS DE MASSA E FATORES CONDICIONANTES

Como explica COSTA (2005), há muitas variáveis envolvidas na instabilidade de taludes naturais e artificiais, tais como: materiais, clima, geologia, velocidade e extensão da ruptura. Conforme comenta IG (2009), o movimento de massa é parte integrante do processo evolutivo geomorfológico natural das regiões serranas. Quando a ocupação humana utiliza áreas inseridas nesta dinâmica, dispensando o planejamento do solo e da boa prática de Engenharia, se configuram as condições para que ocorram tragédias humanas.

Neste tópico não será feita uma revisão ampla sobre deslizamentos. O objetivo é apresentar uma divisão clássica e os fatores mais comumente envolvidos, visto que estas informações podem ser encontradas em uma vasta gama de publicações da

literatura Geotécnica. Caso seja do interesse do leitor, maiores informações podem ser encontradas em VARNES (1978), CRUDEN e VARNES (1996), CORNFORTH (2005), além da normativa técnica nacional que trata das encostas ABNT NBR 11682/2009.

Obviamente, durante o desenvolvimento do Modelo Geomecânico para a região mapeada na pesquisa, será necessário entrar mais a fundo em determinados tipos de deslizamentos, para que os fatores condicionantes sejam inseridos corretamente nos algoritmos de cruzamento dos Mapas Temáticos (por exemplo, parâmetros de solo). Assim as condicionantes específicas utilizadas nesta tese serão discutidas Capítulo 8 - Desenvolvimento do Modelo Geomecânico de Estabilidade com Base Cartográfica.

Ao consultar referências internacionais e nacionais, percebe-se que existem vários tipos de movimentos de massa, sendo os mais clássicos: os deslizamentos (planares, circulares e em cunhas), corridas, rastejos e quedas (tombamentos e rolamento). Não há na literatura um consenso sobre a classificação, porém referências clássicas como VARNES (1978) e CRUDEN e VARNES (1996) são muitas vezes citadas. Estas referências classificam os movimentos gravitacionais em 6 tipos: Quedas, Tombamentos, Deslizamentos (rotacional e planar), Espriamento ou Escoamento, Corridas (também conhecidas como fluxos de detritos) e Compósitos ou Complexos (uma combinação dos anteriores). Esta classificação é, provavelmente, a mais difundida no meio geotécnico e pode ser encontrada em, por exemplo, CORNFORTH (2005) e COSTA (2005).

Nesta tese, a nomenclatura adotada será a seguinte: (a) serão sinônimos de movimento de massa as palavras rupturas, escorregamentos e deslizamentos, (b) rupturas circulares e rotacionais terão o mesmo significado.

Os fatores envolvidos na instabilidade das encostas são bem conhecidos atualmente. Como explica TERZAGHI (1950), estes fatores podem ser divididos em dois: Fatores Internos e Fatores Externos. Os primeiros, também denominados por GUIDICINI e NIEBELE (1984) como Agentes Predisponentes, são os fatores intrínsecos ou naturais do talude, tais como: condições geológicas e morfológicas, topográficas, ambientais, ruptura progressiva (materiais frágeis ou sensíveis), intemperismo, erosão interna e mudança de fluxo subterrâneo. Os segundos, também conhecidos como Agentes Efetivos, conforme GUIDICINI e NIEBELE (1984), ou

Deflagradores são aqueles fatores que tem ação direta sobre a estabilidade do talude, sejam eles: fatores antrópicos (mudanças geométricas, carregamentos e/ou descarregamentos, choques e/ou vibrações, rebaixamento de lençol freático, alteração de infiltração – desmatamento e uso do solo) ou naturais (pluviosidade, erosão por vento ou chuva, oscilação do nível de corpos hídricos e ação de animais).

Nas regiões tropicais as estações chuvosas, especialmente as precipitações intensas, são um grande desencadeador de movimentos de massa, que algumas vezes são catastróficos. Na bibliografia existe um vasto material indicando que um importante agente deflagrador da instabilidade de encostas é, sem dúvida, a ação humana. Muitos autores definem que o agente antrópico é um importante modificador da dinâmica natural do relevo, sendo que um grande número de escorregamentos está associado a cortes para a construção de moradias precárias em encostas íngremes, IG (2009). Isto é exemplificado pelos grandes deslizamentos que ocorreram no Rio de Janeiro em 2009 (litoral), 2010 (cidade) e 2011 (região serrana) e alguns dos acidentes relacionados ao desastre que assolou o estado de Santa Catarina no final do ano de 2008.

No entanto, no desastre de Santa Catarina em 2008 - descrito por BRESSANI (2008a) - e na região serrana do Rio de Janeiro, em 2011, descrito por BRESSANI (2011) e o autor desta tese, visitaram as regiões logo após os desastres e perceberam que muitos deslizamentos ocorreram em regiões que poderiam ser chamadas de virgens (sob o ponto de vista geotécnico) e com vegetação nativa, sem nenhuma ação antrópica. Esta constatação indica a necessidade de revisar a técnica atual de mapeamentos geotécnicos de deslizamentos de encostas (este tema será abordado mais adiante no texto).

4.2 CONCEITUAÇÃO DE MAPEAMENTO DE RISCO

Em geral os trabalhos de mapeamento de risco se estendem por uma área muito mais abrangente que aquela das imediações, por exemplo, de um deslizamento ou local propenso a um deslizamento, conforme comenta CORNFORTH (2005). Isto é feito para que se possa obter conhecimento suficiente para entender a geologia do terreno. Para deslizamentos de maior magnitude a equipe técnica pode passar dois ou três dias em campo examinando as imediações do talude, além disto, também são

avaliadas todas as informações disponíveis sobre a região tais como mapas geológicos, teses/dissertações e outros estudos publicados e não publicados da área, complementa o autor. BRASIL (2006) – Ministério das Cidades (Secretaria Nacional de Programas Urbanos) - conceitua o mapeamento de risco como sendo as atividades destinadas à identificação dos riscos e delimitação das áreas sujeitas a tal risco. Adicionalmente as duas referências comentam que o mapeamento é feito através de trabalhos de campo, onde também são avaliadas as possibilidades e as consequências sociais/econômicas resultantes de um deslizamento.

Assim, segundo CORNFORTH (2005), os mapeamentos são ferramentas que servem à sociedade pela produção de mapas que distinguem áreas com diferentes riscos de deslizamentos, sendo ferramentas importantes para os planejadores e governos definirem infraestrutura e códigos de construção.

Os mapeamentos de risco no Brasil, e em muitos lugares do mundo, são mapeamentos que avaliam predominantemente o risco de forma qualitativa em detrimento de avaliações quantitativas, BRASIL (2006) – Ministério das Cidades (Secretaria Nacional de Programas Urbanos). Ou seja, os riscos são avaliados com base em julgamentos técnicos subjetivos da equipe envolvida no trabalho e informações das populações envolvidas. Os métodos quantitativos, ainda pouco testados no Brasil, estão sendo aplicados em cidades que possuem um banco de dados consistente sobre deslizamentos: sua distribuição temporal, causas do acidente, volume de massa deslizada, recorrência dos processos e intensidade das chuvas entre outras informações que são imprescindíveis para realização de uma avaliação quantitativa de risco.

BRASIL (2006) – Ministério das Cidades (Secretaria Nacional de Programas Urbanos) - reconhece que apesar das eventuais limitações de mapeamentos qualitativos, e o reduzido número de mapeamento quantitativo, o mapeamento é uma atividade decisiva para as políticas de ocupação de territórios. Os autores salientam que é imperativa a aplicação de uma metodologia/registro de campo o mais precisa e cuidadosa possível, além do indispensável conhecimento dos processos envolvidos no mecanismo de deslizamentos, consagrada pela experiência técnica da equipe de trabalho. Isto gera subsídios para programas de gerenciamento de riscos bem acertados, que visam reduzir substancialmente as implicações dos acidentes.

4.3 METODOLOGIAS DE ZONEAMENTO

Anteriormente foi apresentado o que significa fazer um mapeamento de áreas de risco através da conceituação geral do processo. O passo seguinte consiste em situar o leitor nas principais linhas ou vertentes de mapeamento (leia-se tipos de mapas e o nível de detalhamento das informações de entrada e saída), atividade que será desenvolvida neste tópico. Não obstante, ao se estudar o assunto na literatura internacional e nacional percebe-se claramente que não há uma convergência nas linhas de mapeamento, tanto no que se refere à nomenclatura (ver Capítulo 2) quanto à metodologia.

Portanto, optou-se por apresentar linhas de mapeamentos conforme o respectivo autor o fez (com nomenclatura e metodologia própria), para não haver distorções e evitar problemas de ajustes nos conceitos. Em outras palavras, as linhas de mapeamentos não foram unificadas. Desta forma, aqui serão apresentadas as principais referências nacionais e internacionais no tema, para que o leitor possa compreender a complexidade técnica e de terminologia envolvidas.

4.3.1 Exemplos nacionais e internacionais

Para reduzir riscos, é impreterível que sejam adotadas medidas preventivas, que, na sua essência, necessitam de estudos prévios capazes de delimitar as condições de contorno envolvidas (condicionantes e mecanismos) nos fenômenos a que determinados locais estão sujeitos, IG (2009). Estes estudos prévios são os mapeamentos.

Como existem diferenças metodológicas, faz-se necessário exemplificar para o leitor algumas abordagens no Brasil e no Mundo a respeito dos métodos de mapeamento de deslizamento. Além disto, será feita a apresentação de uma tentativa internacional de unificação de metodologia e nomenclatura sobre o assunto, onde mais de 40 pesquisadores de 15 países reuniram seus conhecimentos.

4.3.1.1 Exemplo nacional 1

Uma das vertentes de mapeamento da literatura nacional é a de BRASIL (2007d) - Ministério das Cidades (Secretaria Nacional de Programas Urbanos), associado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Os autores decompõem o

mapeamento em 3 etapas: mapa de inventário (que serve de base para os demais), carta de suscetibilidade e mapa de risco. Cada mapa serve como pré-requisito para a elaboração do outro, na ordem em que foram apresentados.

O mapa de inventário, que é o primeiro a ser criado, leva em consideração: (a) distribuição espacial, (b) o tipo de deslizamento, seu tamanho, sua forma e atividade (c) além de informações de campo, fotografias/imagens dos locais.

O zoneamento de suscetibilidade é fundamental para criação de medidas de planejamento e preventivas contra deslizamento, pela sua capacidade de indicar processos danosos (função da classe de probabilidade de ocorrência). Este mapa apresenta: (a) mapa de fatores que desencadeiam eventos, (b) uma correlação entre estes fatores *versus* eventos e (c) classificação de unidades em graus de suscetibilidade.

A etapa seguinte, e final, consiste na elaboração do Mapa de Risco. Este mapa permite a avaliação de possíveis danos que resultam da avaliação da probabilidade e das consequências de determinado evento. Os principais aspectos do Mapa de Risco são: (a) possuir a probabilidade de ocorrência, tipologia e comportamento do fenômeno, (b) as vulnerabilidades dos ambientes avaliados e (c) custos associados à ocorrência dos eventos.

Muitas pesquisas sobre mapeamento de risco no Brasil têm sido realizadas pelo IPT, situado no estado de São Paulo. Segundo MACEDO e FILHO (1998), o instituto tem atuado em todas as atividades proposta por UNDRO (1991) do inglês *United Nations Disaster Relief Organization* para a redução de desastres naturais, quais sejam:

- identificação dos riscos;
- análise de riscos;
- medidas de prevenção de acidentes;
- planejamento para situações de emergência;
- informações públicas e treinamento;

Em MACEDO (2001) e MACEDO (2002), são apresentados os passos que devem ser observados no cadastramento de risco de escorregamentos. Os textos têm

como público alvo pessoas não especialistas (que não possuem, na sua origem, formação de engenheiros ou geólogos, ou seja, leigos). São discutidos pelo autor os 8 passos de um roteiro de cadastramento:

- 1º passo, dados gerais sobre a moradia. Busca relacionar a resistência da edificação frente aos possíveis impactos;
- 2º passo, caracterização do local. Descrever algumas características geotécnicas genéricas, tais como, talude natural/artificial, solo, aterro ou rocha, inclinações, entre outras;
- 3º passo, presença de água. Seja água das chuvas ou águas servidas e esgotos;
- 4º passo, vegetação no talude ou proximidades;
- 5º passo, sinais de movimentação;
- 6º passo, tipos e processo de instabilização esperados ou já ocorridos;
- 7º passo, determinação do grau de risco. Aqui as áreas são enquadradas em classes de risco (risco muito alto, risco a ser observado e baixo risco);
- 8º passo, necessidades de remoção. Informações que devem ser anotadas em caso de risco iminente (risco muito alto).

Na opinião pessoal do autor desta tese, os zoneamentos devem ser realizados por especialistas no que está sendo mapeado, pois a perícia e a capacidade destes profissionais são muito superiores ao do público leigo que recebe um treinamento para fazer mapeamentos. A realização de mapeamentos por não especialistas é expedita, mas empírica, e só deveria ser usada como última alternativa ou em trabalhos preliminares.

4.3.1.2 Exemplo nacional 2

Outra vertente apresentada por IG (2009) divide os mapeamentos em duas linhas: Mapa de Perigo e Mapa de Risco.

O Mapa de Perigo mostra a probabilidade de ocorrer um processo com potencial de causar danos. Os autores comentam que as maneiras de avaliação de

perigo (pela definição dos autores, perigo é a probabilidade de determinado processo, potencialmente danoso, incidir sobre um determinado local em período e tempo específico) são bastante diferenciadas, visto que dependem do tipo de processo e das características de região estudada. Quando o Mapa de Perigo avalia escorregamentos, consideram a associação da suscetibilidade natural do terreno e as características de uso do solo como indicadores de perigo. IG (2009) comentam que as análises podem ser realizadas sobre duas metodologias: (a) qualitativa, tomando como base o julgamento de especialista sobre os dados de campo e mapas dos fatores que alteram a estabilidade e (b) quantitativa, sendo fundamentalmente uma análise estatística (comparando a distribuição espacial de fenômenos com os parâmetros considerados). O modo como o perigo é avaliado deriva da combinação do meio físico (tipo de solo, topografia...) e o inventário de escorregamentos, o que leva à classificação de perigo baixo, médio e alto, por exemplo. Em síntese, o Mapa de Perigo, neste caso, é o potencial de ocorrência de processos naturais que podem causar dano.

No Mapa de Risco (segundo definem os autores, risco é a possibilidade de consequências danosas, função de perigos naturais ou antrópicos), buscam avaliar, de forma estimada, as prováveis perdas (humanas - óbitos e feridos - recurso da terra e propriedades) consequentes de determinado desastre natural. IG (2009) comentam que a maioria destes tipos de mapeamentos tem extensão limitada por duas razões predominantes, complexidade e a problemática de compor perigo e potencial de perdas. Ainda segundo os mesmos autores, isto explica as poucas metodologias de mapeamento de risco. No Brasil, os primeiros zoneamentos que contemplam risco foram feitos no final da década de 80, porém não apontam para uma metodologia unificada.

4.3.1.3 Exemplo internacional

Uma das linhas internacionais existentes é aquela mostrada em CASCINI *et al.* (2005), que divide o mapeamento em três componentes. Aqui surge uma dificuldade na tradução da terminologia, visto que os autores utilizam a palavra *danger* e *hazard* para nomear dois destes mapas (traduzidas para o português literal elas são sinônimos). Assim, para facilitar a compreensão, neste texto, estes mapas serão denominados como perigo 1 (que se refere a *danger*) e perigo 2 (que se refere a *hazard*), as diferenças entre os mesmos serão discutidas mais adiante. Desta forma,

os três mapas são: Mapa de Perigo 1 (*Danger*), Mapa de Perigo 2 (*Hazard*) e Mapa de Risco, conforme esquematizado na figura 5.



Figura 5: Mapas e dados de entrada para o mapeamento de risco (adaptado de CASCINI *et al.* 2005)

Da observação da figura 5, percebemos que os Mapas de Perigo 1 (*danger*) devem incorporar as características do deslizamento (áreas suscetíveis, a intensidade – volume e declividade - e os demais dados existentes). Por sua vez, o Mapa de Perigo 2 (*hazard*) engloba a variável frequência às informações anteriores. Para o Mapa de Risco é adicionado à análise as conseqüências sofridas pelos elementos em risco, o que é feito através do julgamento dos cenários de conseqüência (compreendendo elementos em risco e a vulnerabilidade destes) e distribuição temporal (probabilidade).

Os autores também discutem a dificuldade de realização de mapeamentos de risco. Nem sempre é possível realizar Mapas de Risco de imediato tendo em vista as dificuldades de avaliação dos elementos em risco e a vulnerabilidade dos mesmos. Os autores comentam que também é necessário fazer algumas suposições sobre a probabilidade temporal dos elementos em risco.

Outro ponto que os autores discutem, diz respeito à classificação (hierarquização) do risco: para fazer tal escalonamento precisa-se levar em consideração o contexto da sociedade. Isto ocorre por uma diferença entre sociedades, especialmente quando se fala em países desenvolvidos e não desenvolvidos. Como resultado, não há, no que se refere a riscos de deslizamentos, um indicador do que é aceitável, tolerável e inaceitável. Contudo o risco entre perdas de vidas e perdas materiais devem ser diferenciados.

4.3.2 Uma tentativa de unificação internacional

Como pôde ser exemplificado nos três tópicos anteriores, não existe uma um entendimento comum sobre as diversas variáveis envolvidas no mapeamento de risco (terminologia, parâmetros de entrada e saída, metodologia, indicadores...). Percebendo estas dificuldades o JTC1 reuniu mais de 40 especialistas internacionais que discutiram um esboço feito pela Sociedade de Geomecânica da Austrália (*Australian Geomechanics Society*) onde buscaram a unificação da metodologia e nomenclatura empregadas (linguagem comum) nos mapeamentos de Suscetibilidade, Perigo (*hazard*) e Risco, FELL *et al.* (2008a) e FELL *et al.* (2008b). O JTC1 faz um apelo para que os envolvidos na execução de mapeamentos de deslizamentos utilizem estas diretrizes, mas ressaltam que as recomendações ali presentes não são definitivas (pois este é um esforço inicial) e não são a panaceia dos problemas de mapeamentos (precisam ser adaptados à realidade de cada região).

As diretrizes indicadas por este grupo de pesquisadores na definição de uma linguagem comum para Inventário de Deslizamentos e Mapas de Suscetibilidade, Perigo e Risco serão comentados nos tópicos que se seguem. Contudo, para que fique claro, a complexidade de cada um dos mapas cresce do Mapa de Suscetibilidade para o Mapa de Risco, em outras palavras a cada um dos 3 “estágios” de mapa se incorporam novas informações.

4.3.2.1 Inventário de deslizamentos

O inventário de deslizamentos certamente é o marco inicial de qualquer zoneamento. Segundo FELL *et al.* (2008a), o inventário é parte essencial de qualquer mapeamento, e por isto também é seu maior alçoz, visto que é a maior fonte de erros.

O inventário de deslizamentos agrupa: a localização, classificação, volume, atividade, distância de deslocamento e histórico de ocorrência, entre outras características, dos deslizamentos de uma determinada área. A tabela 2 organiza as atividades que cada nível de inventário necessita.

Tabela 2: Atividades necessárias para a preparação de um inventário de deslizamentos (adaptado de FELL *et al.* 2008a)

MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO	ATIVIDADE
Básico	Preparar um inventário de deslizamentos na área a partir de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite e dados históricos. O inventário inclui a localização, classificação, volume ou áreas e, se possível, a data de ocorrência do deslizamento.
	Identificar a relação entre topografia, geologia e geomorfologia
	Mostrar estas informações em mapas de inventário junto com as informações topográficas, incluindo curvas de nível, as propriedades lindeiras, a grade do mapa, ruas e outras informações relevantes tais como talvegues e cursos de água.
Intermediário	As mesmas atividades do Básico mais...
	Identificação das diferentes partes do deslizamento
	Características do mapa de deslizamento e limites
	Procurar e avaliar as informações históricas da atividade do deslizamento
	Avaliar a evolução do uso da terra, para saber se alguma atividade humana teve alguma influência no deslizamento
Avançado	As mesmas atividades do Intermediário mais...
	Preparar um inventário dos dados geotécnicos
	Realizar investigações para definir melhor as condições geotécnicas
	Análises geotécnicas para entender o processo de instabilidade do talude
	Catálogo temporal avançado dos períodos com o mesmo perigo e janela de tempo de um determinado evento desencadeador para fornecer dados periódicos ao inventário que podem ser usados na validação de abordagens avançadas

4.3.2.2 Mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos

O mapa da suscetibilidade a deslizamentos é o primeiro “estágio” de mapeamento. Os elementos que compõem este tipo de mapeamento (alguns comuns ao inventário) são:

- classificação, área ou volumes envolvidos (magnitude) e a distribuição espacial dos deslizamentos potenciais ou existentes;
- pode incluir também descrições mais detalhadas dos deslizamentos existentes ou potenciais, como distância percorrida, velocidade e intensidade;
- usualmente envolve um levantamento do histórico de deslizamentos da região em estudo, concomitantemente com a avaliação das áreas nas quais podem ocorrer deslizamentos, porém sem avaliação da frequência (probabilidade anual);
- em determinadas situações, é necessário estender os trabalhos para áreas além daquela estudada no Mapa de Perigo e risco, pois estas podem ser atingidas pela massa rompida ou pela regressão da crista.

FELL *et al.* (2008b) complementam o tema da seguinte forma. O mapeamento da suscetibilidade possui intrinsecamente um grau de interpretação. Este zoneamento envolve distribuição espacial e classificação das unidades do terreno conforme a sua propensão a deslizamentos, o que é dependente da topografia, geologia, propriedades geotécnicas, clima, vegetação e fatores antropogênicos (reflorestamento e desmatamento). Outra questão diz respeito à distância percorrida pela ruptura (para áreas a jusante da ruptura) e a retrogressão (para áreas a montante da ruptura), que, segundo estes autores, muitas vezes devem ser observadas independentemente.

Tratando dos diferentes tipos de deslizamentos aos quais uma área de estudo pode estar sujeita, FELL *et al.* (2008b) comentam que diferentes tipos de deslizamentos produzem diferentes graus de suscetibilidade (e por sua vez de perigo), por esta razão é mais acertado fazer Mapas de Suscetibilidade e perigo separadamente para cada tipo de deslizamento e, ao final, combiná-los para obter um Mapa de Risco global da área.

Outro ponto discutido por FELL *et al.* (2008b) é a diferença de opinião entre os especialistas na área sobre incluir no Mapa de Suscetibilidade a avaliação da distância percorrida por uma ruptura e a retrogressão. Apesar de alguns autores acreditarem que estas não devem ser incluídas, outros acham que devem, pelo fato de que em alguns casos o mapeamento de suscetibilidade será o único disponível para a legislação sobre o uso da terra e, por esta razão, concluem que estas variáveis devem ser incorporadas no mapeamento de suscetibilidade.

