

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM
PERIGO DE MOVIMENTO DE MASSA NO MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE, RS**

ELISABETE WEBER RECKZIEGEL

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA

PORTO ALEGRE, JANEIRO DE 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM
PERIGO DE MOVIMENTO DE MASSA NO MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE, RS**

ELISABETE WEBER RECKZIEGEL

Orientador: Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza Robaina

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Andrea Valli Nummer (PPGGeo/CCNE/UFSM)

Prof^a. Dr^a. Dejanira Luderitz Saldanha (POSGea/IG/UFRGS)

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli (POSGea/IG/UFRGS)

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Geografia como
requisito para obtenção do título de
Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE, JANEIRO DE 2012

Reckziegel, Elisabete Weber

Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS. / Elisabete Weber Reckziegel. - Porto Alegre : UFRGS/PPGGea, 2012.

90 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza Robaina

1. Movimento de massa. 2. Suscetibilidade. 3. Perigo. 4. Porto Alegre. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS
Miriam Alves CRB 10/1947

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao professor Luis Eduardo de Souza Robaina pela orientação deste trabalho.

As professoras Dr^a. Andrea Valli Nummer e Dr^a Dejanira Luderitz Saldanha e ao professor Dr. Laurindo Antonio Guasselli pelo aceite em compor a banca examinadora da dissertação.

A Engenheira Civil Vânia Krieger e a Geóloga Juliana Dubois do Programa de Áreas de risco da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre pela disponibilização de dados e pelas contribuições neste trabalho.

Aos meus pais Antonia e Irineu e a minha irmã Bernadete pelo apoio incondicional. Ao Thiago Bazzan pelo carinho e paciência e, principalmente, pelo incentivo.

Aos amigos Dionara e Bernardo pelos momentos agradáveis de convívio e pelo incentivo.

À Empresa NeoCorp Consultoria pela liberação para realização do mestrado e pelo apoio, especialmente ao geólogo Evandro Gottardo.

A todos aqueles que de alguma forma participaram desta trajetória.

Muito Obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM PERIGO DE MOVIMENTO DE MASSA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS

AUTORA: ELISABETE WEBER RECKZIEGEL
ORIENTADOR: LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA
Data e Local da Defesa: Porto Alegre, 16 de janeiro de 2012.

Os processos de dinâmica superficial, como os movimentos de massa são eventos naturais e fazem parte da dinâmica do planeta. Quando ocorrem em áreas ocupadas, podem acarretar consequências econômicas e sociais de significativa dimensão. Esta problemática é verificada no município de Porto Alegre, onde constantemente são registrados movimentos de massa. O objetivo geral desta pesquisa consiste em identificar e mapear as áreas com perigo de movimentos de massa em Porto Alegre. Para tanto, foi realizado o levantamento do histórico de ocorrências de movimentos de massa no período entre 1995 e 2010, o estudo dos materiais superficiais, suscetibilidade e ocupação do solo. Os procedimentos metodológicos foram organizados em 4 etapas: levantamento de dados referentes aos registros de movimentos de massa e de bases cartográficas; organização dos registros e das bases cartográficas; análise e correlação das informações sobre os registros de movimentos de massa e mapas de relevo, geologia e pedologia para a definição do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa; síntese das informações para definição do mapa das áreas com perigo de movimentos de massa a partir do cruzamento dos mapas de suscetibilidade e uso do solo. Os resultados indicam que os bairros Cascata, São José, Coronel Aparício Borges e Protásio Alves são os que apresentam maior número de ocorrências de movimentos de massa no período analisado. As áreas definidas como suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa estão localizadas na porção central do município junto ao Morro da Polícia e Morro Santa Tereza, na porção sudoeste junto às encostas do Morro das Abertas e Morro Serraria, e na porção leste junto às encostas do Morro Santana e Morro Alto Petrópolis. O mapa de perigo indica a predominância destas áreas na porção central do município. Na porção sul, as áreas urbanas tem menor densidade de ocupação, conseqüentemente nestes locais as áreas com perigo de movimento de massa são reduzidos.

Palavras-Chave: Movimentos de Massa, Suscetibilidade, Perigo, Porto Alegre.