4.3.2.3 Mapeamento de perigo de deslizamento

O mapeamento de perigo a deslizamentos consiste num segundo “estágio”, que incorpora, como comentam FELL *et al.* (2008a), mais dois itens aos dados mapeamento de suscetibilidade:

- uma estimativa de frequência dos potenciais deslizamentos (probabilidade anual);
- e, necessariamente, devem considerar as rupturas a montante e a jusante da área em estudo (distância percorrida pela ruptura e a retrogressão).

Neste tipo de mapeamento a frequência deve ser expressa em termos individuais, conforme o tipo de deslizamento, volume e velocidade e, em alguns casos, conforme a frequência de intensidade particular (medida em termos de energia cinética, mais usuais em taludes rochosos e fluxos de detritos), FELL *et al.* (2008a).

FELL *et al.* (2008b) complementam: (a) o mapeamento de perigo deve avaliar as condições atuais da região já que, em alguns, casos o desenvolvimento planejado para o local poderá aumentar ou reduzir as probabilidades de ocorrência do fenômeno, o que deve ser avaliado mais tarde, (b) os zoneamentos podem ser feitos qualitativamente ou quantitativamente (preferível, pois permite comparar locais diferentes), porém o último nem sempre é exequível, visto que não é possível avaliar frequências com a qualidade necessária e um sistema de descrição qualitativa pode ser adotada.

FELL *et al.* (2008b) concluem que, mesmo quando apenas o mapeamento qualitativo pode ser executado, esta é uma alternativa capaz, de forma aproximada, de

orientar sobre a frequência dos deslizamentos em cada classe de perigo e isto deve ser feito.

4.3.2.4 Mapeamento de risco de deslizamento

Assim como no mapeamento de perigo que incorpora os resultados do mapeamento de suscetibilidade, o zoneamento de risco incorpora na sua análise o que foi utilizado na avaliação de perigo. O Mapa de Risco consiste no terceiro “estágio” de zoneamento, onde são acrescentados:

- vulnerabilidade, o potencial anual de dano a pessoas (pela probabilidade de óbitos), a propriedades (pela probabilidade de perda de bens) e as características ambientais (pela perdas de valores);
- a probabilidade espacial/temporal.

Em FELL *et al.* (2008b) é dito que o mapeamento de risco é dividido para duas condições: (a) áreas já ocupadas e (b) áreas em desenvolvimento. No primeiro caso, os riscos podem ser dinâmicos, consequentes de novas atividades, que por ventura, sejam criadas, o que obriga o Mapa de Risco a ser atualizado. No segundo caso, uma avaliação dos futuros fatores expostos terá que ser feita. Para uma mesma região mapeada, vários Mapas de Risco devem ser realizados para delinear os efeitos do cenário para diferentes planos de desenvolvimento e manejo de risco.

4.3.2.5 Considerações adicionais

Em seu texto FELL *et al.* (2008a) apontam algumas questões finais que são relevantes. Não há um procedimento que seja a solução para todos os problemas na estimativa do potencial de ruptura, para todos os diferentes tipos de deslizamentos e suas prováveis distâncias percorridas, pois os fatores condicionantes (inclinação, litologia, nível de água entre outras) são únicos em cada mecanismo atuante. Por esta razão, um balanço individual, em cada um dos 3 tipos de mapas (suscetibilidade, perigo e risco), referentes aos distintos tipos de deslizamentos, será necessário para demonstrar os resultados de uma única região. Ao final os mapas poderão ser aglutinados (formando um híbrido), o que pode conduzir à obtenção de um mesmo nível de perigo pela combinação de diferentes variáveis (tipos de deslizamentos, volumes, intensidades e frequências). Por fim, é salientado que taludes naturais podem ter mapas separados dos taludes artificiais (antropizados).

4.4 OUTRAS QUESTÕES SOBRE METODOLOGIAS

Os mapeamentos possuem algumas nuances apresentadas na literatura por diferentes autores. Estas questões adicionais são descritas abaixo nos tópicos que se seguem.

4.4.1 Descritores

Os descritores são os termos empregados para classificar os diversos graus de suscetibilidade, perigo ou risco de deslizamento (por exemplo, baixo, médio e alto). Apesar de, aparentemente, os descritores não terem grande significado, eles são fundamentais em um mapeamento pelas seguintes questões: (a) permitem que as zonas de um mapa sejam comparadas e assim possam levar a uma correta avaliação da suscetibilidade, perigo e risco, além de ser possível hierarquizar as prioridades de redução e mitigação de risco, (b) permitem que mapeamentos realizados ou em diferentes épocas ou por diferentes autores sejam comparados e (c) são importantes para que os usuários do mapeamento possam fazer uma correta leitura (ter claro o que significa cada descritor).

O que foi dito no parágrafo anterior é corroborado por FELL *et al.* (2008a). Os autores comentam que existem grandes vantagens se os executores do mapeamento utilizaram descritores universais. Assim profissionais podem conversar entre si e os legisladores dos códigos de construção podem ler os descritores de maneira correta, pois já possuem o conhecimento prévio de seu significado. É fortemente recomendado que as definições dos descritores utilizados sejam anexadas ao relatório do mapeamento. Cabe informar que não há, necessariamente, equivalência entre diferentes tipos de deslizamentos que recebam o mesmo grau de risco (descritor), FELL *et al.* (2008b).

Os descritores se baseiam em diversos fatores: (a) perdas de vidas por ano, (b) perda de propriedade anual - em valores - (c) quantidade de deslizamentos - número de deslizamento por área, por unidade de comprimento e probabilidade anual, (d) tipo de deslizamento - rocha ou solo - (e) tipo de talude - natural ou artificial - e (f) tamanho dos deslizamentos. Por esta razão seria demasiadamente longo e maçante colocar todos os descritores sugeridos para cada tipo de mapeamento. Assim, os descritores referentes ao mapeamento utilizado nesta tese serão apresentados no item 9.4.1.

Caso seja do interesse do leitor, o detalhamento de todos os descritores pode ser encontrado em FELL *et al.* (2008a) FELL *et al.* (2008b).

4.4.2 Análises Probabilísticas e Relativas/Determinísticas

Existem na literatura nacional e internacional (sistematicamente citados) dois termos aplicados em mapeamento, definidos por BOLT *et al.* (1975), que são análises probabilísticas e análises relativas (ou determinísticas). Na primeira, as análises são feitas pela probabilidade de ocorrência do deslizamento para um determinado período de tempo (risco probabilístico). Já na segunda, comparam-se as condições de risco identificadas em cada situação (baseadas no julgamento de quem a fez), sem cálculos que levem em conta probabilidades (ou seja, é um risco relativo). SPIKER e GORI (2003) comentam que, na batalha contra as incertezas envolvidas na avaliação e mapeamento de perigo e risco a deslizamento, métodos probabilísticos têm sido desenvolvidos e que para a utilização destes modelos, os inventários e os mapeamentos de suscetibilidade de deslizamento (além de outros dados) são pré-requisitos fundamentais. Contudo, segundo SPIKER e GORI (2003), estes mapas e dados ainda não estão disponíveis para a maior parte dos EUA.

Nas pesquisas realizadas por COSTA (2005), COSTA e BRESSANI (2005) e BRESSANI e COSTA (2006), os autores comparam os métodos probabilísticos e determinísticos. Nos modelos determinísticos os dados são estimados (na maioria das vezes por julgamento) para os parâmetros de entrada de modelos numéricos de previsão de desempenho. Esta mecânica fornece um resultado único que é considerado uma representação plausível de uma situação real. Assim, este modelo assume que a diferença entre o valor real (desconhecido) e os estimados é nula. Contudo, como o leitor bem sabe, na Geotecnia há uma grande dificuldade na obtenção dos parâmetros médios dos materiais envolvidos, visto que estes são criados pela natureza e não são produtos industrializados, o que introduz uma incerteza sobre a diferença entre os valores reais e os estimados. Por último, é assumido que os modelos são perfeitamente capazes de descrever o real comportamento de campo, o que dificilmente é verificado, COSTA (2005).

Os modelos probabilísticos reconhecem o inevitável, as incertezas dos parâmetros de entrada. O modelo probabilístico trata os dados de entrada como variáveis aleatórias (que podem assumir qualquer valor dentro do intervalo admitido)

com uma determinada probabilidade de ocorrência, deduzida com base nos dados disponíveis. Este raciocínio faz com que se estabeleça um desempenho previsto também variável, com um intervalo de resultados possíveis associados a suas respectivas probabilidades. Além disto, diferentemente do que acontece com a análise determinística, a análise probabilística ainda permite que sejam incorporadas as incertezas dos modelos de previsão de desempenho. Sinteticamente, modelagem determinística não é capaz de refletir o restrito conhecimento dos dados reais de campo.

VARANDA (2006) verificou no universo técnico, que as avaliações de riscos com modelos que são alimentados com análises probabilísticas vêm sendo aplicadas com sucesso. Além disto, no mapeamento de risco de escorregamentos em um distrito de Petrópolis (RJ) a autora obteve resultados satisfatórios ao utilizar uma abordagem probabilística, para a escala de trabalho utilizada.

Concluindo, sobre análises probabilísticas, IG (2009) aponta que, na maioria das vezes, estas análises se baseiam em um banco de dados estatístico que, se por um lado é muito bem vindo, pois elimina a subjetividade nos mapeamentos, por outro lado está muito distante da realidade nacional, pois se baseia em padrões obtidos por observações e/ou ensaios de campo em vastos bancos de dados.

4.4.3 Análises Empíricas

Segundo IG (2009) existem dois processos para realizar análises empíricas. O primeiro dos processos se baseia na observação das distribuições das cicatrizes deixadas por rupturas recentes e depósitos, que servirão de indicadores das áreas que podem, no futuro, sofrer com deslizamentos. Isto é feito por meio da produção de mapas de inventários ou de mapas de densidade de eventos. As análises usam (a) dados pluviométricos, (b) mapas geológico-geomorfológicos, (c) dados geotécnicos e (d) dados do terreno em SIG (digitais, ver Capítulo 6) para estimar distribuições no tempo e no espaço do potencial de instabilidade.

O segundo processo consiste na análise do mapa geomorfológico, associado ou não a mapas geotécnicos. Isto leva, comumente, a um Mapa de Perigo, feito pela combinação de mapas referentes aos vários fatores que controlam a estabilidade das encostas e pela atribuição de pesos e valores, com base na experiência profissional

de quem está realizando o mapeamento. Esta experiência pessoal é fundamental na definição mais ou menos correta do grau de susceptibilidade dos fenômenos.

4.5 MAPEAMENTO DE DESLIZAMENTO COMO UMA FERRAMENTA PARA OCUPAÇÃO HUMANA

As ferramentas são objetos concebidos com o objetivo de auxiliar em determinada atividade, ou em outras palavras, concebidas para uma finalidade específica. Os mapeamentos de deslizamento não fogem a esta regra, são ferramentas que tem o objetivo de guiar a ocupação humana. Assim, aqui serão apresentados os temas envolvidos no mapeamento como uma ferramenta para o melhor uso do solo possível.

Há um potencial benefício na utilização de mapeamentos, pois é possível alcançar uma significativa redução de perdas pela conscientização e pelo ato de evitar o risco, conforme CORNFORTH (2005) e CASCINI *et al.* (2005). Segundo os autores, os zoneamentos direcionam o desenvolvimento, o planejamento, os planos de emergência e os planos de mitigação.

CORNFORTH (2005) comenta que nos EUA, os motivos que estão fazendo crescer o interesse no mapeamento são: (a) os governos locais estão sendo processados com o aumento das permissões de ocupação de áreas, que mais tarde, sofrem danos por deslizamento, (b) concomitantemente, na busca por reparação, as famílias processam qualquer um que possa ter contribuído para o deslizamento (incorporadoras, engenheiros, governos...) e (c) durante os processos os jurados mostram-se simpáticos às famílias e os processos podem custar milhões de dólares à administração pública.

O mesmo autor ainda completa: como os custos legais superam os custos de remediação há um grande interesse em prevenir deslizamentos sempre que possível, e os mapeamentos podem ajudar. CORNFORTH (2005) finaliza dizendo que os mapas devem fornecer informações significantes, e o melhor modo de produzi-los é fazer de maneira tal que forneça apenas informações factuais, permitindo que os usuários dos mapas façam suas próprias interpretações. Na opinião pessoal do autor desta tese, este modo de produzir mapas tem o objetivo de eximir de culpa as pessoas envolvidas na realização do mapeamento, sendo uma questão de difícil resolução.

Contudo blindar os envolvidos no mapeamento é importante, visto que normalmente os mapas possuem limitações (inventário fraco e restrições financeiras) e esta não é uma ciência exata. Assim, se examinados por não especialistas em uma demanda jurídica, os executores dos mapas podem ser condenados.

Está bem claro que o inventário e os mapeamentos (susceptibilidade, perigo e risco) são ferramentas fundamentais para a ocupação mais coerente do solo. FELL *et al.* (2008a), e FELL *et al.* (2008b) enfatizam que, ao se considerar a escolha destas ferramentas para o gerenciamento de deslizamentos, precisa-se ter em mente os objetivos do zoneamento, para fazer uma escolha adequada sobre o tipo e o nível de mapeamento - tema que será abordado em tópico específico (ver item 4.6).

FELL *et al.* (2008a), adiciona que a organização que contrata um grupo de especialistas para realizar um mapeamento, além de definir de forma clara e completa o propósito e a natureza da zona analisada, deve compreender a potencialidade dos dados existentes (e os limites de conclusões que os dados permitem chegar), as implicações na obtenção de novos dados, e com isto realmente definir objetivos tangíveis para o zoneamento considerando: prazos, recursos disponíveis.

4.5.1 Aplicação do mapeamento como ferramenta para planejamento urbano

No Capítulo 3 desta tese, foram comentados os controles que podem ser aplicados sobre determinada região para o correto uso do solo. Agora veremos os tipos de controles que podem ser aplicados, FELL *et al.* (2008a), dependendo do tipo de zoneamentos:

- Mapa de Suscetibilidade, quando este tipo de zoneamento é aplicado, é necessário que exista uma avaliação Geotécnica de risco das intervenções construtivas realizadas em zonas que recebam a classificação de suscetíveis a deslizamentos. Nas zonas de susceptibilidade “muito baixa” ou “não susceptíveis” também é necessário que existam, ao menos, exigências básicas, tais como adesão às boas práticas de Engenharia em encostas;
- Mapa de Perigo, para este tipo de zoneamento, feito com um nível de detalhamento intermediário ou avançado, controles também podem ser

definidos em função de: (a) o perigo é tão baixo que não há a necessidade de controle, (b) onde são necessários alguns controles restritivos, por exemplo, limitação da altura de cortes e aterros, (c) onde uma avaliação Geotécnica detalhada do perigo e do risco são necessárias *a priori* da aprovação do projeto e (d) onde o perigo é tão alto que o desenvolvimento é impossível;

- Mapa de Risco, onde o estudo foi feito em um nível intermediário ou avançado, levando em conta os riscos de perdas de vidas, os controles podem ser feitos em função de: (a) zonas onde a perda de vidas é tão baixa que é dispensável a exigência de medidas restritivas de desenvolvimento, (b) zonas onde é necessária uma avaliação individual do risco antes da aprovação do projeto e (c) zonas onde desenvolvimento é impossível, pelo alto risco associado.

Observando os países desenvolvidos e em desenvolvimento, CASCINI *et al.* (2005) perceberam que as práticas mais aplicadas incluem a limitação de zonas onde o desenvolvimento ou é proibido ou restrito, dependendo do seu nível de ocupação. Em outros casos, onde os terrenos são classificados como de baixa periculosidade no que tange deslizamentos, imposições podem ser feitas por avaliações geotécnicas ou pela simples divulgação de informações aos proprietários.

Os mesmos autores comentam que a grande problemática não reside na elaboração dos controles de uso do solo, e sim na sua aplicação em longo prazo. Eles exemplificam dificuldades: em Tegucigalpa - capital de Honduras - já nos anos 70, havia medidas restritivas que impediam a ocupação da margem esquerda do rio *Comayagua*, conhecida como a zona do deslizamento *Berrinche* (fúria). Contudo, com o passar das décadas, as medidas foram desrespeitadas e centenas de casas foram destruídas na reativação repentina da ruptura. Nos países em desenvolvimento as periferias crescem em grande velocidade, fora das regiões urbanísticas planejadas, mesmo com a existência de medidas restritivas, o que leva a situações de alto risco, e a desocupação destas zonas é dificultada pelos próprios governos locais que levam infraestrutura (abastecimento de água, saneamento, energia elétrica,...) a estas regiões.

Há mais uma abordagem importante: os mapas gerados nos estudos não são perenes, precisam ser atualizados. FELL *et al.* (2008a) afirmam que devem ser realizadas periodicamente revisões nos mapeamentos de deslizamentos, devido:

- ao desenvolvimento ocorrido (intervenções) após o zoneamento, que pode alterar a condição de suscetibilidade, perigo e risco;
- com o desenvolvimento de uma área, novas e mais detalhadas informações sobre o terreno são adquiridas o que aumenta o entendimento dos possíveis mecanismos de deslizamentos associados;
- com o passar do tempo, os elementos em risco mudam.

4.5.2 Mapeamento e o gerenciamento de rodovias

Há uma clara vantagem na utilização dos mapeamentos como ferramentas gerenciais em rodovias. Abaixo são indicados os principais benefícios dos zoneamentos:

- visualização dos locais de maior perigo ou, em outras palavras, locais que precisam ser contidos primeiro (priorização);
- redução dos custos com seguro, visto que existe a política de risco controlado;
- possível simulação dos efeitos que determinada alternativa técnica tem sobre a estabilidade do talude;
- planejamento de duplicações e/ou variantes (fazer pista separadas para os dois sentidos da rodovia);
- criação de níveis de alerta em função das precipitações;
- indicação de instrumentação e monitoramento de taludes;
- evita bloqueios desnecessários da rodovia ou deixar de bloquear a rodovia quando realmente é importante (em ambos pode haver sérios acidentes). No caso de trechos sob concessão, evita o enfraquecimento da marca (protegendo a imagem da corporação, que é um capital intangível), pois a rodovia não é fechada a toda hora e os usuários podem se sentir mais seguros (fortalecimento institucional);

- fornecem dados para as etapas de projeto básico (já existe uma “topografia” preliminar e dados sobre os solos)
- proveem dados em casos de litígio sobre a faixa de domínio. Muitas vezes rodovias sofrem com acidentes causados por intervenções fora da faixa de domínio, quando proprietários de lotes adjacentes alteram, por exemplo, a topografia para fazer um acesso ou desmatam uma local que mais tarde pode deslizar. Se o mapeamento já tiver sido executado, será possível demonstrar se aquela intervenção fora da faixa de domínio aumentou o risco ou foi responsável por um eventual acidente.

4.6 ESCOLHA DO MAPEAMENTO ACERTADO

No tópico 4.5 foi apresentado como o mapeamento é uma ferramenta fundamental para a ocupação humana. Mas há uma questão relevante quando se está fazendo zoneamento: a escolha do mapeamento acertado.

Esta questão é capital, pois com ela é que se escolhe o tipo e nível de zoneamento mais coerente com os limites práticos e os objetivos a que um determinado mapeamento se propõe. Serão apresentadas neste item como se desenvolvem estas questões.

4.6.1 Condições iniciais

A ferramenta mapeamento pode ser utilizada para zoneamentos regionais, locais ou de *sites* específico, FELL *et al.* (2008a). Desta forma, o tipo, nível e escala dos mapas utilizados dependerão, além dos objetivos do zoneamento, também do:

- estágio evolutivo do plano de zoneamento. O Mapa de Suscetibilidade serve para o estágio preliminar, o Mapa de Risco é para o estágio avançado e o Mapa de Perigo serve tanto para o estágio avançado como preliminar;
- estágio de desenvolvimento da ocupação. Mapas de Risco são mais aplicáveis para regiões onde já há ocupação (zonas urbanas ou vias projetadas ou construídas), contudo os autores salientam que os elementos em risco variam com o tempo e o Mapa de Risco precisa ser atualizado periodicamente;

- classificação da atividade, volume e intensidade de um deslizamento. Os Mapas de Risco são mais aplicáveis onde os deslizamentos podem atingir grandes velocidades e/ou alta intensidade (velocidade e volume) fazendo que o risco de perdas de vidas seja provável;
- os objetivos do mapeamento definem qual tipo de zoneamento será utilizado e a escala adequada, ao passo que questões de disponibilidade de verbas são uma restrição prática (quanto aos custos, os tipos de mapeamentos podem ser classificados em ordem crescente de valores como de suscetibilidade, perigo e risco);
- as informações disponíveis (quantidade e qualidade). Mapas quantitativos de perigo e risco não podem ser realizados em locais onde os dados sobre a frequência não existem ou não são confiáveis, o que torna o Mapa de Suscetibilidade a técnica recomendada;
- o histórico da evolução da ocupação, visto que a intervenção antrópica altera a estabilidade de taludes, corroborado por CASCINI *et al.* (2005);
- os mapas qualitativos de suscetibilidade e perigo são frequentemente utilizados, porém, quando possível, é melhor utilizar métodos quantitativos (cabe salientar que Mapas de Risco devem ser quantitativos);
- para correta definição dos limites da zona mapeada para códigos de construção são exigidos mapas em grandes escalas, com dados de entrada em nível apropriado;

4.6.2 Recomendações sobre tipos, nível de mapeamento e escalas de mapas

Para que se desenvolvam os mapeamentos de deslizamentos de uma forma coerente e de custo apropriado, deve-se obedecer a algumas recomendações. FELL *et al.* (2008a) colocam a questão da seguinte forma: normalmente os Mapas de Suscetibilidade devem ser realizados nos primeiros estágios de mapeamento, para planejamento do uso de solo. Isto permitirá um melhor controle do processo e levará a uma redução de custos, visto que indicará locais onde são necessários mapeamentos mais avançados (detalhados), em outras palavras, Mapas de Perigo e Risco.

Com base nisto FELL *et al.* (2008a) criaram uma tabela que organiza este raciocínio. A tabela 3 mostra recomendações sobre os tipos de zoneamento, os níveis de zoneamento e as escalas dos mapas, em função dos objetivos do zoneamento. E a tabela 4 exemplifica para cada escala (pequena, média, grande e detalhada) as suas aplicações.

Tabela 3: Recomendações sobre o tipo, nível de mapeamentos e escalas de mapas para zoneamentos de deslizamentos (adaptado de FELL *et al.* 2008a).

OBJETIVOS		TIPO DE ZONEAMENTO				NÍVEL DE ZONEAMENTO			ESCALAS DOS MAPAS APLICÁVEIS
		Inventário	Susceptibilidade	Perigo	Risco	Preliminar	Intermediário	Avançado	
Zoneamento Regional	Informativo	OK	OK			OK			1:25.000 a 1:250.000
	Consultivo	OK	OK	(*)		OK	(*)		
	Estatutário	Não Recomendado							
Zoneamento Local	Informativo	OK	OK	OK	(*)	OK	(*)		1:5.000 a 1:25.000
	Consultivo	(*)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	Estatutário		(*)	OK	(*)		OK	OK	
Zoneamento de Local Específico	Informativo	Não Recomendado							1:5.000 a 1:1.000
	Consultivo	Não Empregado Comumente							
	Estatutário		(*)	OK	OK		OK	OK	
	Projeto		(*)	(*)	OK		(*)	OK	

Legenda:

- OK Aplicável
- (*) Pode ser Aplicável

FELL *et al.* (2008b) reforçam que as questões financeiras podem ser sérios limitadores, obrigando o uso de menores escalas de zoneamento de suscetibilidade e perigo. Caso isto aconteça, deve ficar bem clara a precisão dos limites do mapeamento e das estimativas de suscetibilidade e perigo. Os autores finalizam a questão comentando que esses tipos de mapas devem apenas funcionar como um desencadeador para avaliações geotécnicas de perigo e/ou risco de deslizamento, não para impor legislações que restrinjam a ocupação de determinado local.

Tabela 4: Escalas de zoneamento e suas aplicações (adaptado de FELL et al. 2008a).

DESCRIÇÃO DA ESCALA	MAGNITUDE INDICATIVA DA ESCALA	EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DO ZONEAMENTO	ÁREA TÍPICA DE ZONEAMENTO
Pequena	<1:100.000	Inventário de deslizamento e susceptibilidade para informar aos legisladores e o público em geral	>10.000 km ²
Média	1:100.000 a 1:25.000	Inventário de deslizamento e susceptibilidade para desenvolvimento regional, ou projetos de engenharia muito grandes. Mapeamento preliminar de perigo local.	1.000 a 10.000 km ²
Grande	1:25.000 a 1:5.000	Inventário de deslizamento, mapeamento de susceptibilidade e perigo local. Mapeamento de perigo em nível intermediário e avançado para desenvolvimento regional. Zoneamento de risco em nível preliminar e intermediário com objetivos locais e estágios avançados de planejamento de grandes estruturas de engenharia, rodovias e ferrovias.	10 a 1.000 km ²
Detalhado	>5.000	Mapeamento de perigo e risco em nível intermediário e avançado para desenvolvimento local, local específico e para a fase de projeto de grandes estruturas de engenharia, rodovias e ferrovias.	Vários hectares a dezenas de quilômetros quadrados

Isto também pode ser visto em CASCINI *et al.* (2005), onde os autores citam o caso do vale do rio *Rimac* no Peru. Nesta região extensa (3.300 km²) há uma porção baixa e densamente ocupada (próximo da cidade de Lima), que possui um clima seco (com precipitação em torno de 2 mm/ano). Em contrapartida, na região mais alta, há precipitações intensas e repentinas (em torno de 800 mm/ano), que causam devastadores fluxos de detritos, que atingem e causam danos na grande zona baixa e plana, aparentemente não afetada pelo perigo de deslizamentos. Assim, CASCINI *et al.* (2005), comentam que esta vasta região exige, primeiramente, uma análise em pequena escala (1:100.000 – 1:50.000) onde o perigo é expresso simplificada. Contudo, esta análise serve apenas para um planejamento geral do uso do solo. Porém nas áreas mais densamente ocupadas, as investigações devem ser mais detalhadas (1:25.000) para delimitar mais precisamente as zonas expostas e a graduação de intensidade de perigo com um critério preciso. Quando os elementos a serem analisados são terrenos (lotes) ou edificações específicas, uma escala de mapeamento maior é necessária (escala > 1:5.000). CASCINI *et al.* (2005) finaliza dizendo que obviamente é necessário aliar à qualidade de investigação sobre deslizamento a escala desejada e os objetivos do mapeamento.

4.6.3 Inter-relação: tipos e níveis de mapeamento

Até o momento se desenhou o contorno das questões que relacionam os objetivos dos mapeamentos com seus respectivos tipos e níveis usados na sua concepção. Agora se apresentará mais detalhadamente como todos estes aspectos se relacionam e os quesitos necessários para sua realização.

Segundo FELL *et al.* (2008a), é essencial coincidir (a) o nível de mapeamento, (b) utilização a qual o mapeamento se propõe, (c) a escala dos mapas e (d) os dados de entrada utilizados, ver tabela 5. Por exemplo, para produzir um zoneamento do tipo Suscetibilidade, em nível Avançado, é necessário que o inventário seja feito em nível Avançado, a caracterização dos potenciais deslizamentos seja feita ou em nível Avançado ou em nível Intermediário, assim como a avaliação da distância percorrida pelas rupturas.

Tabela 5: Níveis de atividades necessários para o inventário e mapeamento de suscetibilidade, perigo e risco (adaptado de FELL *et al.* 2008a)

TIPO DE ZONEAMENTO	ZONEAMENTO DE RISCO						
	ZONEAMENTO DE PERIGO						Vulnerabilidade
	ZONEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE					Elementos em Risco	
	MAPA DE INVENTÁRIO						
Nível de Zoneamento	Inventário dos Deslizamentos Existentes	Caracterização do Potencial de Deslizamentos	Velocidade e Distância Percorrida	Avaliação da Frequência	Probabilidade Espacial e Temporal	Elementos em Risco	Vulnerabilidade
Preliminar	Básico ^{1 2}	Básico ^{1 2}	Básico ¹ Intermediário ²	Básico ^{1 2}	Básico ^{1 2}	Básico ^{1 2}	Básico ^{1 2}
Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário a Básico
Avançado	Avançado	Avançado a Intermediário	Avançado a Intermediário	Avançado a Intermediário	Avançado	Avançado	Avançado a Intermediário

Legenda:

- 1 Para mapeamento qualitativo
- 2 Para mapeamento quantitativo

4.7 DIFICULDADE VERSUS CONFIABILIDADE DO MAPEAMENTO

Apesar do mapeamento não ser uma ferramenta nova, ao contrário do que acontece com as metodologias, por exemplo, de fundações e estabilidade de taludes, não há um processo de avaliação e verificação consagrado por uma teoria conhecida

há décadas. Assim, faz-se necessária uma discussão sobre confiabilidade e as dificuldades nos zoneamentos, apontadas na bibliografia internacional.

CASCINI *et al.* (2005) coloca a questão de maneira semelhante: (a) já existe uma grande quantidade de trabalhos realizados com métodos de avaliação de deslizamento, contudo raramente são validados, (b) é necessário verificar a capacidade de previsão de deslizamentos, tanto no espaço quanto no tempo. Os autores ainda comentam que as questões anteriores são intimamente dependentes da qualidade dos dados de entrada, especialmente do inventário de deslizamentos (como será visto ainda dentro deste tópico). FELL *et al.* (2008b) comentam que, onde são usados métodos avançados de modelagem de taludes, há a necessidade de calibração dos mesmos pelo inventário e métodos empíricos.

4.7.1 Dificuldades do mapeamento

Existindo tantas dificuldades e diferentes métodos de mapeamento, é esperado que uma área que é mapeada por diferentes grupos forneça diferentes resultados. CASCINI *et al.* (2005) citam exemplos de mapeamentos realizados nos Alpes Italianos por 3 diferentes grupos em 2 áreas distintas, onde foram verificadas discrepâncias muito grandes. Os resultados, segundo os autores, mostraram que ainda se está muito distante de obter reprodutibilidade na avaliação de perigo de deslizamento. Entretanto, os desencontros podem ser consideravelmente diminuídos se: (a) as principais unidades geomorfológicas da área (*morphologically-meaningful-terrain units*) forem identificadas e (b) os grupos forem treinados para o mapeamento.

CASCINI *et al.* (2005) e FELL *et al.* (2008a), citam que a obtenção de dados (inventário) por fotografias aéreas também é bastante subjetiva, especialmente em pequenas escalas, visto que analistas diferentes obtêm informações diferentes. FELL *et al.* (2008a) ainda complementam dizendo que as fotografias aéreas são a maior fonte de erros na preparação de inventários de deslizamentos. Ou seja, as discrepâncias em mapeamentos de perigo e risco se devem muito mais à qualidade dos dados de entrada, especialmente o inventário (tipo, atividade, número e extensão de deslizamentos), que à metodologia adotada, CASCINI *et al.* (2005).

Com o notável avanço das ferramentas computacionais na última década, é possível utilizar um extenso banco de dados e resolver problemas complexos, contudo nem sempre as ferramentas automatizadas são capazes de produzir mapas mais

objetivos, precisos e confiáveis que aqueles feitos por pessoas. Em resumo, ainda é indispensável o trabalho de campo com profissionais de bom conhecimento que sejam capazes de extrair parâmetros fundamentais, CASCINI *et al.* (2005).

Em síntese, conforme FELL *et al.* (2008a), as potenciais fontes de erro em mapeamentos incluem:

- inventário de deslizamento limitado (nos quais os Mapas de Suscetibilidade e perigo se baseiam);
- variações nas séries temporais (se um local for alterado – por exemplo, desmatamento – uma mesma chuva terá consequências diferentes);
- informações limitadas da região analisada, tais como topografia, geologia, Geomorfologia, chuva,...;
- incertezas no modelo de mapeamento adotado;
- pessoal sem qualificação suficiente em mapeamentos.

4.7.2 Confiabilidade do mapeamento

Assim como para outros produtos, os mapeamentos precisam de controle de qualidade (verificação). CASCINI *et al.* (2005) afirmam que este não é um processo trivial e que o método mais corriqueiro para fazer isto é analisar um grupo de deslizamentos, diferentes daqueles utilizados na avaliação de perigo, e calcular o percentual de deslizamentos que se encaixam em cada classe de suscetibilidade ou perigo. Os pesquisadores ainda apresentam mais algumas estratégias de controle, citando REMONDO *et al.* (2003): (a) dividir o inventário em dois grupos, sendo um utilizado para estimativa do perigo e outro para validação, (b) dividir a área de estudo em duas partes, uma para avaliar o perigo e a outra para testar o mapa, (c) dividir o período em dois, no primeiro faz a avaliação do perigo propriamente dita e o segundo é utilizado na verificação. A última técnica é a mais adequada para validação.

FELL *et al.* (2008a) adicionam à questão da validação a importância de um revisor independente. Esta pessoa precisa ser altamente qualificada e estar em contato com a equipe de mapeamento, de preferência, durante todo o tempo.

Além disto, esses pesquisadores comentam sobre o assunto das mudanças climáticas, explicando que embora a previsão dos efeitos das mudanças climáticas

tenha avançado, a previsão de deslizamentos desencadeadas por precipitação não avançou na mesma velocidade, e até o momento não é possível incorporar isto nos zoneamentos. Contudo, FELL *et al.* (2008a) salientam que deve-se ficar atento às evoluções do conhecimento a este respeito.

4.8 EQUIPE QUALIFICADA, QUESTÃO ESSENCIAL NO MAPEAMENTO

Neste tópico, são reforçadas as qualidades intrínsecas necessárias aos profissionais que estão envolvidos nos mapeamentos e como instruí-los para as necessidades de determinado zoneamento.

Quando se está avaliando deslizamentos, o geólogo de Engenharia envolvido tem um papel fundamental nas conclusões sobre o mesmo, pois possui um grande conhecimento sobre o assunto, o que lhe permite obter informações além daquelas evidências claras de campo (por exemplo, delinear uma ruptura apenas pelas trincas existentes), CORNFORTH (2005). O autor salienta ainda há necessidade do geólogo de Engenharia trabalhar em conjunto com um geotécnico, o que permite que os mecanismos de deslizamento sejam coerentes com a geologia.

A ideia expressa por CORNFORTH (2005) é também encontrada em FELL *et al.* (2008a), onde os pesquisadores comentam que o mapeamento deve ser conduzido por um geólogo de Engenharia, um geomorfólogo e um geotécnico que tenham experiência em zoneamentos e no entendimento nos processos envolvidos em encostas, avaliação de risco e estabilidade de taludes. FELL *et al.* (2008a) conclui que os consultores que se propõem a fazer mapeamentos precisam ter uma equipe habituada ao trabalho, não sendo suficiente que uma empresa já tenha experiência em mapeamento. O que importa são as pessoas que estão realizando o trabalho diretamente.

4.8.1 Instrução aos profissionais contratados

Quando alguém é contratado para fazer um zoneamento, algumas informações precisam ficar bem claras para o entendimento do que está sendo pedido. FELL *et al.* (2008a) as organiza da seguinte maneira:

- definir os objetivos do mapeamento e como ele será utilizado;
- delinear a área de estudo;
- determinar os tipos de deslizamentos a serem considerados;
- definir o tipo de mapeamento (susceptibilidade, perigo ou risco);
- informar o nível de zoneamento desejado;
- identificar os interessados nos resultados e seus interesses objetivos;
- informar se alguma consulta pública precisará ser feita;
- avisar sobre questões legais e regulatórias;
- esclarecer quais são os requisitos que o mapeamento deve ter (relatório, escalas, detalhes,...);
- definir um programa de estudo;
- definir um orçamento coerente;
- descrever o processo de revisão independente;
- listar as informações e em que formato estão disponíveis;
- detalhar o método esperado para o estudo;
- determinar a terminologia a ser utilizada.

4.8.2 Situações de emergência

No tópico anterior vimos uma síntese de quais são os requisitos humanos e materiais para realização de um mapeamento dentro de uma situação de normalidade. Porém, muitas vezes ocorrem imprevistos e/ou situações de emergência que requerem respostas rápidas na iminência dos problemas. Para esta situação MACEDO (2001) e MACEDO e ZUQUETTE (2002) desenvolveram um trabalho de treinamento rápido para pessoas não especializadas, para que estas realizem vistorias emergenciais em taludes ocupados, com o uso de um roteiro de cadastramento expedito.

No exemplo citado pelos autores, um grupo de pessoas teve que fazer uma avaliação de risco (assim chamada pelos autores) de uma determinada região. Depois estas pessoas assistiram o curso e refizeram o mapeamento da mesma região. Os

dois resultados (antes do curso e depois do curso) foram comparados com gabaritos realizados por pessoal experiente neste tipo de trabalho. O trabalho teve desdobramentos interessantes.

Os alunos que participaram do curso eram funcionários de uma prefeitura do Estado de São Paulo e 2 alunos de geologia. Isto fez com que um grupo heterogêneo e multidisciplinar fosse formado por: (a) 4 engenheiros civis, (b) 2 técnicos, (c) 1 fiscal, (d) 3 assistentes sociais, (e) 1 advogado e (f) por fim os 2 estudantes de geologia. A equipe que produziu o gabarito, segundo MACEDO (2001) e MACEDO e ZUQUETTE (2002), era constituída por 1 engenheiro civil, 2 geólogos e 1 tecnólogo da construção civil, todos especialistas no tema. A área analisada foi dividida, em 3 graus de risco:

- baixo risco;
- risco a ser observado;
- risco iminente.

Os resultados gráficos da avaliação dos alunos em relação ao gabarito para as 3 classes de riscos analisadas são apresentados nas figuras 6, 7, 8, onde os percentuais de acerto em relação ao gabarito são identificadas. MACEDO (2001) e MACEDO e ZUQUETTE (2002) comentam que os resultados precisam ser analisados com cuidado, visto que cada indivíduo que participou do estudo possui experiência, visões e percepções do problema particulares.

A partir da observação das figuras 6, 7, 8 os autores concluíram que em todas as análises houve um considerável incremento na capacidade de avaliação, exemplificando que:

- no baixo risco, o valor de acerto médio a média subiu de 88,5 % de acerto para 95,1 %;
- no risco a ser observado, a média saiu de 21,2 % para 26,1 %;
- no risco iminente, a média subiu de 33,3 % para 65,9%, sendo este o que desenha a melhora da capacidade de avaliação.

Com base nisto MACEDO (2001) concluiu que a transferência de conhecimento foi eficaz e durante os trabalhos, e foi percebido: (a) a real necessidade de padronização de metodologia e terminologia, (b) o uso indiscriminado de escala de

risco e terminologia gera confusão no meio técnico e acadêmico, promovendo um desserviço à troca de experiências. Por fim MACEDO e ZUQUETTE (2002) enfatizam que mapeamentos devem estar a cargo de instituições competentes, universidades e associações técnico-científicas e profissionais.

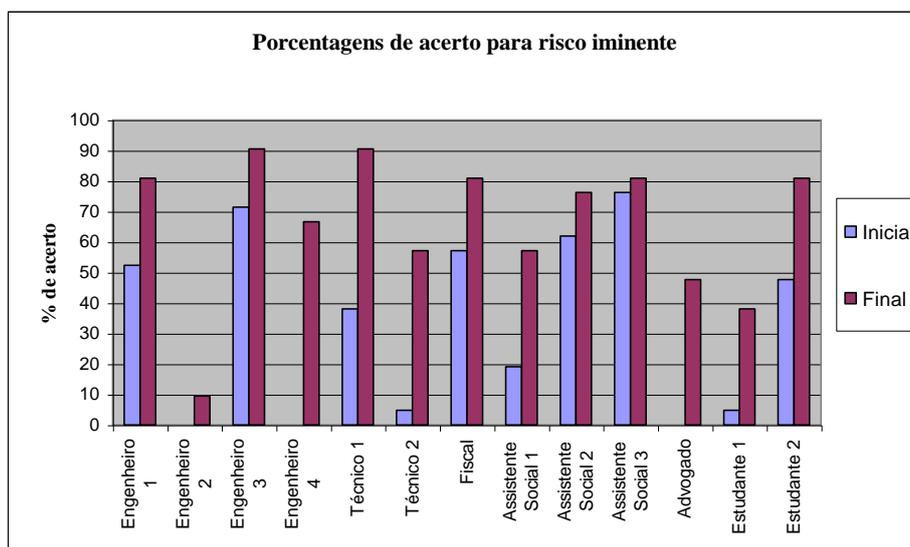


Figura 6: Porcentagem de acerto para risco iminente (MACEDO e ZUQUETTE 2002)

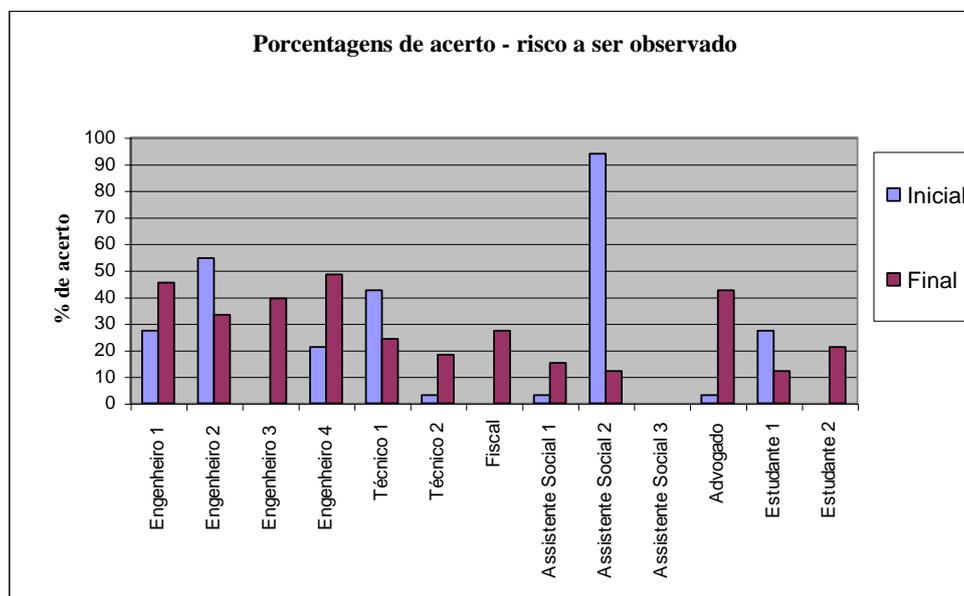


Figura 7: Porcentagem de acerto para risco a ser observado (MACEDO e ZUQUETTE 2002)

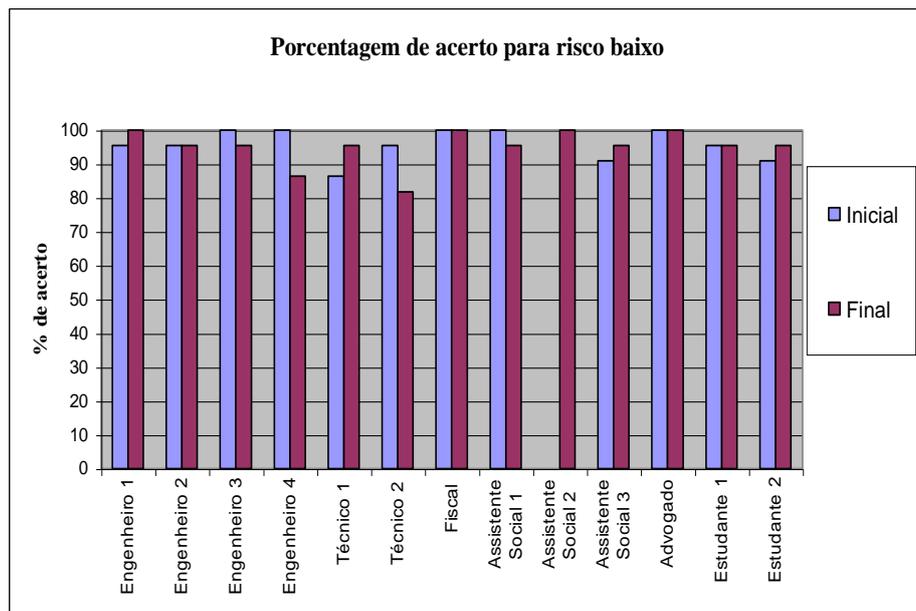


Figura 8: Porcentagem de acerto para risco baixo (MACEDO e ZUQUETTE 2002)

5 INTERPRETAÇÃO DO TERRENO - GEOMORFOLOGIA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS (*LANDFORM*)

Nos capítulos anteriores foram expostas as circunstâncias que cercam um mapeamento, sejam elas: quais as utilidades dos mapas (como eles servem a sociedade) e quais as diretrizes que devem obedecer (nomenclaturas, escalas, metodologias, etc.). Nos capítulos que se seguem, se iniciarão as discussões de ordem geotécnicas que culminarão na construção de um Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos. O primeiro ponto a ser discutido diz respeito às formas de interpretação do terreno (que fornecem subsídios para a aplicação da modelagem Geotécnica).