ABSTRACT

Master Dissertation
Geography Post Graduation Program
Federal University of Rio Grande do Sul

IDENTIFICATION AND MAPPING OF AREAS AT RISK OF MASS MOVEMENT IN THE MUNICIPALITY OF PORTO ALEGRE, RS

AUTHOR: ELISABETE WEBER RECKZIEGEL
ADVISER: LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA
Defense Place and Date: Porto Alegre, January 16nd, 2012.

The dynamic surface processes related to the occurrence of mass movements in urban areas represent economic and social losses. These processes occur at the municipality of Porto Alegre, where mass movement are recorded frequently. The objective of this research was to identify and map areas at hazard of mass movements in the municipality of Porto Alegre. For this, we performed a study of the historical occurrences of mass movement in the period between 1995 and 2010, study of susceptibility, study of surface materials and the use and occupation. The methodological procedures were organized into four steps: data collection records related to mass movement and cartographic bases; organization of records and cartographic; analysis and correlation of information records of mass movement and maps of topography, geology and soil to define the map of susceptibility to mass movement; synthesis of information to define the map of areas at hazard of mass movement from the crossing of the susceptibility maps and land use. The results indicate that the Cascade, San Jose, Colonel Aparício Borges and Protásio Alves neighborhood are the highest number of occurrences of mass movement between 1995 and 2000. The areas identified as susceptible to the occurrence of mass movement are located in the center of the municipality next to the Morro da Polícia and Morro Santa Teresa, near the southwest slopes of the Morro das Abertas e Morro Serraria, and east near the slopes of the Morro Santana and Morro Alto Petrópolis. The hazard map indicates the dominance of these areas in the center of the municipality. In the south of the municipality, urban areas have lower density of occupation, consequently the areas at hazard of mass movement are reduced.

Key-Word: Mass Movement, Susceptibility, Hazard, Porto Alegre.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do município de Porto Alegre - RS.	15
Figura 2: Figura esquemática dos tipos de escorregamentos.	21
Figura 3: Figura esquemática dos tipos de movimentos de blocos rochosos.	23
Figura 4: Fluxograma que relaciona os componentes do meio ambiente envolvidos na geração de eventos perigosos.	34
Figura 5: Interação entre o sistema humano e evento natural.	35
Figura 6: Fluxograma que indica as etapas realizadas para a inferência do perigo.	47
Figura 7: Tipo de ocorrência de movimentos de massa.	48
Figura 8: Número de ocorrências de movimentos de massa nos bairros.	49
Figura 9: Registros de ocorrência de movimentos de massa nos bairros.	50
Figura 10: Distribuição anual das ocorrências de movimentos de massa em Porto Alegre.	51
Figura 11: Registros de ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre - RS.	52
Figura 12: Destaque para o bairro Protásio Alves.	53
Figura 13: Blocos e matacões expostos na vila Laranjeiras, bairro Protásio Alves.	53
Figura 15: Moradia em situação de perigo de ocorrência de movimento de massa Bairro Cascata. ...	54
Figura 16: Escorregamento instabilizando a estrutura da moradia sobre a área de corte.	54
Figura 14: Destaque para área do bairro Cascata.	54
Figura 17: Destaque para área do bairro Nonoai.	55
Figura 18: Registro de escorregamento.	55
Figura 19: Destaque para área do bairro Belém Velho.	55
Figura 20: Registro de escorregamento.	55
Figura 21: Ocorrências de movimentos de massa associados à altitude em Porto Alegre - RS.	57
Figura 22: Mapa hipsométrico do município de Porto Alegre - RS.	58
Figura 23: Área das classes de declividade do município de Porto Alegre - RS.	59
Figura 24: Ocorrências de movimentos de massa associados à declividade em Porto Alegre - RS. ...	60
Figura 25: Mapa de declividade do município de Porto Alegre - RS.	61
Figura 26: Ocorrência de movimentos de massa nas unidades geológicas de Porto Alegre - RS.	62
Figura 27: Mapa geológico do município de Porto Alegre - RS.	63
Figura 28: Ocorrências de movimentos de massa nas unidades de mapeamento de solos em Porto Alegre - RS.	64
Figura 29: Mapa de solos do município de Porto Alegre - RS.	65
Figura 30: Área das unidades geológicas nos locais com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre.	66
Figura 31: Área das classes de solos nos locais com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre.	67
Figura 32: Abrangência das áreas suscetíveis a movimentos de massa em Porto Alegre - RS.	67
Figura 33: Mapa das áreas suscetíveis à movimentos de massa no município de Porto Alegre - RS.	68

Figura 34: Perfil topográfico do morro Santana, na porção nordeste de Porto Alegre - RS.....	69
Figura 35: Perfil topográfico do morro da Polícia, na porção central de Porto Alegre - RS.	69
Figura 36: Perfil topográfico do morro Teresópolis, na porção oeste de Porto Alegre - RS.....	70
Figura 37: Percentual das áreas dos bairros com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre - RS.....	71
Figura 38: Área das classes de uso do solo nos locais com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto alegre - RS.....	72
Figura 39: Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do município de Porto Alegre - RS.....	73
Figura 40: Percentual da área com perigo de ocorrência de movimentos de massa em relação às áreas com suscetibilidade no município de Porto Alegre - RS.	74
Figura 41: Mapa das áreas de perigo de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre - RS.	75
Figura 42: Percentual das áreas dos bairros com perigo de ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre - RS.	77
Figura 43: Esquema ilustrativo dos movimentos de massa que ocorrem em Porto Alegre - RS.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais tipos de movimento de encosta na dinâmica ambiental brasileira	19
Quadro 2: Causas dos movimentos de massa.	25
Quadro 3: Agentes e causas dos movimentos de massa.....	26
Quadro 4: Limites de declividade	42
Quadro 5: Unidades de mapeamento de solos definidas para o mapa de solos.	43
Quadro 6: Classificação de formas de relevo, segundo a amplitude e gradiente (IPT, 1981).	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa	13
1.2. Objetivo	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. Localização e Caracterização da Área de Estudo	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Movimentos de Massa	17
2.1.1. Tipologias e Classificação dos Movimentos de Massa	18
2.1.2. Caracterização dos Principais Movimentos de Massa	20
2.1.2.1. Escorregamentos	20
2.1.2.2. Movimentos de Blocos Rochosos	22
2.2. Suscetibilidade aos Movimentos de Massa	23
2.2.1. Fatores Condicionantes da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa	24
2.2.1.1. Geomorfologia	27
2.2.1.2. Precipitações	28
2.2.1.3. Geologia	29
2.2.1.4. Solos e Materiais de Alteração	31
2.2.1.5. Vegetação	31
2.2.1.6. Ação Antrópica	32
2.3. Definição de Perigo	33
2.4. Geotecnologias e Métodos de Avaliação dos Movimentos de Massa	37
2.5. Estudos sobre Movimentos de Massa em Porto Alegre	38
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
3.1. Levantamento de Dados	40
3.2. Organização dos Dados	41
3.2.1. Espacialização dos Registros	41
3.2.2. Hipsometria	42

3.2.3. Declividade	42
3.2.4. Geologia	42
3.2.5. Solos	43
3.2.6. Uso do Solo e Cobertura Vegetal	44
3.3. Análise e Correlação das Informações	44
3.3.1. Suscetibilidade	44
3.3.2. Ocupação Urbana	45
3.4. Síntese das Informações	45
4. RESULTADOS	48
4.1. Histórico de Ocorrências	48
4.2. Definição da Suscetibilidade à Movimentos de Massa	56
4.2.1. Hipsometria	56
4.2.2. Declividade	59
4.2.3. Geologia	62
4.2.4. Solos	64
4.2.5. Definição das Áreas Suscetíveis	66
4.3. Uso do Solo e Cobertura Vegetal	72
4.4. Identificação das Áreas com Perigo	74
5. CONCLUSÕES	80
6. REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

Os processos de dinâmica superficial, como os movimentos de massa são eventos naturais e fazem parte da dinâmica do planeta e, como manifestações próprias da natureza, ocorrem independentemente da presença do homem. Quando ocorrem em áreas ocupadas, como as urbanas, podem acarretar consequências econômicas e sociais de significativa dimensão; nestes casos, são chamados de desastres naturais, e as áreas atingidas são chamadas de áreas de risco (CERRI, 1999).

Nesta perspectiva, ONU (1993, *apud* Guimarães *et al.*, 2008) destaca que um dos fenômenos naturais que mais causam prejuízos financeiros e mortes no mundo são os movimentos de massa. Estes fenômenos são importantes na evolução do relevo e têm sua ocorrência nas vertentes. Nas cidades, em geral, assumem proporções catastróficas, uma vez que, causam danos materiais e perdas de vidas humanas.