Ao se estudar, cartograficamente, uma região é necessário ter em mente que as condições nas quais terreno se encontra (formas, inclinações, alturas) são um reflexo das condições naturais que conformaram aquelas superfícies e dos materiais presentes. Em outras palavras, aquele terreno só possui aquela determinada forma porque os processos que atuaram sobre aquela região moldaram o material presente. Caso ou o material ou os processo fossem outros as condições do terreno também o seriam. Assim, analogamente, os estudos geomorfológicos e de *Landform* (formas ou feições do terreno) são a ciência forense da terra, na qual busca-se desvendar a relação entre forma, materiais e processo de transformação da superfície terrestre.

O raciocínio acima exposto é corroborado, conforme TRENTIN e ROBIANA (2005), pela metodologia suíça de classificação Geotécnica do terreno, que tem como princípio a seguinte premissa: locais que foram atingidos por um mesmo grupo de eventos e sobre semelhantes condições climáticas podem possuir propriedades geotécnicas e comportamentos semelhantes.

Assim, neste capítulo, serão discutidas as formas de julgamento do terreno, que são fundamentais para a construção de mapas geotécnicos, sendo estes de importância indiscutível para a avaliação de terrenos frente aos movimentos de massa. Primeiramente será feita a discussão sobre o atual estado da arte sobre o julgamento

do terreno, passando-se em seguida para discussões mais específicas sobre Geomorfologia e *Landform*.

5.1 DISCUSSÕES PRELIMINARES

Quando é feita uma pesquisa bibliográfica a respeito de formas de mapeamento de terreno a fim de obter unidades geotécnicas fica claro que não há uma unanimidade a respeito do assunto. Em IBGE (2009) é traçado um panorama histórico da Geomorfologia mostrando duas vertentes principais: uma na América do Norte e outra no Leste Europeu, encabeçada pela Alemanha. Tratando mais especificamente dos mapeamentos com Finalidades Geotécnicas, VALENTE (1999), após uma longa pesquisa bibliográfica, aponta que não existe um consenso metodológico no que tange mapeamentos geotécnicos. Segundo a pesquisa do autor, cada região precisa ter os procedimentos de mapeamento modificados para contemplar características próprias. Estas características e as adaptações são relacionadas ao: (a) meio físico, (b) dados disponíveis, (c) objetivos do mapa, (d) escala adotada no trabalho e (e) questões econômicas.

Resumidamente, segundo LOLLO (1995), em meados do século passado, no começo da década de 50, após a introdução do conceito do Princípio da Similaridade dos Elementos da Paisagem, havia duas linhas de mapeamento adotadas pelos pesquisadores: (i) puramente geomorfológica e (ii) avaliação das condições naturais. Ainda segundo o mesmo autor, a segunda vertente se divide em outras duas linhas: (a) avaliação visual da paisagem e (b) Avaliação do Terreno. Esquemáticamente, esta ideia estabelecida pelo autor pode ser observada na figura 9.

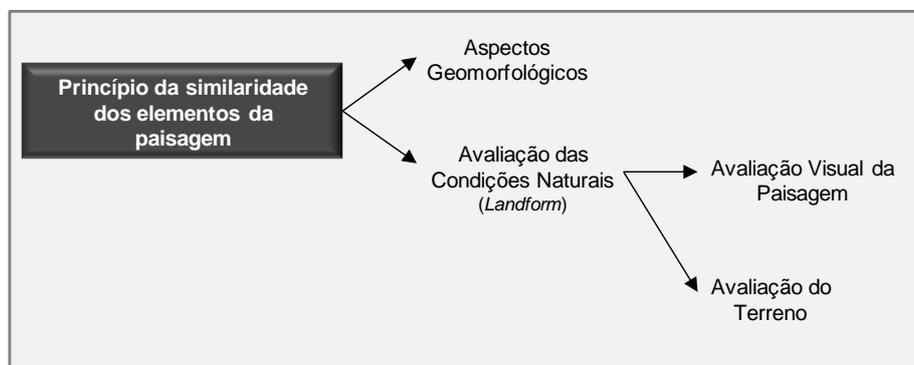


Figura 9: Formas de mapeamento do terreno.

Neste momento cabe fazer um parêntese. A figura 9 será utilizada mais de uma vez dentro deste capítulo, para explicar mais claramente como se encaixam os novos conceitos que serão apresentados nos itens que se seguem, ou seja, cada vez que novos conceitos forem discutidos a figura 9 será reapresentada com eles.

Assim na procura de métodos de caracterização dos elementos naturais (sempre considerando os aspectos financeiros e agilidade) a Geotecnia encontrou na Geomorfologia um aliado para os trabalhos de mapeamento. Vislumbrando-se a possibilidade de fazer zoneamentos correlacionando a homogeneidade das formas (*Landform*), possibilitou para os trabalhos de caracterização do meio físico um novo salto. Este salto resultou na técnica de Avaliação do Terreno baseada no reconhecimento das formas assumidas pelo terreno e de suas associações espaciais, e com posterior zoneamento. A premissa da Avaliação do Terreno é que as unidades básicas do terreno, quando sujeitas as mesmas condições ambientais, constituem unidades básicas de materiais, LOLLO (1995). Em outras palavras, unidades com formas semelhantes possuem materiais semelhantes.

5.1.1 Evolução da técnica

Com base no que foi explicado acima, pode-se fazer a seguinte observação: houve uma disseminação da técnica de avaliação de terreno para mapeamentos geotécnicos. Segundo LOLLO (1995) esta disseminação iniciou-se fora do Brasil, especialmente em países de clima temperado, isto fez com que fossem colocadas no ambiente técnico brasileiro dúvidas sobre a aplicabilidade desta técnica em climas tropicais.

As dúvidas se baseiam no fato que a evolução dos formatos que o terreno assume em clima tropical se difere dos climas temperados, pois naqueles o intemperismo químico é predominante, enquanto no segundo quem comanda a transformação do terreno é o intemperismo físico. Quando o intemperismo químico atua sobre determinada região, é esperado que ocorra a suavização das forma (o que dificulta a identificação dos *Landforms*). Porém, como fica claro na literatura, não há uma técnica que seja aplicável a qualquer região do mundo, ela precisa de adaptações as necessidades locais.

Com isto em vista, LOLLO (1995), na sua tese de doutoramento, quebra esta barreira, uma vez que o pesquisador utilizou a técnica de Avaliação do Terreno para

um mapeamento Geotécnico feito em uma cidade no interior do Estado de São Paulo. Ele obteve uma resposta adequada, comparativamente as metodologias tradicionais aplicadas no mesmo local (área com muitos trabalhos de mapeamento já realizados). Assim sendo, o autor apresentou uma sistemática para Avaliação do Terreno. A sistemática foi montada após uma extensa pesquisa bibliográfica e testes das adaptações feitas no método dentro da região de campo do seu estudo.

Desta forma, a metodologia que será adotada nesta tese para a distribuição dos parâmetros de solo, seguirá a sistemática de LOLLO (1995). Porém será necessário manter a dinâmica de adaptar a sistemática para as necessidades locais. Como o autor não atingiu no seu mapeamento o nível de detalhe necessário para a tese aqui apresentada, será imprescindível buscar outras referências para complementar o trabalho do pesquisador, para isto serão incorporadas Análises Paramétricas/Morfométricas LOLLO e GANDOLFI (1991a), LOLLO (1992) e LOLLO e GANDOLFI (1995) para que seja possível trabalhar em uma escala grande e com finalidade Local (mapeamento de deslizamentos de parte das encostas da rodovia BR-376). Esta adaptação será apresentada em momento oportuno.

Existem duas metodologias muito empregadas no Brasil em mapeamentos geológicos/geotécnicos, sendo elas: ZUQUETTE (1987) e DIAS (1995). Estas técnicas foram empregadas por outros pesquisadores em seus trabalhos: (a) a metodologia de ZUQUETTE (1987) foi empregada, por exemplo, em LOLLO e GANDOLFI (1991b), LOLLO e GANDOLFI (1992), LOLLO e GANDOLFI (1994) e (b) DIAS (1995) foi empregada por VALENTE (1999) e MIRANDA (2008). Contudo, dentro da escala de trabalho a qual a tese se propõe (como já comentado anteriormente, grande escala) estas metodologias são apenas o ponto de partida, pois trabalham com escalas pequenas (regional, grandes áreas).

Abaixo, nos tópicos que se seguem, será feita a revisão bibliográfica a respeito das duas linhas de mapeamento citadas por LOLLO (1995): (i) Aspectos Geomorfológica e (ii) Avaliação das Condições Naturais, com especial enfoque na última, visto que será a utilizada nos trabalhos de mapeamento aqui apresentados. Uma revisão geral sobre a linha de mapeamento com Aspectos Geomorfológicos pode ser vista em POLTRONIERI (2013).

5.2 INTERPRETAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Neste item, será feita uma breve apresentação sobre Geomorfologia. Como será visto no decorrer do trabalho, a interpretação geomorfológica é importante para o desenvolvimento dos mapeamentos da tese, contudo a linha de mapeamento na qual a tese se baseia é a Avaliação das Condições Naturais do Terreno (*Landform*) (ver item 5.3).

A Geomorfologia, por definição, é a ciência que estuda as formas da superfície terrestre. É guiada pela identificação, descrição e análise das referidas formas (também denominadas de relevo). As análises são feitas com viés genético, cronológico, morfológicos, morfométricos e dinâmicos, quer sejam eles pretéritos quer sejam atuais (naturais ou antropogênicos).

Segundo SILVA (1995), a pesquisa geomorfológica precisa ter tipos de classificação (taxonomia) adequados, considerando a escala e a resolução da investigação (sendo necessário um ajuste aos objetivos da pesquisa). O autor julga indispensável que definições identificadoras das entidades geomorfológicas considerem os elementos de forma, composição e os processos geomorfológicos tidos como geradores e modificadores das entidades. CASSETI (2005) traz à tona a necessidade de esclarecer os processos geomorfológicos, sendo eles:

- morfoclimáticos - são os processos de curta duração e de abrangência espacial suficientes para que possam caracterizar certas formações, apresentado correspondência entre forma e clima;
- morfogenéticos - são os processos que relacionam intemperismo e forma, sendo intimamente ligados ao tempo de atuação do processo. Estes processos, por insuficiência de tempo, algumas vezes não deixam marcas importantes de sua formação de relevo;
- morfodinâmicos - são processos de intemperismo atual. Tanto podem ser antropogênicos (catalisadores de processos) com naturais (variações climáticas regionais, por exemplo).

De um modo geral, CASSETI (2005) afirma que para formações geomorfológicas muito antigas há um aumento na dificuldade de entendimento da dinâmica dos processos envolvidos.

Há mais uma questão relevante na pesquisa geomorfológica: categorização das formas de relevo segundo o tamanho, gênese e idade. ROSS (1992) apresenta 6 níveis de classificação (Táxon, ver figura 10) para representação geomorfológica, descritos a seguir:

- primeiro Táxon - unidades morfoestruturais, oriundas de processos geotectônicos e de grandes arranjos estruturais. Característicos de uma maior extensão superficial. Correspondem a este Táxon, por exemplo, escudos antigos, dobramentos arqueanos, depósitos de bacias sedimentares (entre outros, identificáveis em escalas 1:250.000);
- segundo Táxon - contido no primeiro, é representado pelas unidades morfoesculturais. É uma compartimentação regional, consequência de ações climáticas, não sendo controlada pelas condições geológicas. Correspondem a este Táxon, por exemplo, planaltos, serras, depressões e planícies;
- terceiro Táxon - contido no segundo, é representado pelas unidades morfológicas. Este Táxon é composto por compartimentos de uma mesma unidade, são influenciados principalmente pelos processos morfoclimáticos recentes específicos. Correspondem a este Táxon as subdivisões dos planaltos, depressões, chapadas, por exemplo;
- quarto Táxon - contido no terceiro, corresponde aos modelados (formas individuais dos padrões semelhantes do 3º Táxon). Correspondem a este Táxon, por exemplo, planícies e terraços fluviais/marinhos, colinas, morros. Os modelados são apresentados segundo sua gênese e funcionalidade;
- quinto Táxon, observa os taludes de cada setor tipológico, apresentando características geométricas, genéticas e dinâmicas particulares para cada encosta. Isto apenas pode ser representado em grandes escalas (superiores a 1:25.000);
- sexto Táxon - aumenta ainda mais a escala de trabalho, visto que discorre sobre pequenas formas decorrentes de interferência de fatores recentes (processos erosivos/acumulativos e ação indireta ou direta dos

homens). Correspondem a este Táxon as ravinas, voçorocas, assoreamentos, por exemplo.

Complementarmente, CASSETI (2005) indica a possibilidade de estender as unidades taxonômicas além do 6° nível. Seriam tratadas desta forma as microestruturas da superfície.

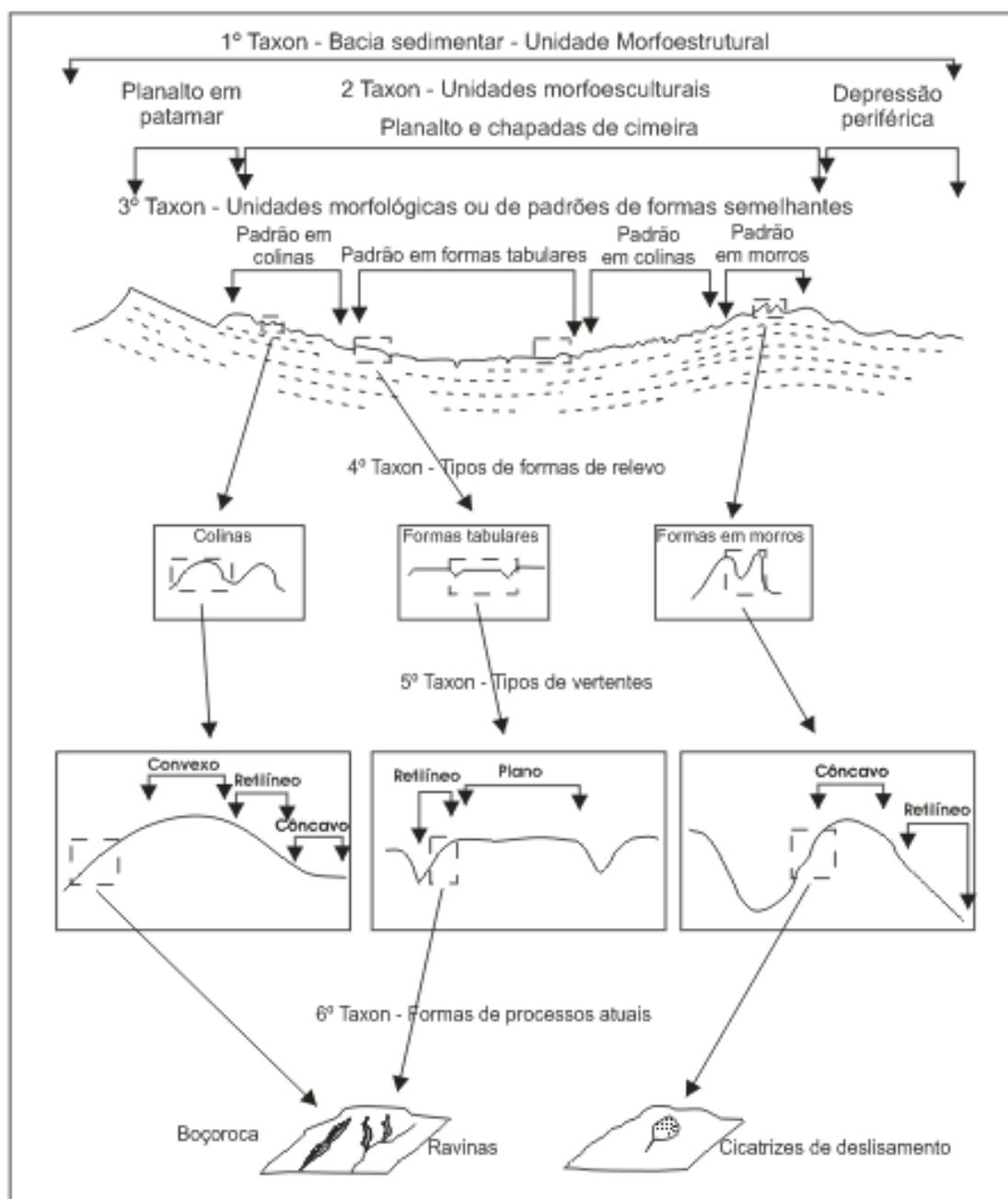


Figura 10: Unidades taxonômicas (ROSS 1992).

5.3 INTERPRETAÇÃO COM AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS (*LANDFORM*)

Como visto no início deste capítulo, os mapeamentos geotécnicos podem seguir duas linhas de mapeamento: Aspectos Geomorfológicos (abordados no item anterior, 5.2) e Avaliação das Condições Naturais (que será abordado neste tópico e seus respectivos subitens).

5.3.1 Avaliação visual da paisagem

Conforme LOLLO (1995) a avaliação visual da paisagem é uma associação de técnicas utilizadas em paisagismo, e os enfoques podem ser divididos em 2, LOLLO (1995) citando COOKE e DOORNKANO (1978): enfoque nos componentes mensuráveis do terreno e enfoque na qualidade cênica, ver figura 11. Enquanto no primeiro a atenção fica nos componentes mensuráveis (físicos, biológicos e de uso da terra), avaliados quantitativamente pela atribuição de índices numéricos, no segundo enfoque é qualitativo, baseado na resposta de potenciais consumidores.

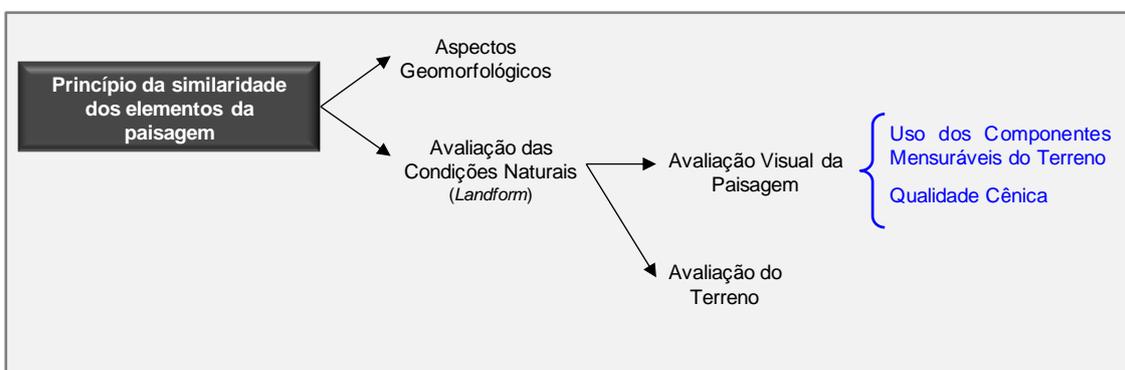


Figura 11: Formas de mapeamento do terreno, avaliação visual da paisagem.

5.3.2 Avaliação do Terreno

Conectando ao que foi dito no primeiro parágrafo deste capítulo. A base fundamental da Avaliação do Terreno é o reconhecimento, interpretação e análise de feições do terreno (*Landform*), que nada mais são que o resultado dos processos que

aturam sobre os materiais encontrados naquela superfície. As feições devem refletir as condições dos mesmos, distinguindo-se das porções vizinhas ao menos em um dos elementos de identificação, conforme LOLLO (1995):

- forma;
- posição topográfica;
- frequência de canais;
- inclinação das vertentes (taludes);
- amplitude de relevo.

Com base no conceito operacional acima apresentado, o autor elaborou uma sequência de procedimentos de análise. Primeiramente o autor subdividiu a Avaliação do Terreno em 3 Níveis Hierárquicos, sejam eles: Sistema de Terreno, Unidade de Terreno e Elemento de Terreno, apresentado no item 5.3.2.1. Além disto, também dividiu a Finalidade do mapeamento também em 3 classes, denominadas de Finalidades Geotécnicas: Regional Multifinalidade, Regional Finalidade Específica e Local, expostas no item 5.3.2.2.

5.3.2.1 Níveis Hierárquicos

Agora serão apresentados os 3 Níveis Hierárquicos de Avaliação do Terreno, segundo a proposta de LOLLO (1995), que nada mais são que a observação do terreno em porções cada vez menores, esquematicamente representadas na figura 12 e 13.

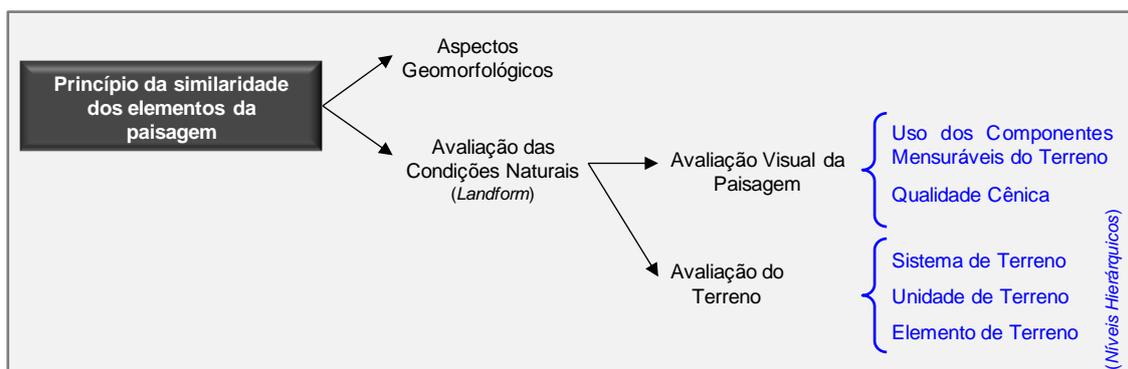


Figura 12: Formas de mapeamento do terreno, Avaliação do Terreno e Níveis Hierárquicos.

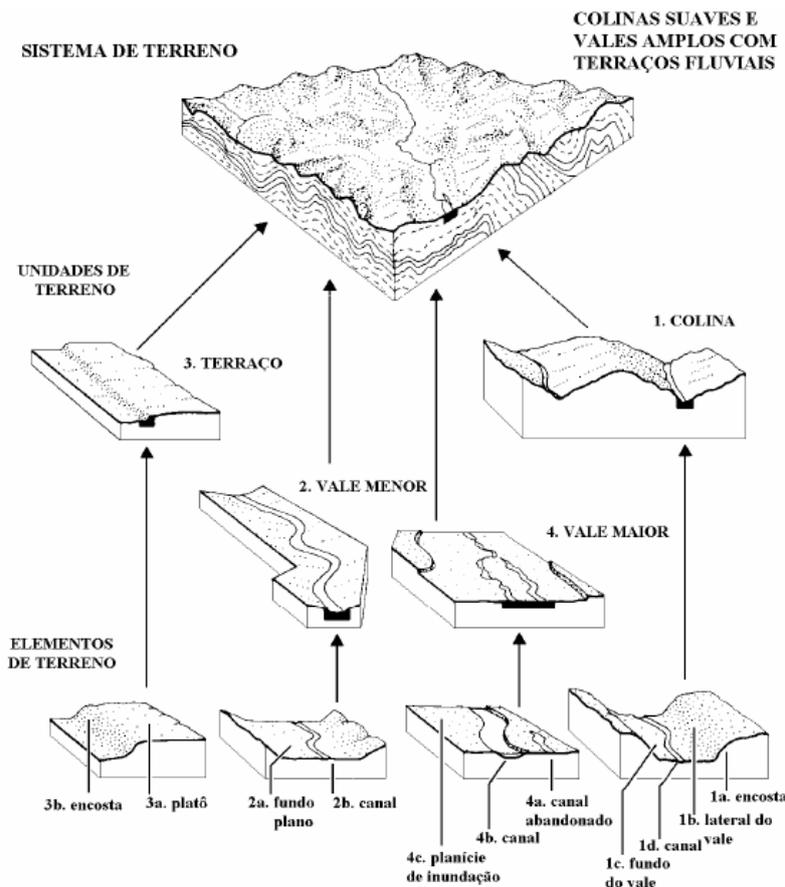


Figura 13: Aplicação da técnica de Avaliação do Terreno (COOKE e DOORNKAMP 1990 citado por LOLLO 1995).

a) Sistema de Terreno

Dos Níveis Hierárquicos o sistema é o maior. Consiste em uma associação de formas de relevo com expressão espacial determinada, apresentando similares condições evolutivas/materiais. Representa um conjunto de processos ou determinado intervalo de tempo (intervalo de atuação de processos) onde é esperado uma uniformidade no que diz respeito a leito rochoso.

A delimitação de um Sistema de Terreno é feita através do uso de imagens (satélites e fotografias aéreas), que permitam o reconhecimento genérico da área, com base nas grandes expressões geomorfológicas. Assim associando curvas de nível com as imagens é possível fazer uma generalização, definindo assim o mapa de sistemas de terreno.

Conforme comentado por LOLLO (1995) a generalização das formas poder ser dividida em duas:

- generalização conceitual - aqui é feita a (a) seleção de feições que serão ou apresentadas ou omitidas (irrelevantes) e (b) classificação de informações conforme sua importância; feições são combinadas e/ou recebem ênfase dependendo da sua classificação;
- generalização gráfica - nada mais é que a representação gráfica dos elementos identificados, fazendo o uso de recursos como exagero/ênfase, simplificação de feições, combinação de feições, deslocamento ou omissão de elementos de menor importância.

b) Unidade de Terreno

A Unidade de Terreno é a segundo maior Nível Hierárquico. É um subconjunto dentro do Sistema de Terreno, que possui uma forma individual que se distingue de outras a ela associada por formar um subconjunto de processos do Sistema de Terreno. Estas diferenças devem se refletir em termos de material inconsolidado (solo) associado à unidade.

Analogamente ao que foi feito no Sistema de Terreno, a delimitação das Unidades de Terreno tem como fundamento a Geomorfologia. São observadas as formas topográficas, a amplitude do terreno, a inclinação dos taludes, e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação da rede de canais.

Nestas observações geomorfológicas, neste Nível Hierárquico, não são utilizados limites numéricos. Contudo, LOLLO (1995) comenta que para não dificultar a compreensão de critérios de delimitação é interessante usar números nas análises. A tabela 6 e 7 apresentam, respectivamente, as unidades de terreno e critérios de reconhecimento das mesmas e critérios de descrição numéricos das Unidades de Terreno.

Resumidamente, o zoneamento em Unidade de Terreno consiste na subdivisão do Sistema de Terreno com o uso de imagens e trabalhos de campo (delimitação e reconhecimento de feições em padrões ou unidades). Feito isto, passa-se a

generalização conceitual e gráfica, que culminam em um mapa de Unidade de Terreno.

Tabela 6: Unidades de Terreno e critérios de reconhecimento (adaptado de LOLLO 1995).

UNIDADE	CRITÉRIOS DE RECONHECIMENTO
Escarpa	Taludes retilíneos com altas declividades (>20%), amplitude de relevo maior de 100m
Colina	Taludes convexos ou côncavos, topos ondulados a aplainados, declividades moderadas a baixas (<10% na maioria dos casos), amplitude de relevo menos 100m
Vale	Taludes convexos ou côncavos, declividades variadas (desde muito baixas até altas), amplitude de relevo variada
Morrete	Taludes predominantemente convexos, topos arredondados e angulosos, declividade moderadas a altas (>10%), amplitude de relevo menor que 100m
Morro	Taludes convexos a retilíneos, topos ondeados a pontiagudos, declividades altas (>20%), amplitude de relevo maior que 100m

a) Elemento de Terreno

O Elemento de Terreno é o menor dos três Níveis Hierárquicos de *Landform*, consistindo em uma subdivisão de uma Unidade de Terreno. Sua descrição, segundo LOLLO (1995) é parte de uma forma individual do terreno, que se destaca de outras, em termos de inclinação ou forma do talude, posição topográfica ou forma topográfica, e deve refletir as condições diferenciadas de espessura de solo ou variações laterais destes materiais.

O processo de zoneamento deste Nível Hierárquico se assemelha ao de Unidade de Terreno para delimitação de unidades, apenas sendo necessário observar o terreno com maior detalhe, com imagens de escala adequada a aquela que será usada no trabalho de mapeamento. A técnica denomina-se aerofotodedução, que consiste na associação das informações coletadas (a) com conhecimento do intérprete e (b) com os materiais presentes no terreno, permitindo a obtenção de informações derivadas.

Apesar da semelhança na sistematização das tarefas para a delimitação de Sistema, Unidade e Elemento de Terreno, há uma diferença relevante: trabalho no nível de detalhe. Trabalhar em escalas grandes normalmente está associada a

trabalho que tem um objetivo particular (finalidade particular). Assim sendo, requer um maior conhecimento de campo (amostragem mais densa), ensaios de campo e laboratório, além de incluir uma abordagem Paramétrica (tema que será tratado em um item específico ainda dentro deste capítulo).

Tabela 7: Critérios de descrição das Unidades de Terreno (adaptado de LOLLO 1995).

SIGNIFICADO	TERMO	DIMENSÃO OU DESCRIÇÃO	CRITÉRIO DE MEDIDA OU DE DESCRIÇÃO
Expressão Geográfica (colina, morrete e morro)	Pequeno	< 1 km	Maior componente de extensão de forma
	Médio	1 a 2 km	
	Ampla	> 2 km	
Expressão Geográfica (vale)	Pequeno	< 1km	Seção transversal do vale
	Médio	1 a 2 km	
	Ampla	> 2 km	
Forma da Seção Transversal (colina)	Ondulada	5 a 10 %	Declividade dos taludes
	Suave ondulado	2 a 5 %	
	Aplainada	< 2 %	
Forma do topo (morrete e morro)	Arredondado	< 20 %	Declividade do topo
	Anguloso	> 20 %	
Forma do Vale	Fechado	> 10 %	Declividade das vertentes
	Aberto	< 10 %	
Forma da Encosta	Convexa	Convencional	
	Retilínea	Convencional	
	Côncava	Convencional	
Frequência de Canais	Muito Alta	> 15 /km ²	Número total de canais (inclusive ravinas) por km ²
	Alta	7 a 15 /km ²	
	Média	3 a 7 /km ²	
	Baixa	< 3 /km ²	

5.3.2.2 Finalidade Geotécnica

Neste tópico será apresentado ao leitor a divisão dos mapeamentos em 3 classes com base na sua aplicação, denominados por LOLLO (1995) de Finalidade Geotécnica, sendo elas: Regional Multifinalidade, Regional Finalidade Específica e Local, ver figura 14.

A primeira classe de Finalidade Geotécnica é a Regional Multifinalidade, onde são tratados os zoneamentos do terreno que visam a identificação dos solos presentes

em determinada região e assim direcionam o planejamento/uso dos solo, mas em escala regional.

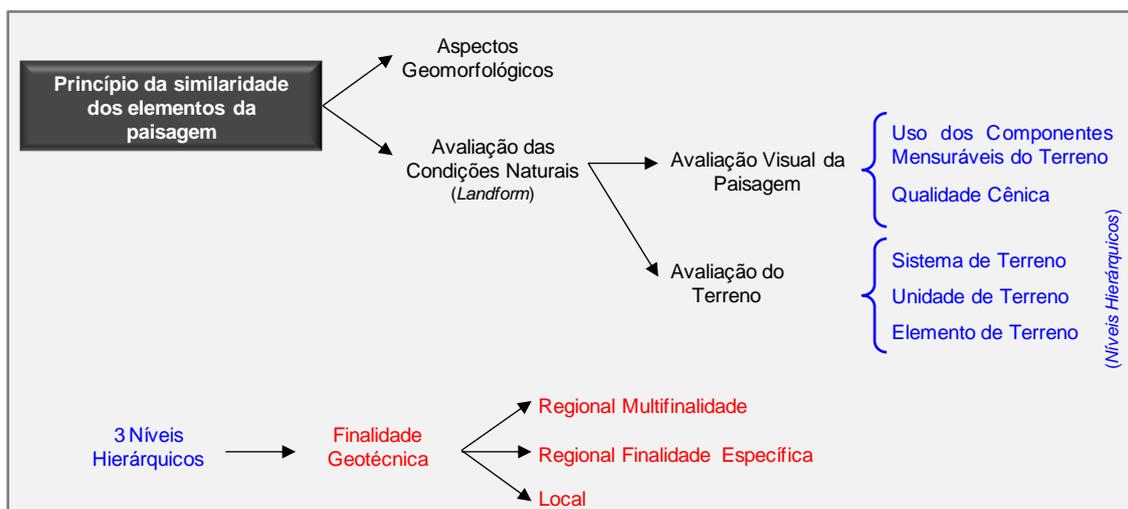


Figura 14: Formas de mapeamento do terreno, Avaliação do Terreno, Níveis Hierárquicos e Finalidade Geotécnica.

Os trabalhos com em classe Regional Finalidade Específica, são muito utilizados na agronomia, análise regional de riscos e avaliação para implantação de obras lineares.

Por sua vez os trabalhos realizados dentro da classe de Finalidade Geotécnica Local, são utilizados com o objetivo de encontrar jazidas para a prospecção de materiais para a construção civil além de análises de risco de estabilidade dos terrenos.

5.3.2.3 Análise Paramétrica/Morfométrica

Quando se objetiva delimitar Sistemas de Terreno e Unidade de Terreno, são utilizadas as grandes expressões geomorfológicas. Porém, ao ser feita a Avaliação do Terreno no nível de Elemento, esta alternativa não é suficiente. Conforme foi comentado no item 5.3.2.1, quando se trabalha no Nível Hierárquico de Elemento de Terreno (escalas grandes, ou seja, no nível de detalhe), é necessária uma maior massa de dados, porém não suficientes. Associado a esta densidade de informações existem as Análises Paramétricas ou Morfométricas.

As técnicas de mapeamento, por exemplo, ZUQUETTE (1987) exigem um nível de informações sobre a área a ser estudada (dados anteriores, trabalhos de campo e ensaios de laboratório) que requerem uma grande massa de trabalho (muitas pessoas envolvidas para gerar estas informações) e tem um custo financeiro elevado, o que só justifica investimentos desta ordem para governos e universidades. A incorporação da observação da geometria dos taludes (Análises Paramétricas/Morfométricas) nos mapeamentos surgiu como alternativa aos altos custos de mão de obra e financeiro para mapeamentos preliminares, LOLLO e GANDOLFI (1991a). Assim as variáveis geométricas dos taludes são utilizadas como uma forma de zoneamento geotécnico preliminar.

As análises aqui referidas baseiam-se na observação tridimensional dos taludes, sendo estas feitas através de uma seção transversal do talude, dentro da sua face que apresenta maior inclinação LOLLO e GANDOLFI (1991a) e LOLLO e GANDOLFI (1995), reunindo informações de diversos autores. Como simplificação da análise, o perfil da encosta é admitido sendo compostos pela associação 1 ou mais dos seguintes 3 elementos básicos: 2 tipos arcos (que formam ou um perfil côncavo ou convexo) ou um segmento (que corresponde ao trecho retilíneo do perfil), ver figura 15.

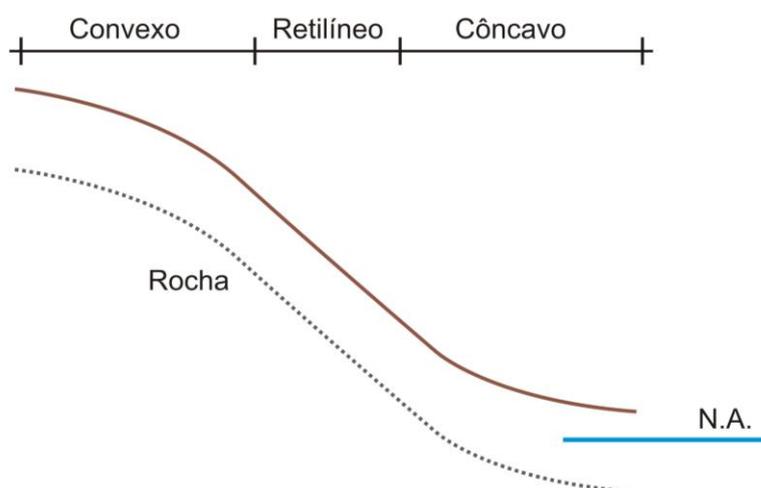


Figura 15: Modelo de perfil de talude (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a).

Para os trabalhos desenvolvidos por LOLLO e GANDOLFI (1991a) e LOLLO e GANDOLFI (1995), os pesquisadores optaram por utilizar as Variáveis Morfométricas

que pudessem ser rapidamente identificadas. Na figura 16 e tabela 8, serão apresentadas as variáveis utilizadas pelos pesquisadores.

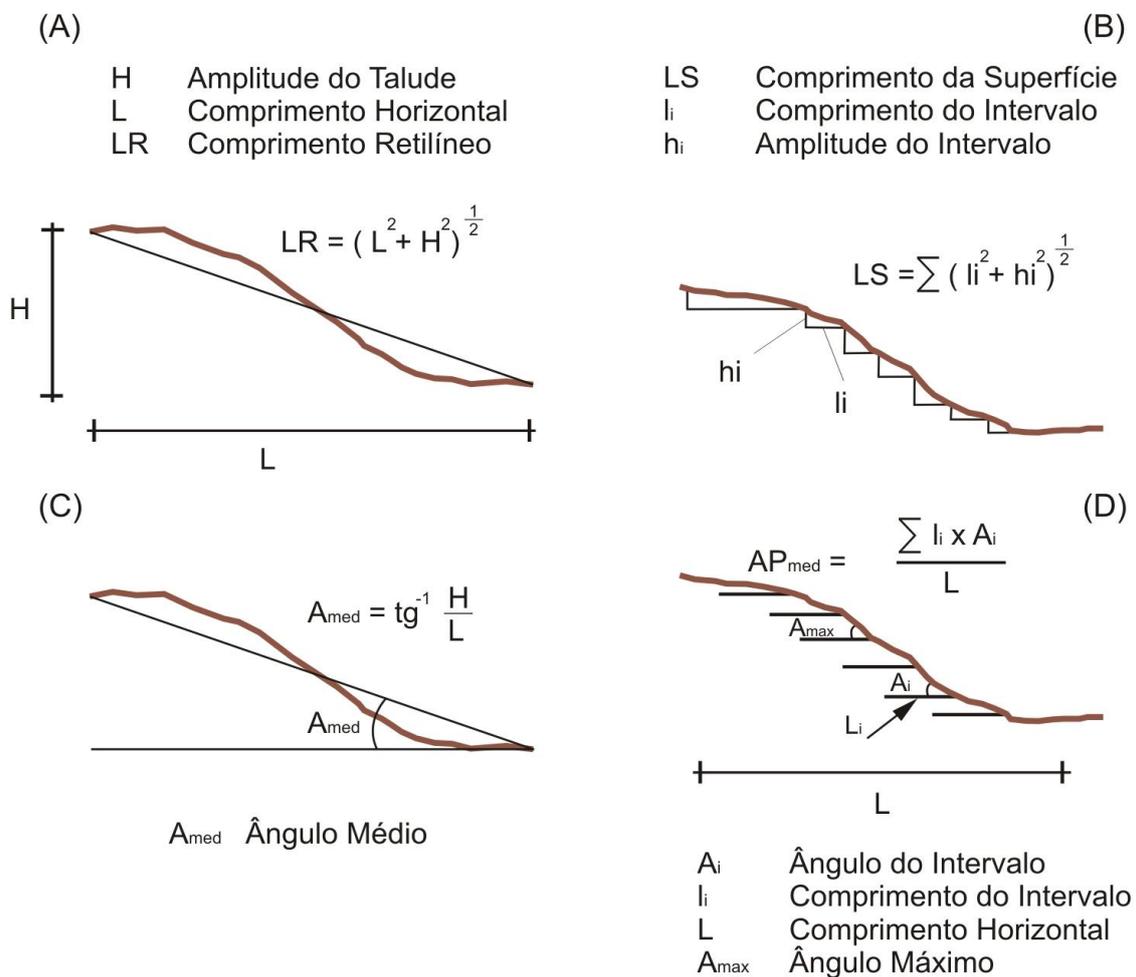


Figura 16: Variáveis Morfométricas (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a e LOLLO e GANDOLFI 1995).

Tabela 8: Variáveis Morfométricas (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a e LOLLO e GANDOLFI 1995).

VARIÁVEL		DESCRIÇÃO	FIGURA 16
Amplitude do Talude	H	Diferença de cota entre os pontos de maior e menor cota da encosta	a
Extensão do Talude	L	Distância em planta entre os pontos de maior e menor cota do talude	a
Comprimento Retilíneo	LR	Segmento de reta que une os pontos de maior e menor cota da encosta	a
Comprimento da Superfície	LS	Somatório dos comprimentos retilíneos (LR) de todos os intervalos considerados no levantamento	b
Índice de Retilidade	IR	Razão entre o comprimento da superfície (LS) e o comprimento retilíneo (LR)	-
Ângulo Médio do Talude	A _{med}	Ângulo entre os segmentos que definem o comprimento retilíneo (LR) e a extensão do talude (L)	c
Ângulo Médio Ponderado	AP _{med}	Média ponderada dos ângulos dos intervalos levantados no talude	d
Ângulo Máximo	A _{max}	Maior ângulo associado a um dos intervalos levantados do talude, normalmente na porção retilínea do perfil	d
Índice de Ruptura de Declive	ID	Número de pontos de inflexão no perfil, multiplicado por 100 e dividido pelo seu comprimento retilíneo (LR)	-
Coefficiente de Comprimento	CL	Razão entre os somatórios dos comprimentos dos intervalos do talude, posicionados na parte convexa (L _x) e em sua parte côncava (L _v)	-
Coefficiente de Intensidade	CI	Razão entre os somatórios dos ângulos posicionados nas porções convexas do perfil (I _x) e nas porções côncavas (I _v)	-
Índice de Intesidade	I	Razão entre os coeficientes de comprimento (CL) e intensidade de vertente (CI)	-
Índice de Forma	IK	Metade da soma do coeficiente de comprimento (CL) do talude com a razão dos coeficientes de intensidade (CI) e comprimento (CL)	-

Com base no seu trabalho realizado no interior de São Paulo com as Variáveis Morfométricas citadas na tabela 8, LOLLO e GANDOLFI (1995) concluíram que:

- o comprimento retilíneo (LR) e o comprimento de superfície (LS) devem ser excluídos das análises por apresentarem valores muito próximos da extensão do talude (L);

- por apresentar valores muito próximos para todos os perfis analisado os autores excluíram do estudo o índice de retinidade (IR);
- o ângulo médio do talude (A_{med}) e o ângulo médio ponderado (AP_{med}) apresentam valores muito próximos sendo que nenhum deles se mostrou útil para distinção de unidades, assim como o coeficiente de comprimento (CL);
- como o índice de intensidade (I) está relacionado com o coeficiente de comprimento (CL) também não deve ser usado neste tipo de análises;
- a extensão e amplitude do talude, respectivamente L e H, apresentaram valores mais elevados para encostas que possuíam maiores espessuras de solo;
- o ângulo máximo (A_{max}) apresentou maiores valores para os taludes que possuíam espessura inferiores a 2 metros;
- o coeficiente de intensidade (CI) e o índice de ruptura de declive (ID) foram boas ferramentas nos trabalhos de distinção de classes de espessuras de solo;
- apesar de não ter sido comentado em nenhum dos dois textos, o índice de forma (IK), por dedução, também não deve apresentar resultados satisfatórios, pois depende do coeficiente de comprimento (CL), que não é útil para este tipo de trabalho.

Em LOLLO e GANDOLFI (1991a) os pesquisadores ainda utilizaram as formas derivadas possíveis do perfil do talude para discorrer sobre o delineamento das Unidades de Terreno, conforme a figura 17.

Assim os autores ponderaram, a partir da geometria do perfil, sobre processos dominantes evolutivos e por consequência, as características dos solos. Para tanto, é necessário que seja definido o intervalo dominante na encosta (convexo, retilíneo ou côncavo). O domínio de um ou outro intervalo cria as formas típicas (ver figura 17). Como consequência do predomínio de uma das formas típicas tem-se condições diferenciais dos processos evolutivos, materiais gerados e comportamento de suas espessuras ao longo do perfil. Separando os perfis segundo os intervalos dominantes temos:

- dominante convexa - os materiais são transportados por *creep* (lentamente), pequena retirada de materiais do perfil, pedogênese intensa (modificação/alteração), reduzida perda de materiais do talude, maiores espessuras de solo na base do talude, depósito finos (argilas e siltes);
- dominante retilínea - o transporte dos materiais ocorre por gravidade, morfogênese intensa (movimento/transporte), elevadas taxas de retirada de solo, pequenas espessuras ao longo de todo o perfil, depósitos grosseiros no pé do talude;
- predominantemente côncava - os materiais são transportados por escoamento superficial, morfogênese intensa (movimento/transporte), elevada retirada de materiais em função do escoamento, maiores espessuras no topo do talude, depósitos arenosos de rampa.

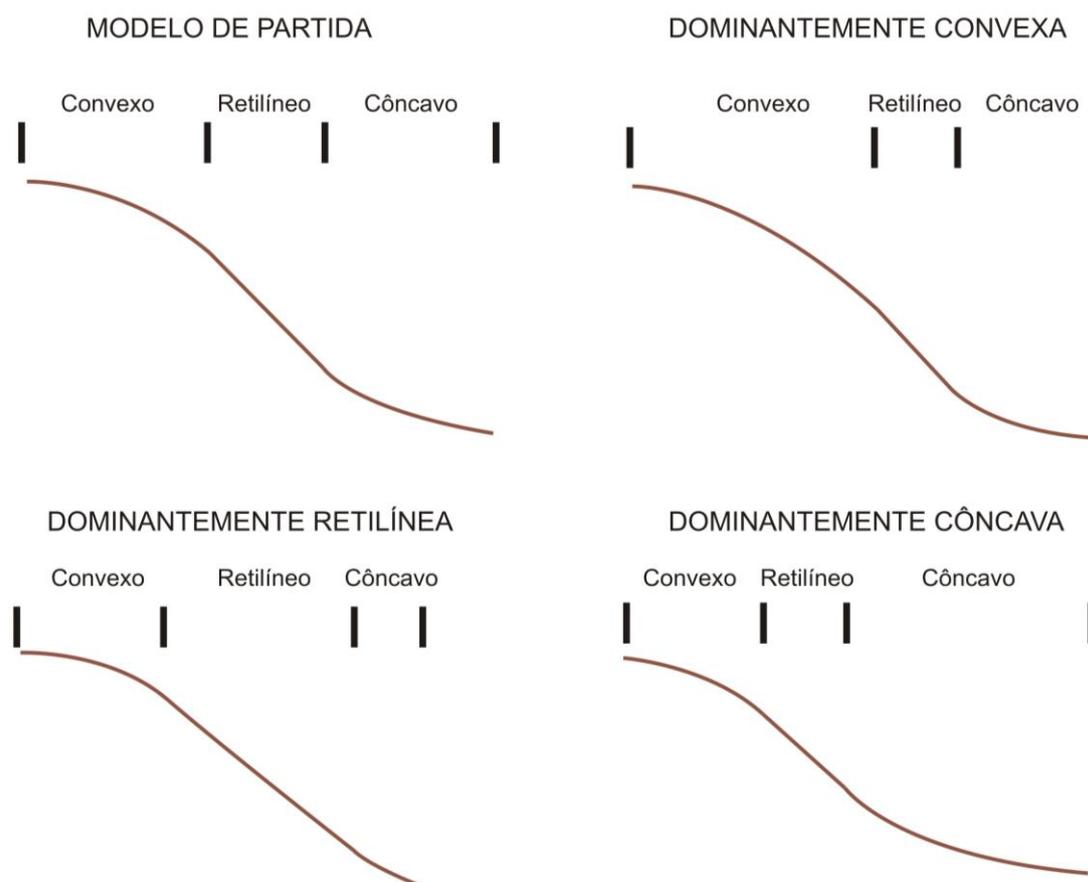


Figura 17: Modelo de perfil de talude, formas derivadas e intervalos dominantes (adaptado de LOLLO e GANDOLFI 1991a).

Como conclusão a respeito dos intervalos dominantes e Variáveis Morfométricas, LOLLO e GANDOLFI (1991a) apontam que algumas das variáveis indicadas neste tópico apresentaram boa possibilidade para caracterizar preliminarmente unidades geotécnicas (unidades de solos e espessura dos mesmos ao longo do perfil).

5.3.3 Outras questões sobre Avaliação do Terreno

Acima foi apresentado todo o embasamento teórico da técnica de Avaliação do Terreno. Como LOLLO (1995) utilizou a técnica em uma região com muitos trabalhos de mapeamento já realizados, ele teve a oportunidade de julgar os resultados que ele obteve com aqueles obtidos por mapeamentos com técnicas consagradas. Assim neste tópico serão discorridas as observações, conclusões e sugestões que o autor faz a respeito da utilização da Avaliação do Terreno como alternativa de mapeamento geotécnico.

Uma das grandes vantagens da aplicação da técnica de Avaliação do Terreno consiste na agilidade que ela propicia na definição de unidades do terreno. Tratando de escalas: ao trabalhar com pequenas e médias escalas (escalas menores que 1:50.000) deve-se fazer uso dos Níveis Hierárquicos de Sistemas e Unidades de Terreno. Ao se observar a Finalidade Geotécnica, quando objetiva-se trabalhar para uma caracterização geral, o maior Nível Hierárquico deve ser a Unidade de Terreno, por sua vez, para estudos locais, onde finalidade específicas, tais como análises de risco, o Nível Hierárquico que deve ser atingido Elemento de Terreno.

LOLLO (1995), como comentado, desenvolveu sua tese no interior do Estado de São Paulo, em Campinas. Por esta razão o autor discorre sobre a aplicação da técnica de Avaliação do Terreno para outras regiões do país:

- por apresentar condições semelhantes aquelas encontradas em Campinas, as regiões SE e CO (sudeste e centro-oeste respectivamente) também possuem solos, via de regra, bastante evoluídos, onde a Avaliação do Terreno poder ser de elevada utilidade na definição de unidades;
- na região sul do país é característico climas mais frios, por esta razão, tipicamente, tem condições evolutivas e solos típicos de climas

temperados (perfis de solo menos espessos e evoluídos), contudo há regiões (como o norte do estado do Paraná) onde são encontrados solos mais evoluídos e espessos, derivados de um clima mais severo;

- o nordeste brasileiro apresenta diferenças entre o litoral e o interior. Enquanto no primeiro (clima úmido) encontram-se solos mais evoluídos e profundos, no segundo (clima seco) o perfis são rasos e pouco evoluídos;
- no norte há uma dificuldade intrínseca; extensa cobertura vegetal, áreas muito grandes e pouco ocupadas, exigindo imagens em escalas pequenas.

Comparando a Avaliação do Terreno com as Técnicas Tradicionais de mapeamento. A Avaliação do Terreno procura identificar um padrão natural existente, e as Técnicas Tradicionais primeiro identificam feições para depois formar padrões. A metodologia de Avaliação do Terreno depende da experiência do profissional envolvido (que pode ser adquirida durante os trabalhos), ele deve observar a Geomorfologia sob o aspecto evolutivo (não descritivo como normalmente ocorre). Como indicação geral LOLLO (1995) indica que ambas as técnicas são eficazes para mapeamentos geotécnicos. Contudo, a Avaliação do Terreno é mais rápida e de menor custo, além de ser muito útil para mapeamentos geotécnicos e é esperado que funcione para qualquer região do Brasil. Contudo, cabe ressaltar, os Níveis Hierárquicos devem ser considerados separadamente para que se tenha um mapeamento eficaz.

Como um dos resultados obtidos em LOLLO (1995), o autor fez observações importantes sobre as formas e as suas relações com os perfis de solo e clima:

- formas mais suaves são consequência de processos de pedogênese mais intensos (modificação/alteração) que geram perfis de materiais inconsolidados mais profundos e evoluídos;
- solos mais finos tendem a apresentar formas mais alongadas, devido a menor intensidade de processos erosivos;
- caso em um Sistema ocorra mais de uma Unidade com formas suaves, a que tiver superfície mais aplainada será aquela que tem solos mais evoluídos e profundos;

- formas mais dissecadas (formadas por agentes mecânicos, por exemplo cânions) sempre são reflexo de processos erosivos como sendo os dominantes, devendo, por tanto, apresentar perfis menos profundos;
- encostas íngremes e abruptas são associadas a solos pouco profundos, consequência de processos erosivos;
- em climas temperados (processo de intemperismo dominante é o físico), as formas que o terreno assume são intimamente ligadas ao substrato. Isto ocorre pelo fato dos solos serem jovens e pouco espessos;
- nos climas tropicais (intemperismo químico é dominante) os perfis de materiais inconsolidados são espessos e maduros, o reflexo disto nas formas do terreno são superfícies mais suaves.

Como consideração final, LOLLO (1995) afirma que ao se trabalhar em escalas maiores que 1:25.000 deve-se usar o Nível Hierárquico de Elemento de Terreno. Porém o pesquisador destaca que neste caso talvez seja interessante associar a Avaliação Visual da Paisagem a Avaliação do Terreno com enfoque Análise Paramétrica/Morfométrica.

5.4 GEOMORFOLOGIA *VERSUS* AVALIAÇÃO DO TERRENO - ABORDAGEM SOBRE ESCALA

Nos itens 5.2 e 5.3 foram apresentadas as duas linhas de mapeamento, sejam elas, Aspectos Geomorfológicos e Avaliação das Condições Naturais. Nos referidos tópicos foram abordadas várias questões, sendo uma delas os níveis de mapeamento utilizada em cada uma das pesquisas, os 6 níveis taxonômicos e os 3 Níveis Hierárquicos e Finalidade Geotécnica, pertencentes aos Aspectos Geomorfológicos e Avaliação das Condições Naturais respectivamente.

Para facilitar a compreensão do leitor, será feito neste item uma comparação ilustrativa dos dois diferentes níveis de mapeamento, dentro do entendimento do autor desta tese. Na figura 18 é construído um esboço comparativo dos dois níveis de mapeamento, nele é possível perceber que o 1º Táxon da Geomorfologia corresponde

ao nível de Sistema de Terreno da Avaliação de Terreno e o 5 e 6º Táxon se relacionam com o nível de Elemento de Terreno.

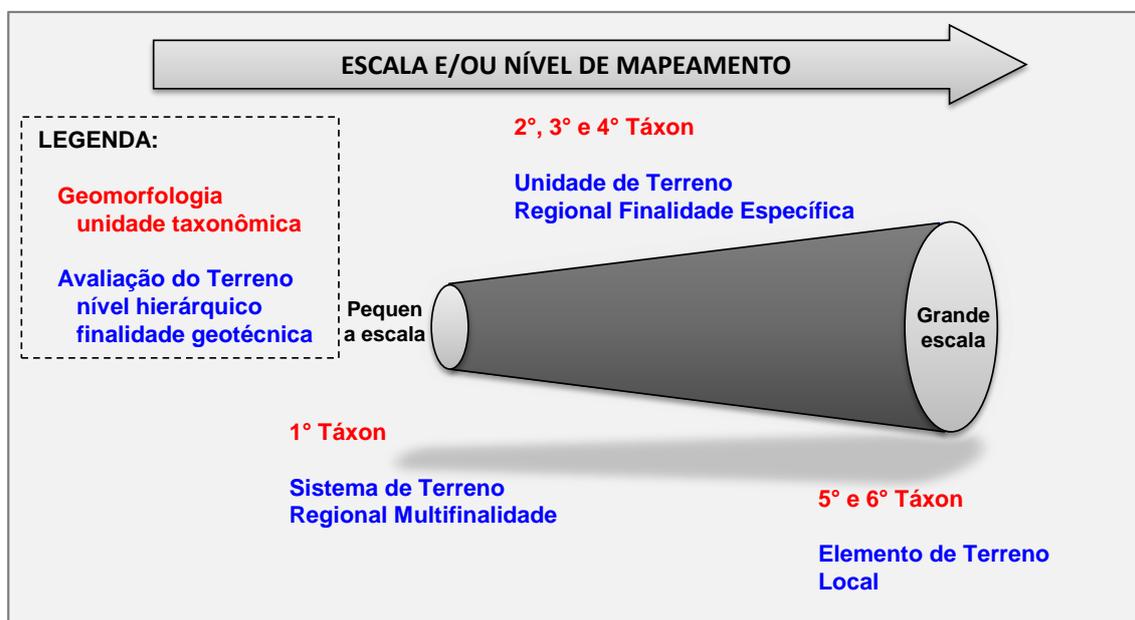


Figura 18: Esquema comparativo entre níveis de mapeamento geotécnico segundo a Geomorfologia e Avaliação do Terreno.

6 SIG - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma breve revisão bibliográfica a respeito do Sistema de Informação Geográfica. Caso seja de interesse do leitor, informações mais aprofundadas podem ser encontradas nas referências utilizadas para a construção do mesmo.

6.1 APRESENTAÇÃO

Há séculos a humanidade tem realizado mapeamentos. Estes mapas buscavam registrar e representar geograficamente a informação catalogada, por exemplo, rotas comerciais, propriedades, recursos minerais, etc. Até poucas décadas estas informações eram representadas, exclusivamente, em meio físico (impressos). Com a crescente demanda de novas informações e com os grandes avanços alcançados pela informática, esta dinâmica mudou: os mapas passaram também a ser ferramentas digitais e interativas, tornando possível a inter-relação de diferentes mapas através de rotinas realizadas por programas de informação geográfica (geoprocessamento).

INPE (2001) define geoprocessamento como a aplicação de recursos matemáticos e computacionais para o tratamento de informações geográficas, influenciando pesadamente a cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano/regional. São chamados de Sistema de Informações Geográficas (SIG ou do inglês *Geographic Information System - GIS*, expressão cunhada nos anos 70) os softwares de geoprocessamento. Estes programas realizam complexas análises e integração de diferentes fontes de informação, permitindo a construção de um banco de dados georreferenciados. CAMARA *et al.* (1996) e MIRANDA (2008) complementam a questão sintetizando a utilização do SIG em 3 principais pontos:

- instrumento para a construção de mapas;

- base para entendimento de fenômenos distribuídos espacialmente;
- um banco de dados georreferenciado, que possui capacidade de armazenamento.

Em CAMARA *et al.* (1996) é feita uma comparação entre a cartografia, chamada pelo autor, tradicional e a cartografia que faz o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), ver tabela 9.

Tabela 9: Comparativo entre a cartografia tradicional e a cartografia SIG (adaptado de CAMARA *et al.* 1996).

CARTOGRAFIA TRADICIONAL	CARTOGRAFIA SIG
Cartas limitadas a aspectos gráficos (papel)	Cartas com recursos multimeios (meio digitais e impressos)
Imagem estática	Imagem dinâmica
Documento único	Múltiplos documentos interligados
Carta destinada a um grande público	Carta destinada a necessidades individuais
Carta destinada a comunicar um conhecimento	Carta utilizada para descobrir novas informações, usando mecanismos de visualização e exploração
Carta usada para a leitura	Carta utilizada para a comunicação interativa
Carta produzida por cartógrafo	Carta produzida por cartógrafo e especialista em SIG

Como não cabe nesta tese o desenvolvimento aprofundado de uma revisão bibliográfica sobre cartografia e Sistema de Informação Geográfica, maiores informações poderão ser encontradas, por exemplo, em IBGE (1998), CÂMARA *et al.* (1996) e IBGE (2010), onde neste último são tratados dos termos utilizados no mapeamento sistemático do Brasil (escala 1:1.000.000).

6.2 AMBIENTE SIG - CONCEITOS

No tópico anterior foi apresentada a questão relativa ao desenvolvimento da cartografia, que atinge seu ápice com o Sistema de Informação Geográfica - SIG. Agora são apresentados os principais conceitos envolvidos nos trabalhos de geoprocessamento em SIG.

Para que seja possível trabalhar em um ambiente digital de geoprocessamento, é necessário uniformizar as diferentes fontes de informação consultadas em uma única forma, seja ela, ou Vetorial ou Matricial (também conhecida como Raster). Contudo, segundo INPE (2001), quando surge a necessidade de integração de dados de diferentes formatos (imagens, Mapas Temáticos, modelos de terreno) é preciso fazer uso de um híbrido: associando vetores e matrizes. Esta é uma tendência e que tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que permitam trabalhar com dados matriciais (grandes imagens) e vetoriais concomitantemente.

Esquemáticamente as diferenças entre vetor e Raster, podem ser vistas na figura 19. Na forma Vetorial, tentam-se reproduzir o mais fielmente os elementos que estão sendo estudados, conforme comentado por MIRANDA (2008), isto pode ser feito a partir da digitalização de mapas, inclusive a partir de documentos Raster com informações analógicas. Por sua vez, ainda segundo a mesma autora, a representação matricial (Raster) faz uso de quadrículas, as quais são atribuídas individualmente informações referentes a cada elemento representado. A cada quadrícula ou célula, se confere um código, que o programa interpreta a qual elemento pertence determinada célula.

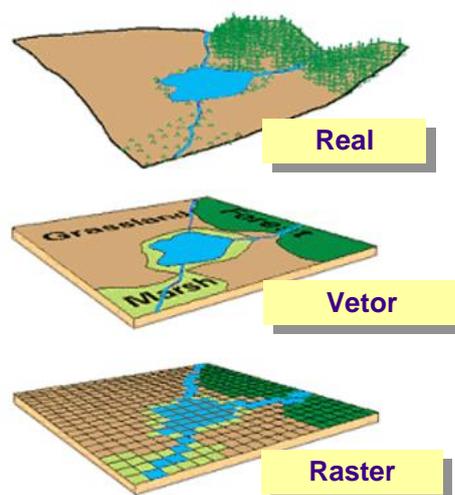


Figura 19: Comparativo entre a representação Vetorial e Raster de uma situação real (ENSRI 2007).

Independentemente da opção sobre qual das duas alternativas será utilizada nos trabalhos, todos os elementos de um mapa assumem uma das três seguintes formas elementares: ponto, linha ou polígono, ver figura 20.

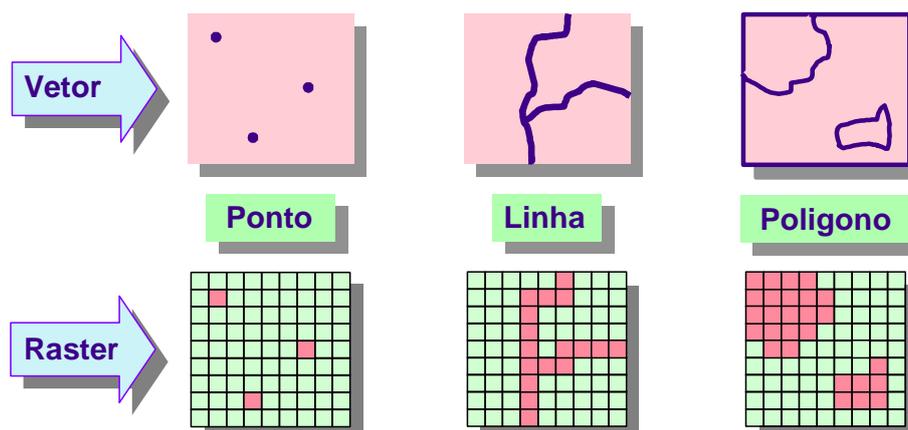


Figura 20: Formas de representação Vetorial e matricial de elementos em mapas SIG (ENSRI 2007).

Como a grande vantagem de trabalhar em um SIG consiste na possibilidade de fazer cruzamento de diversas informações, é necessário criar uma organização. Dentro de um SIG, semelhante ao que acontece com os softwares de desenho técnico (CAD - *Computer Aided Design*), as informações são organizadas em *layers*, que nada mais são que submapas, também chamados de Mapas Temáticos. Os Mapas Temáticos contêm informações georreferenciadas referentes a um determinado tema (topografia, vegetação, tipo de solo ou rocha, etc.), que tem por objetivo salientar uma feição particular da realidade. Na figura 21 é exemplificada a representação da distribuição de água (realidade) individualizada em Mapas Temáticos segundo aspectos particulares desejados (consumidores, construções e rede de água).

Com a quantidade crescente de dados disponíveis, é necessário que se tenha um controle absoluto das informações disponíveis (banco de dados), sendo assim, a palavra-chave aqui é: gerenciamento. Segundo INPE (2001), inicialmente os dados eram armazenados dentro do próprio software de SIG, contudo isto fez com que surgissem problemas quando era necessária uma grande quantidade de dados, além da dificuldade de troca de informações entre programas diferentes. Para contornar estes obstáculos, passou-se a utilizar, os já existentes, Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), que assumiram o papel de fornecer as informações para os programas SIG, porém funcionando independentemente. A nova alternativa adotada assegurava assim três requisitos relevantes: (a) integridade - permite acesso para diferentes usuários, (b) eficiência - proporciona acesso e modificações para grande volume de informações e (c) persistência - conservação dos dados por tempo

indeterminado, sem estar relacionado a qualquer aplicativo específico. Complementarmente DATE (1985), afirma que o SGBD, permite a disponibilização de informações precisas e utilizáveis a qualquer tempo.

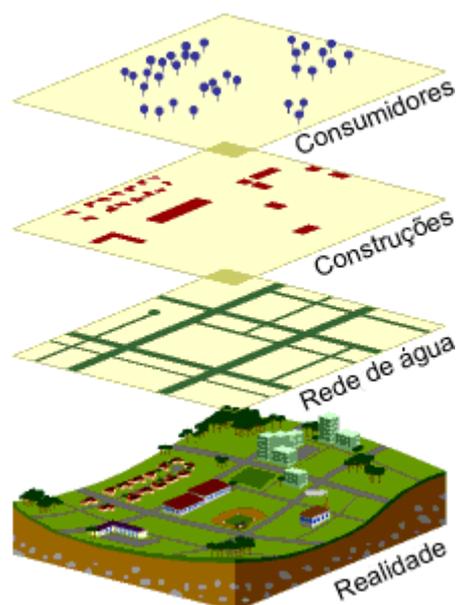


Figura 21: Exemplos de Mapas Temáticos (ENSRI 2007).

Mais um dos recursos utilizados nos programas SIG, são os Modelos Numérico do Terreno - MNT - ou Modelos Digitais do Terreno - MDT, dependendo do autor. O recurso consiste em um modelo matemático que busca representar uma superfície real fazendo o uso de algoritmos de uma série de pontos (que possuem coordenadas "x" e "y") e mais alguma referência de interesse, por exemplo, a cota do terreno (coordenada "z"). Assim, conforme INPE (2001), o MNT faz uma representação quantitativa de um parâmetro que varia continuamente no espaço mapeado. O uso mais recorrente do MDT é na construção de superfície do terreno, permitindo da definição de isolinhas de cota (chamadas de curvas de nível), criação de mapas de isodeclividade, definição de unidades geológicas (teor de minerais, propriedade de solo e subsolo) com o uso de aeromagnetismo, entre outras utilidades. Um exemplo de MNT pode ser visto na figura 22, onde através de dados de altimetria, é construída a superfície do terreno.

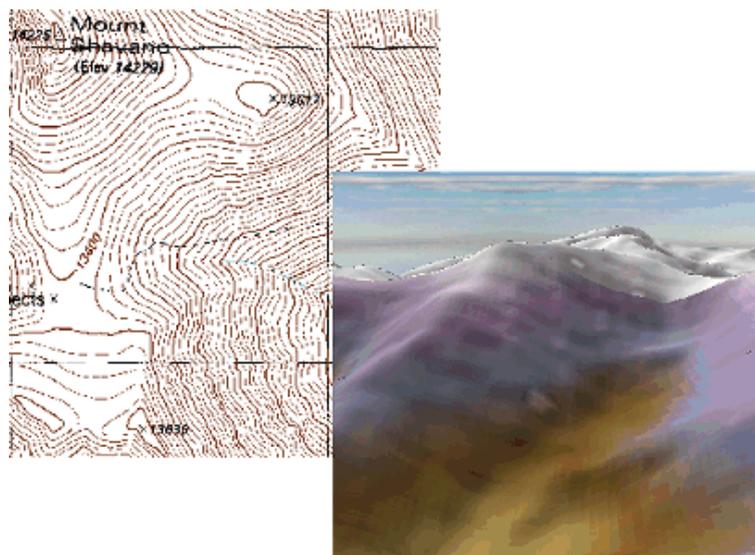


Figura 22: Exemplo de um MNT para definição da superfície de um terreno, coordenadas "x", "y" e "z" (ENSRI 2007).

6.3 SIG VERSUS MODELAGEM GEOTÉCNICA DE ESTABILIDADE

Agora será traçado um paralelo entre trabalhos realizados em plataformas de Sistema de Informação Geográfica e modelagens geotécnicas, que buscam avaliar a estabilidade das encostas frente aos movimentos de massa.

Até agora foi discutido e apresentado os frutos dos grandes avanços que os geoprocessamentos informatizados trouxeram para os trabalhos de cartografia e as atividades correlatas. Esses avanços permitiram também para os geotécnicos desenvolverem pesquisas que visam avaliar, por exemplo, a segurança de encostas, naturais ou não, dentro de diferentes ambientes. O que os pesquisadores buscam encontrar é uma forma de transformar a avaliação tradicional da estabilidade de encostas (determinação do Fator de Segurança de um seção transversal do terreno) em um algoritmo capaz de avaliar esta em um mapa. Este trabalho é chamado de modelagem, onde em uma rotina (algoritmo) são incorporados muitos dos fatores envolvidos nas rupturas.

Os modelos são, dessa forma, uma tentativa de descrever matematicamente o que se verifica em campo. Contudo todo modelo é, de fato, uma simplificação da realidade e isto será discutido em mais detalhe no Capítulo 8.

7 LOCAL DE ESTUDO

O foco principal em todos os capítulos anteriores era fazer uma revisão do estado da arte no que tange Minimização de Riscos e Mapeamento Geotécnico de Deslizamentos. A partir de agora, serão discutidas as questões que dizem respeito aos trabalhos de mapeamento realizados na tese (trabalhos teórico-práticos). Neste Capítulo será descrita a região onde será feito o Mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos e os motivadores dos estudos.

A presente tese tem como alvo de trabalho experimental o Mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos das encostas rodovia federal (BR-376 PR) no trecho Florianópolis (SC) - Curitiba (PR), subtrecho km 666 ao km 672, ver figura 23. A rodovia se encontra sob os cuidados da empresa Arteris (que pertence, a Abertis, maior operadora de rodovias do mundo), sob a figura da Autopista Litoral Sul (ALS), uma das concessionárias sob comando da Arteris.

A rodovia em questão (BR-376, no estado do Paraná) vem sofrendo com deslizamentos, tanto dos taludes naturais quanto dos taludes de corte e aterro há bastante tempo. Apenas para citar os 2 eventos marcantes mais recentes: (a) em novembro de 2008 a BR-376 PR teve 37 pontos de ruptura, que levaram a interdições em diversos locais; (b) em março de 2011 dezenas de pontos romperam e levaram a interrupção total do tráfego da rodovia, AZAMBUJA (2011). Na figura 24 são mostradas 3 fotos, de pontos de observação diferentes, próximas ao km 667+900 da BR 376, onde são evidenciados 6 deslizamentos que causaram interrupções de tráfego.

Os episódios comentados acima são consequência de eventos climatológicos severos de grande intensidade (a chuva de 2008 foi a mesma que causou a tragédia no estado de Santa Catarina, no Vale do Itajaí-Açu). Contudo, a região tem registros de chuvas médias de 2.400-2.500 mm/ano e mais de 300 dias por ano de precipitação

(medidos em estações próximas às rodovias), AZAMBUJA (2011) e MEZZOMO *et al.* (2012).



Figura 23: Localização do subtrecho a ser mapeado no trabalho experimental (ALS 2010)

Nos tópicos que se seguem, será feita uma descrição das informações consultadas durante os trabalhos de mapeamento, sejam elas: clima, geologia, Geomorfologia, pedologia, recursos hídricos e vegetação. Ao final do capítulo será apresentado um tópico específico resumindo as condições do local, consequência das informações citadas.

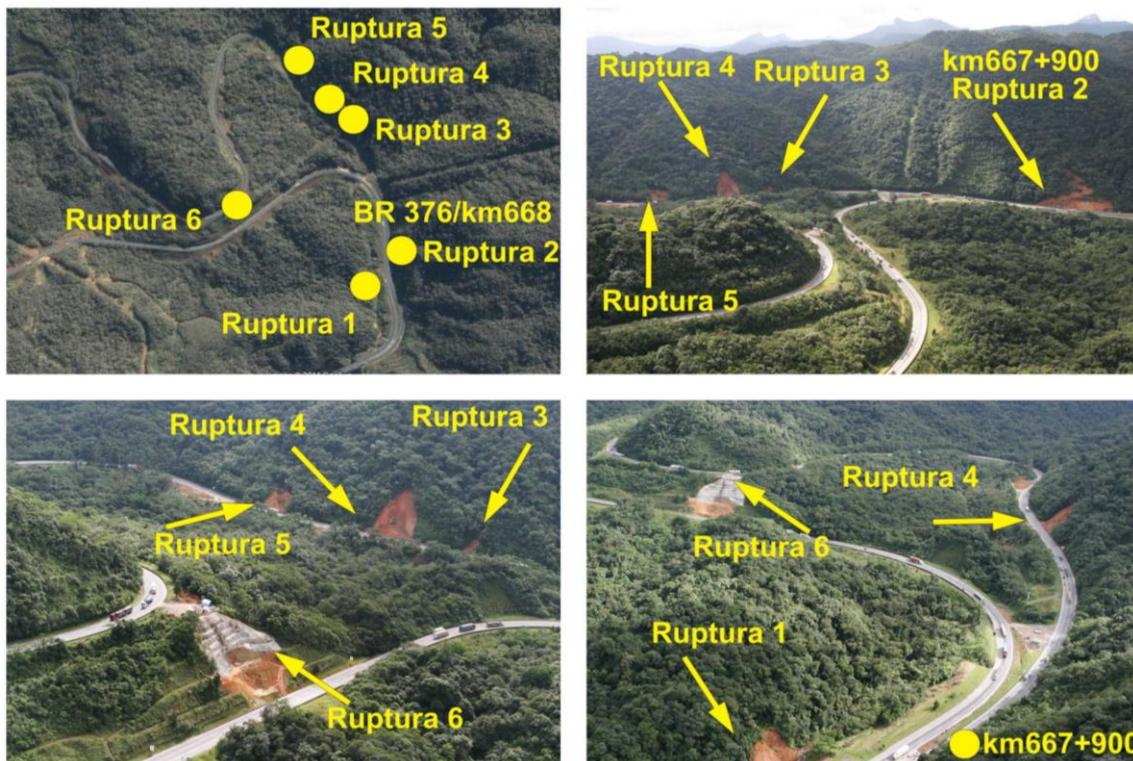


Figura 24: Deslizamentos no km 667+900 da BR 376 (adaptado de ALS 2010 e Google Earth 2011).

7.1 CLIMA DO LOCAL DE ESTUDO

Segundo o mapa de clima do Brasil, gerado pelo IBGE (escala 1:5.000.000), a região onde o trecho da tese está inserido é entremeado por climas: (a) Mesotérmicos Brandos (média de temperatura compreendida entre 10 a 15°C) super úmido sem secas e (b) Subquente (média de temperatura compreendida entre 15 a 18°C em pelo menos 1 mês), também super úmido sem secas, ver figura 25.

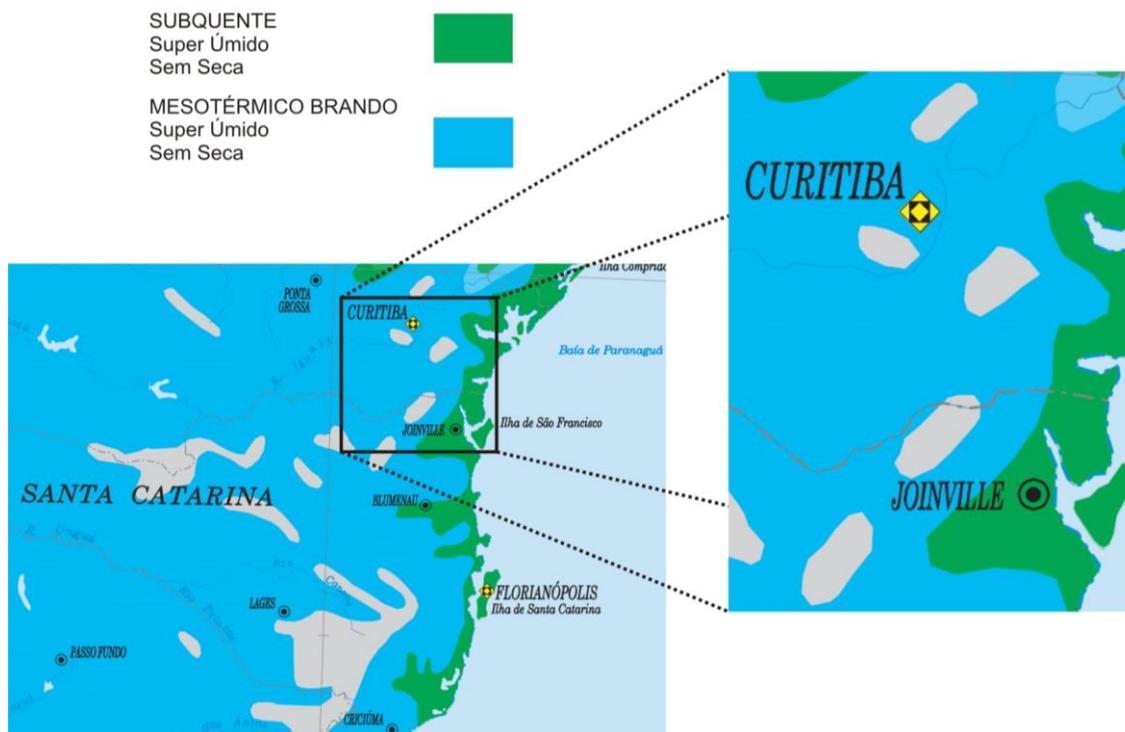


Figura 25: Clima de região em estudo, adaptado do mapa de clima do Brasil do IBGE.

Para visualizar o clima em uma escala maior, foi consultado o mapa de clima do estado do Paraná, produzido pelo ITCG (Instituto De Terras Cartografia E Geociência do Paraná), em escala 1:2.000.000.

Segundo o referido mapa, mais uma vez, o local é cortado por mais de um tipo de clima: (a) clima equatorial (alta média de temperatura e pluviosidade, superior 2000mm/ano), (b) clima subtropical úmido (verão úmido, consequência de massas tropicais instáveis) e (c) clima oceânico, tendo como características verões mais úmidos que o inverno, chuvas abundantes e bem distribuídas ao longo do ano. Na figura 26, é mostrado um esquema ilustrativo montado a partir do mapa de clima produzido pelo ITCG.

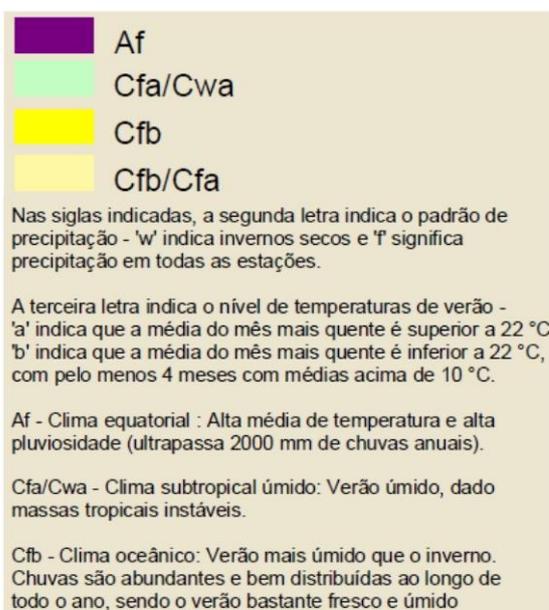
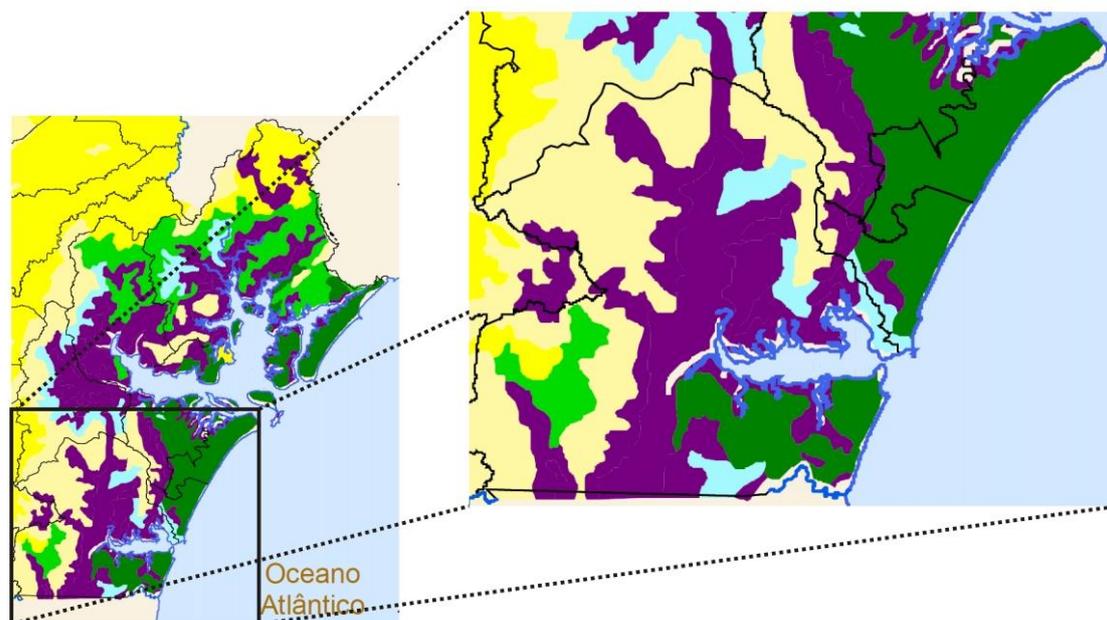
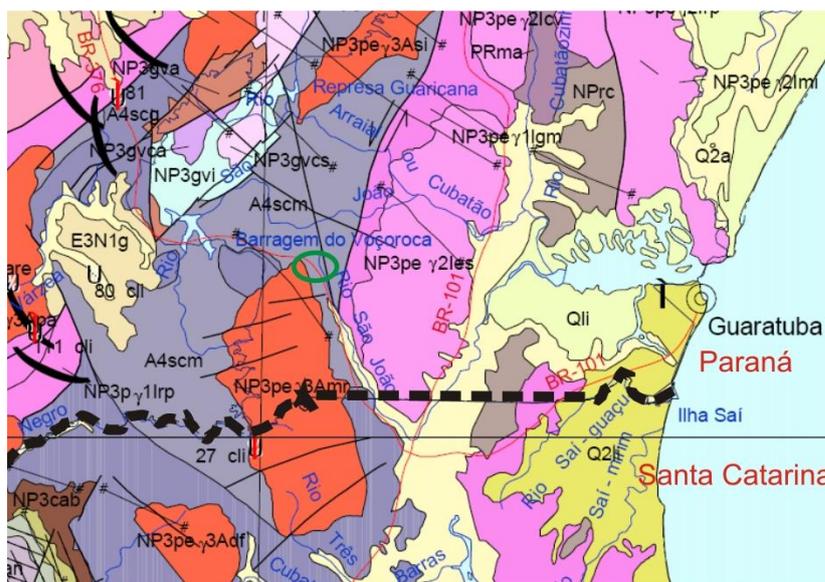


Figura 26: Clima de região em estudo, adaptado do mapa de clima do Paraná do ITCG.

7.2 GEOLOGIA DO LOCAL DE ESTUDO

Segundo a carta geológica da CPRM – Serviço Geológico do Brasil (escala 1:1.000.000), figura 27, o trecho do trabalho experimental corta a formação A4scm.

Estas são formações muito antigas, do Arqueano. Complexo Granulítico Santa Catarina (SC): ortognaisse granulítico com gnaisses diorítico, monzodiorítico, monzonítico, sienítico e kinzigítico; granulito piroxenítico, leucogranito foliado, granada quartzito e formação ferrífera bandada (g); biotita-(anfíbólio) ortognaisse e migmatitos granodiorítico, tonalítico, quartzo-diorítico e diorítico (m). Os deslizamentos mostrados na **figura 24** estão na formação A4scm.



Legenda:

- Trecho a ser mapeado
- — — — — Divisa SC-PR

Figura 27: Mapa geológico do trecho do trabalho experimental (adaptado de CPRM 2003 – Curitiba, folha SG. 22)

7.3 GEOMORFOLOGIA DO LOCAL DE ESTUDO

As informações geomorfológicas sobre o local de estudo foram obtidas pela carta geomorfológica (folha Curitiba, escala 1:250.000), geradas pelo ITCG do estado do Paraná. Esquemáticamente o mapa é representado na figura 28.

A folha de Curitiba possui características geomorfológicas da seguinte ordem:

- unidade morfoestrutural (primeiro Táxon) - bacia sedimentar cenozoica, depressão tectônicas e cinturão orogênico do Atlântico;

7.4 PEDOLOGIA DO LOCAL DE ESTUDO

O mapa pedológico consultado (mapa de solos) foi o do estado do Paraná, produzido pelo ITCG, em escala 1:2.000.000. Mais uma vez, a região de estudo é permeada por mais de um tipo de condição de material (ver figura 29), sejam elas: afloramentos rochosos, latossolos (solos bastante intemperizados, compostos principalmente por caulinita, EMBRAPA) e, especialmente, cambissolos (solos fortemente ou pouco drenados, variando de rasos a profundos, EMBRAPA).

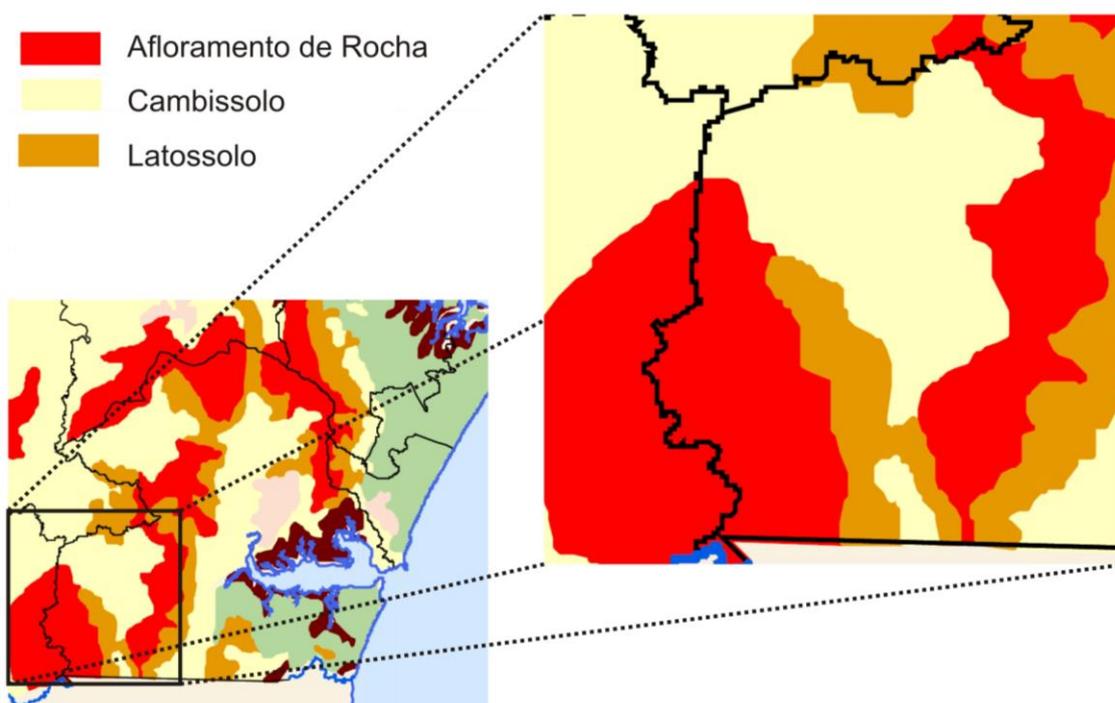


Figura 29: Esquema do mapa pedológico do trecho da rodovia em estudo, adaptado do mapa de solos do estado do Paraná.

7.5 RECURSOS HÍDRICOS DO LOCAL DE ESTUDO

Quanto aos recursos hidrológicos existente no trecho da rodovia em estudo. Todo o local está inserido exclusivamente dentro da bacia litorânea, obtido do mapa das bacias hidrográficas do estado do Paraná, produzido pelo ITCG (ver figura 30). Também há apenas uma unidade aquífera - Aquífero pré-cambriano, composto por rochas graníticas e metamórficas.

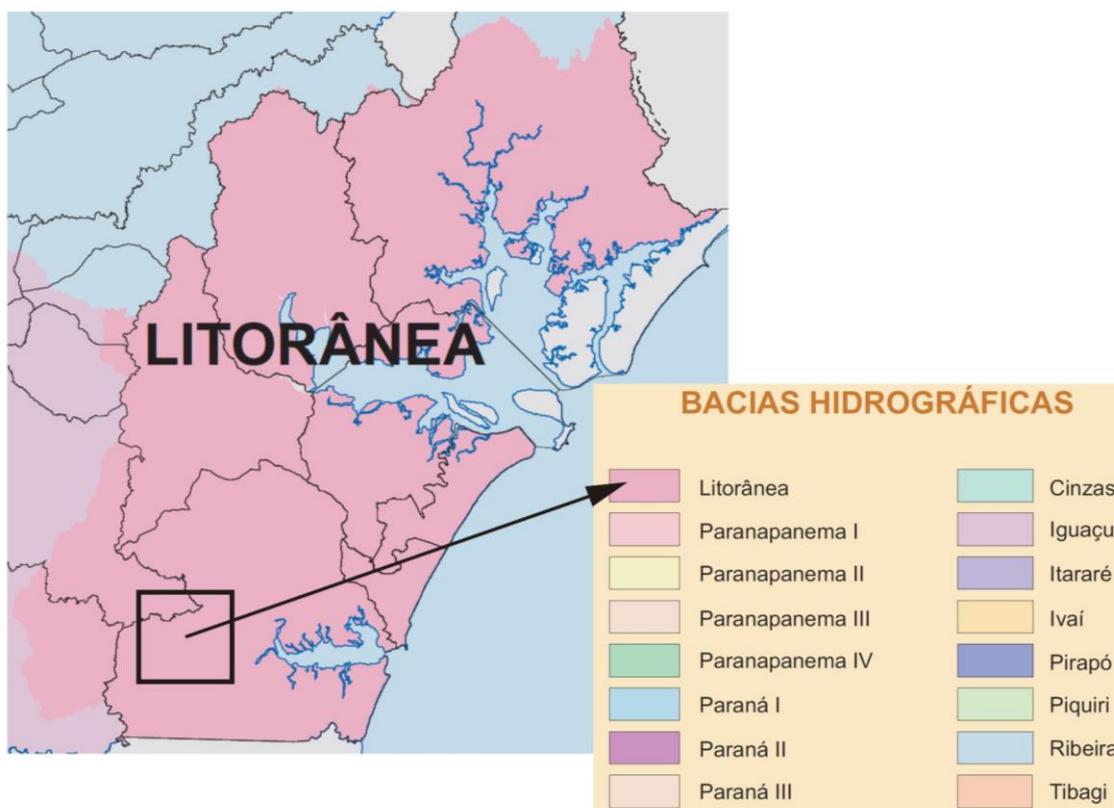


Figura 30: Esquema da bacia hidrográfica no qual o trecho da tese se insere, adaptado do mapa das bacias hidrográficas do estado do Paraná.

7.6 VEGETAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Mais uma vez foi utilizando para um estudo material gerado pelo ITCG, no caso a carta de vegetação (elaborada na escala 1:50.000). O trecho do km 666 ao km 672 da BR-376 PR, corta 3 classes de Vegetação:

- regiões fitoecológicas;
- sucessão vegetal;
- uso antrópico.

Nas regiões fitoecológicas, são verificadas florestas ombrófitas densas submontana (floresta atlântica encontradas no início das encostas) e florestas ombrófitas densas montana (também é uma floresta atlântica, porém encontrada no meio das encostas). Tratando da sucessão vegetal, esta encontra-se em fase

intermediária de sucessão (formando o conhecidos capoeirões). E por fim o uso antrópico é anotado como agricultura, pecuária e variados, ver figura 31.

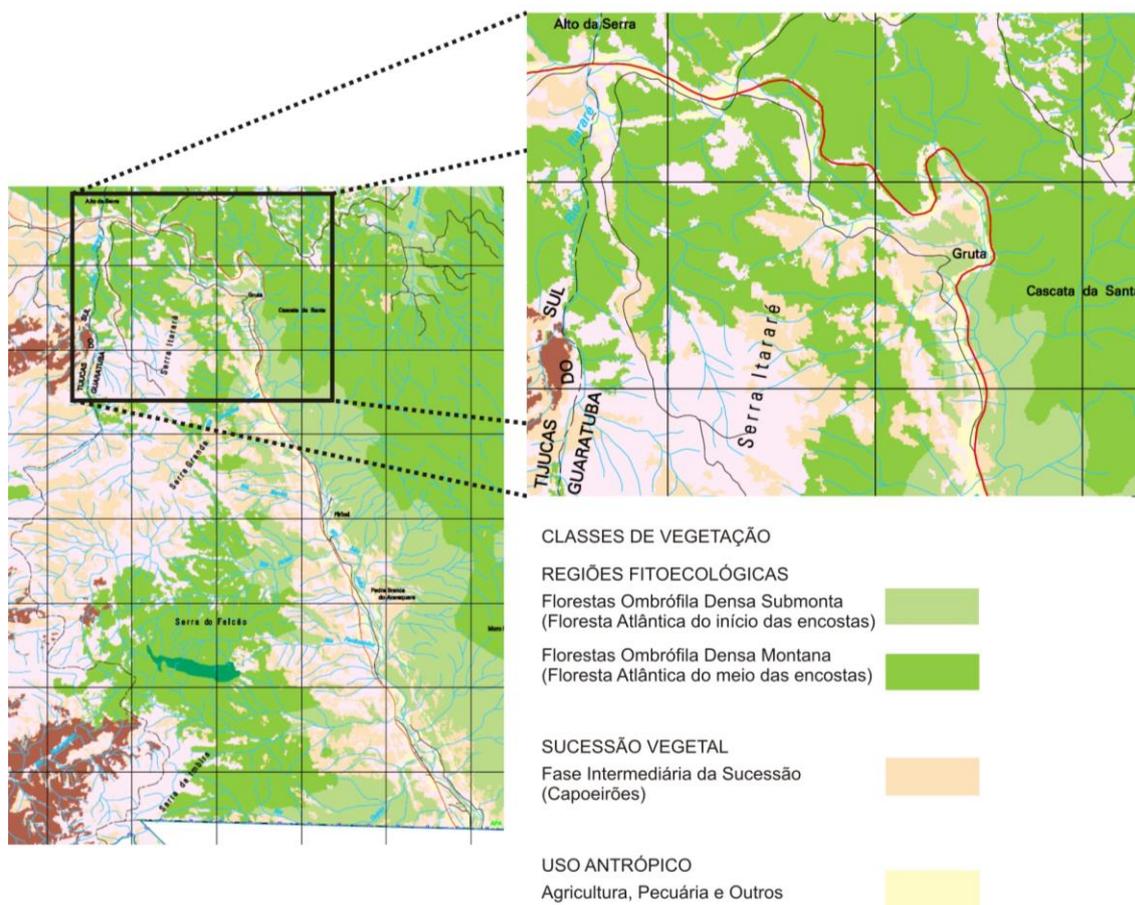


Figura 31: As três classes de vegetação cortada pela rodovia no trecho em estudo, adaptado do mapa de vegetação, folha Pedra Branca do Araraquara.

7.7 CONDIÇÕES GERAIS DO TRECHO EM ESTUDO

Nos tópicos anteriores foram relatadas as informações mais relevantes para a descrição do local de estudo (BR-376 PR, km 666 ao km 672). Agora, neste item, será feito um intercruzamento das informações a fim de convergir para o desenvolvimento da tese.

Díspar das informações apresentadas sobre o trecho em estudo, foram encontrados apenas 2 pequenos taludes com afloramentos rochosos (isto também se

repete para o restante do trecho da Serra do Paraná por onde a rodovia BR-376 se desenvolve).

Das inspeções de campo e observações em projetos já realizados pelo autor da tese na região, associados aos estudos sobre o local, foi notado que os taludes são compostos por solos de alteração de rocha, com avançado estágio de intemperismo (associação de grandes variações de temperatura encontradas e intenso regime de chuvas). Como os solos presentes são de alteração de rocha, solos saprolíticos, foi verificada em muitos taludes a presença de estruturas da rocha de origem (estruturas reliquiares). Outra informação importante é que as camadas de solos são muito espessas, necessitando prospectar a grandes profundidades (algumas vezes dezenas de metros) para que o leito rochoso seja encontrado.

As consequências das condições das encostas sobre as análises realizadas na tese (desenvolvimento de Modelo Geomecânico e Mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamento) serão discutidas mais adiante na tese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, M. G.; HOLCOMBE, L. **Sustainable Landslide Risk Reduction in Poorer Countries**. Proceedings of the Institution for Civil Engineers, London, v.159, n.1, p. 23-30, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Estabilidade de Encostas: **NBR 9820**. Rio de Janeiro, 2009-a, 33p.

AZAMBUJA, E. **Comunicação Pessoal**. 2011.

AZAMBUJA, M. A. **Comunicação Pessoal**. 2010.

BANDEIRA, A. P. N.; ALHEIROS, M. M.; COUTINHO, R. Q. **Metodologia de Análise e Mapeamento de Áreas de Riscos em Encostas Aplicada na Região Metropolitana de Recife**. In COBRAMSEG, Rio de Janeiro, ABMS, p. 325-333, 2008.

BANDEIRA, A. P. N.; COUTINHO, R. Q. **Gerenciamento de Risco de Escorregamento de Encostas na região Metropolitana de Recife – PE**. In COBRAMSEG, Rio de Janeiro, ABMS, p. 260-267, 2008.

BOLT, B. A.; HORN, W. L.; MACDONALD, G. A.; SCOTT, R. F. **Geological hazards: Earthquakes, Tsunamis, Volcanoes, Avalanches, Landslides, Floods**. Sirger-Verlang, Berlin, 1975.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Conferência Geral Sobre Desastres**. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, 2007c, 23p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Glossário de Defesa Civil, Estudo de Risco e Medicina de Desastres**. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, 2004, 191p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Política Nacional de Defesa Civil**. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, 2007b, 82p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Segurança Global da População**. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, 2007a, 65p.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES E INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Secretaria Nacional de Programas Urbanos. Brasília, 2007d, 176p.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para a Elaboração de Políticas Municipais**. Secretaria Nacional de Programas Urbanos. Brasília, 2006, 111p.

BRESSANI, L. A. **Comunicação Pessoal**. 2008a.

BRESSANI, L. A. **Comunicação Pessoal**. 2011.

BRESSANI, L. A. **Desastre do Vale do Itajaí-Açu: uma Visão Geotécnica dos Acidentes**. In SEMINÁRIO - DESLIZAMENTOS EM SANTA CATARINA: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS, MEDIDAS EMERGENCIAIS E AÇÕES FUTURAS, Joinville, ABMS-NRPS, 45p. 2009.

BRESSANI, L. A.; COSTA, E. A.; **Avaliação Probabilística da Estabilidade de um Talude Coluvionar de Basalto**. In: IV CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE), Porto Alegre, v.2, p. 699-709, 2005.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. 2001. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf> Acessado em Outubro de 2012.

CASCINI, L.; BONNARD, CH.; COROMINA, J.; JIBSON, R.; MONTERO-OLARTE, J.; **Landslide Hazard and Risk Zoning for Urban Planning and Development**. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, Vancouver, p.199-235, 2005.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Não paginado, 2005. [S.I.] Disponível em: <http://www.funape.org.br/Geomorfologia/> Acessado em: Janeiro 2013.

CLAYTON, C.R.I. **Managing Geotechnical Risk: Time for Change?**. Geotechnical Engineering, Proceedings of ICE, London, v.149, n.1, p. 3-11, 2001.

CORNFORTH, D. H. **Landslide in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventive Options in Soils**. 1º ed. Jonh Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2005.

COSTA, E. A.; **Avaliação de Ameaças e Riscos Geotécnicos Aplicados à Estabilidade de Taludes**. Porto Alegre, 2005, 160p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS.

COSTA, E. A.; BRESSANI, L. A.; **Proposta de Metodologia para Análise Probabilística de Estabilidade de Taludes de Terra**. In: V SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL (GEOSUL), Porto Alegre, v.1, p. 123-130, 2006.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. **Landslide Types and Processes**. Landslide: Investigation and Mitigation. Special Report 247, National Academy Press, Washington, p. 36-75, 1996.

DATE, C. J.; **Banco de Dados: Fundamento**. Rio de Janeiro: Campus, p. 214, 1985.

DIAS, R. D.; **Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica me Regiões Tropicais e Subtropicais**. Revista Instituto Geológico – Volume Especial, 1995.

ESRI; **GIS Bibliography**. Disponível em:
<http://training.esri.com/bibliography/index.cfm>. Acessado em Outubro de 2012.

ESTADOS UNIDOS DA AMERICA, UNITED STATES OF AMERICA GEOLOGICAL SURVEY. **Landslide Hazards Program**. Virginia, 2011. Disponível em
<http://landslides.usgs.gov/>

FELL, R.; COROMINA, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. **Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning**. Joint Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes, ISSMGE, Londres, 57p., 2008a.

FELL, R.; COROMINA, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. **Commentary Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning**. Joint Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes, ISSMGE, Londres, 37p., 2008b.

FELL, R.; HARTFORD, D.; **Landslide Risk Management**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON LANDSLIDE RISK ASSESSMENT, Havai, p.51-109, 1997.

FELL, R.; HO, K. K. S.; LACASSE, S., LEROI, E. **A Framework for Landslide Risk Assessment and Management**. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, Vancouver, p.3-26, 2005.

GOBBI, F.; PEREIRA, A.; RIGO, M. L.; BRESSANI, L. A.; BORTOLI, C.; JUNGBLUT, M.; SITTA, A. **Plano Municipal de Redução de Riscos da Cidade de Caxias do Sul/RS**. In COBRAMSEG, Rio de Janeiro, ABMS, p. 381-387, 2008.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**, 2º ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1984.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides**. Circular 1325., U. S. Geological Survey, Reston Virginia, 2008.
<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&sqi=2&ved=0CFIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fcitrus.uspnet.usp.br%2Frdg%2Foj%2Findex.php%2Frdg%2Farticle%2Fdownload%2F245%2F224&ei=8vHLT5>

OmAaaM6QHs3vD3Dw&usg=AFQjCNG8U0BPi04n78q5fMQC-wURVJAv_A.
Acessado em Janeiro de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Glossário dos Termos Genéricos dos Nomes Geográficos Utilizados no Mapeamento Sistemático do Brasil**. Volume 1, Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2° ed., Rio Janeiro, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Noções Básicas de Cartografia**. 2° ed., Rio Janeiro, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Banco de Dados de Mortes por Escorregamentos no Brasil**. Banco de Dados Digital. São Paulo, 2009.

INSTITUTO GEOLÓGICO, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. 1°ed., São Paulo, 2009.

KANJI, M. A., CRUZ, P. T., MASSAD, F., ARAÚJO FILHO, H. A.; **Basic and Common Characteristics of Debris Flows**. In PANAMER. SYMP. LANDSLIDES / 2° COBRAE, Rio de Janeiro, 1997.

KELLY, A. J.; CLIFTON, A. W.; ANTUNES, P. J.; WIDGER, R. A.; **Application of Landslide Risk Management System to the Saskatchewan Highway Network**. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, Vancouver, p.571-580, 2005.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**, 1° ed. Organic Trading, Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>

LEROI, E.; BONNARD, CH.; FELL, R.; MCINNES R.; **Risk Assessment and Management**. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, Vancouver, p.159-198, 2005.

LLOYD, D. M.; ANDERSON, M. G.; HUSSEIN, A. N.; JAMALUDIN, A.; WILKINSON, P. L.; **Preventing Landslides on Roads and Railways: a New Risk-Based Approach**. Proceedings of ICE, Londres, v.144, n.3, p. 129-134, 2001.

LOLLO, J. A.; **Aspectos da Forma do Perfil de Vertente de Interesse Geotécnico**. In 37° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA – SBG/SP-RJ, Resumo Expandido, São Paulo, 1992.

LOLLO, J. A.; GANDOLFI, N.; **Carta de Erodibilidade para a Folha de Leme (SP)**. In 37º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA – SBG/SP-RJ, São Paulo, 1992.

LOLLO, J. A.; GANDOLFI, N.; **Engineering Geological Mapping at Leme Region (State of São Paulo, Brasil) base on Zuquette (1987) Methodological Proposition**. In 7th International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, 1994.

LOLLO, J. A.; GANDOLFI, N.; **Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme (SP)**. In. ATAS 2º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE – SBG/SP-RJ, São Paulo, 1991.

LOLLO, J. A.; GANDOLFI, N.; **Tentativa de Utilização de Vairáveis Morfométricas de Perfis de Vertentes para o Zoneamento Preliminar do Meio Físico: O Caso da Folha de Leme, São Paulo**. Revista Instituto Geológico – Volume Especial, 1995.

LOLLO, J. A.; GANDOLFI, N.; **Variáveis Características das Vertentes: Possibilidades de Utilização do Meio Físico com Vistas ao Planejamento Urbano Regional**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 44, n. 3-4, p. 142-146, jul./dez. 1991.

LOLLO, J. A.; **O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração de Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação para a Quadricula de Campinas (SP)**. São Carlos, 1995, 267p. Tese (Doutorado Engenharia) – Universidade de São Paulo.

MACEDO, E. S.; ALBERTO, M. C.; SALLES, E. R. **Informatização do Cadastramento de Acidentes de Escorregamentos com Vítimas Fatais no Brasil no Período de 1988 a 1999**. In 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. São Paulo, ABGE, 10p. 1999.

MACEDO, E. S.; **Elaboração de Cadastro de Risco Iminente Relacionado a Escorregamentos: Avaliação Considerando Experiência Profissional, Formação Acadêmica e Subjetividade**. Rio Claro, 2001, 275p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MACEDO, E. S.; **Elaboração de Cadastro de Risco Iminente Relacionado a Escorregamentos: Avaliação Considerando Experiência Profissional, Formação Acadêmica e Subjetividade**. Rio Claro, 2001, 275p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MACEDO, E. S.; FILHO, O. A. **Gerenciamento de Riscos Geológicos: uma Resenha da Base Técnica Utilizada pela Divisão de Geologia do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo**. Revista da Universidade de Guarulhos – Geociências, São Paulo, ano III, n.6, p. 49-57, 1998.

MACEDO, E. S.; **Roteiro de Cadastro de Risco de Áreas com Escorregamentos**. In 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, Ouro Preto, ABGE, 16p., 2002.

MACEDO, E. S.; SANTORO, J.; ARAÚJO, R. E. **Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) para Deslizamentos**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, Florianópolis, GEDN/UFSC, p. 908-919, 2004.

MACEDO, E. S.; ZUQUETTE, L. V.; **Cadastramento de Áreas com Escorregamentos: A Formação de Recursos Humanos**. In 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, Ouro Preto, ABGE, 11p., 2002.

MACEDO, L. A. **Comunicação Pessoal**. 2011.

MARINHO, F. A. M. **Escorregamentos de Terra: O Evento de SC**. In SEMINÁRIO - DESLIZAMENTOS EM SANTA CATARINA: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS, MEDIDAS EMERGENCIAIS E AÇÕES FUTURAS, Joinville, ABMS-NRPS, 31p. 2009.

MENDONÇA, M. B.; SARAMAGO, R. P.; COUTINHO, N. M.; ROSA, F. B.; FEIJÓ, R. L. **Plano Municipal de Redução de Riscos Associados a Escorregamentos do Município de Teresópolis, RJ**. In COBRAMSEG, Rio de Janeiro, ABMS, p. 373-380, 2008.

MEZZOMO, S. M.; ARAÚJO, F. A. I.; ASAKAWA, S. **Ações Emergenciais Adotadas nos Acidentes Geotécnicos Ocorridos na BR376/PR em Março de 2011**. In COBRAMSEG, Porto de Galinha, ABMS, 2012.

MILITITSKY, J. **Desafio Hoje é "Traduzir" a Informação Técnica e Levá-la a Círculos Mais Amplos da Sociedade**. Revista Eletrônica, ABMS, Ed. Nº30, São Paulo, 2p., 2009. Acessado em 2009. Disponível em <http://www.emtermos.com.br/abms/ed30/30nota1.html>

MIRANDA, T. C. **Mapeamento das Unidades Geotécnicas e Desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas para Área de Abrangência da Rodovia BR-101/RS**. Porto Alegre, 2008, 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS.

MORA, M. V. **Estrategia de Comunicación para construir una Cultura de Prevención**. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - Las Américas, ONU, Revista EIRD informa, Panamá, n. 2, 2001.

MUNICH REINSURANCE GROUP. **Siniestros y Prevención de Siniestros**. Munichën: Munich Re Group, 368.025.7(05)=60, M963s, 2007. 36 p.

PEREIRA, A.; GOBBI, F.; BRESSANI, L. A.; RIGO, M. L.; BORTOLI, C. R. **Metodologia de Classificação de Áreas de Risco de Deslizamento de Encostas**

do Município de Caxias do Sul/RS. In COBRAMSEG, Rio de Janeiro, ABMS, p. 318-324, 2008.

POLTRONIERI, G. **Espacialização de Dados Geotécnicos para Análise do Meio Físico.** Porto Alegre, 2013, 62p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da UFRGS.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP, 6, p.17-29, 1992. Disponível em:

SCHUSTER, R. L.; KOCKELMAN, W. J. **Principles of Landslide Hazard Reduction.** In Landslide: Investigation and Mitigation, Washington, D. C., EUA, National Academy Press, Chapter 5, Special Report 247, Transportation Research Board, p. 91-105, 1996.

SILVA, F. C.; MACEDO, E. S.; **Importância do Estudo da Percepção Ambiental sobre Riscos Naturais: Enfoque em Deslizamentos.** OLAM Ciência & Tecnologia, Rio Claro, São Paulo, v.7, n.1, p. 569-584, 2007.

SILVA, J. X. **Geomorfologia e Geoprocessamento.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). In GEOMORFOLOGIA: UMA ATUALIZAÇÃO DE BASES E CONCEITOS. 2. ED. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p.393-414, 1995.

SPIKER, E. C.; GORI, P. L. **Landslide Hazards Mitigation Strategy - A Framework for Loss Reduction.** U. S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2003

STEWART, E. E.; BUYS, H. G.; **Managing Slope Risk for a Large Highway Network.** In INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, Vancouver, p.599-607, 2005.

TERZAGHI, K. **Mechanism of Landslides.** In APPLICATION OF GEOLOGY TO ENGINEERING PRACTICE, New York, Geological Society of America, p.83-123, 1950.

TRENTIN, R.; ROBIANA, L. E. S.; **Metodologia para Mapeamento Geoambiental no Oeste de Rio Grande do Sul.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, São Paulo, 2005.

UNITED NATIONS, INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Terminology on Disaster Risk Reduction.** Genebra, 2009, 35p. Disponível em: <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm>

UNITED NATIONS, UNITED NATIONS DISASTER RELIEF OFFICE. UNDRO. **Approach to Disaster Mitigation UNDRO News.** Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, UNDRO, Genebra, 20p., 1991.

VALENTE, A. L. S.; **Integração de Dados por Meio de Geoprocessamento, para Elaboração de Mapas Geotécnicos, Análise do Meio Físico e suas Interações com a Mancha Urbana: O Caso de Porto Alegre (RS)**. Porto Alegre, 1999, 153p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VANDINE, D. F.; MOORE, G. D.; WISE, M. P.; **A Comparison of Landslide Risk Terminology**. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, Vancouver, p.557-562, 2005.

VARANDA, E.; **Mapeamento Quantitativo de Risco de escorregamentos para o 1º Distrito de Petrópolis/RJ Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. Rio de Janeiro, 2006, 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia da UFRJ.

VARNES, D. J. **Slope Movement Types and Processes**. Chapter 2, Landslide: Analyses and Control, Special Report 176, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., p. 11-33, 1978.

ZUQUETTE, L. V.; **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras**. São Carlos, 1987, Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ANEXO I - DADOS DE TODOS OS TALUDES ROMPIDOS

**ANEXO II - TABELAS DE ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS E CÁLCULO
DO IS_{MODELO}**

ANEXO III - MAPA DE SUSCETIBILIDADE

ANEXO IV - MAPA DE DECLIVIDADE