Com o desencadeamento do processo de urbanização, a ocupação do espaço urbano foi caracterizada pelo crescimento desordenado, moradias irregulares e degradação do meio físico. Esses aspectos proporcionaram, entre outros problemas, o surgimento de áreas de perigo.

Nesse contexto, Panizzi (1990) afirma que grande parte das cidades brasileiras caracteriza-se pelo crescimento e pela expansão da sua periferia, marcada pela presença de subhabitações e pela desordem urbana, ressaltando que as cidades da Região Metropolitana de Porto Alegre não fogem a essa situação, mesmo tendo sido uma das pioneiras na elaboração de uma política metropolitana de organização de seu território.

A expansão urbana, que leva à ocupação das encostas dos morros sem critérios técnicos na construção das moradias e com infraestrutura urbana deficiente, tem como consequência o surgimento de áreas de perigo de movimentos de massa. Estudos que identifiquem estas áreas são de fundamental importância para a previsão de desastres, auxiliando na definição de prioridades e na tomada de decisões ligadas a trabalhos de prevenção e de direcionamento de recursos para os locais mais afetados e/ou de maior risco.

Dessa forma, esta pesquisa apresenta um estudo sobre as áreas de perigo de movimentos de massa na cidade de Porto Alegre-RS, que pretende contribuir com informações para estabelecer o planejamento adequado do uso das áreas suscetíveis a movimentos de massa, reduzindo as perdas associadas a estes processos.

A dissertação está organizada em cinco tópicos principais: no 1º consta a introdução, com a justificativa da pesquisa e a definição dos objetivos a serem alcançados; no 2º consta o referencial teórico, onde é apresentada uma breve relação dos conceitos referentes à movimentos de massa, suscetibilidade, fatores determinantes da suscetibilidade e perigo; no 3º tópico estão relacionados os principais procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho; no 4º constam os resultados alcançados; e no 5º tópico são indicadas as principais conclusões da pesquisa.

1.1. Justificativa

Os movimentos de massa resultam em impactos negativos para a sociedade; além dos prejuízos financeiros, acarretam problemas sociais, podendo inclusive provocar perdas de vidas humanas.

Calheiros (2002) destaca que, considerando-se o valor da vida humana e os gastos de atendimento médico-hospitalar, a quantidade de mortos e feridos, consequência de desastres no Brasil, alcança valores alarmantes.

Brabb (1991) enfatiza que, dos riscos, os movimentos de massa estão entre aqueles que causam a maior parte dos danos, milhares de mortes todos os anos e perdas materiais de bilhões de dólares. Entre as medidas para reduzir estas perdas destaca-se a criação de mapas de suscetibilidade, perigo e risco.

A escolha do município de Porto Alegre como área de estudo se deve aos constantes registros de movimentos de massa e pela inexistência de estudos sistematizados que apresentem um levantamento histórico destes eventos, bem como a espacialização dos mesmos com a indicação das áreas com perigo de ocorrência.

Diante disso, justifica-se o desenvolvimento desta pesquisa pela possibilidade de fornecer subsídios ao planejamento do município na localização das ocorrências destes eventos e na definição de trabalhos de prevenção para as áreas de perigo.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo Geral

- Identificar e mapear as áreas com perigo de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre, servindo de base para estudos de prevenção de desastres.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Organizar um banco de dados com o histórico de ocorrências de movimentos de massa em Porto Alegre e verificar a distribuição espacial dos registros históricos;
- Realizar o levantamento e organização das características físico-naturais, através de mapeamentos temáticos (relevo, solos, geologia e uso e ocupação do solo e cobertura vegetal);
- Mapear as áreas suscetíveis à ocorrência dos movimentos de massa a partir das características do relevo, materiais superficiais e na distribuição espacial dos registros.

1.3. Localização e Caracterização da Área de Estudo

O município de Porto Alegre situa-se na porção leste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 51°01'4" e 51°17'58" W e 29°55'48" e 30°15'38" S. Limita-se à leste e sudeste com o município de Viamão, à nordeste com o município de Alvorada, à norte com os municípios de Cachoeirinha e Canoas, à noroeste com Nova Santa Rita, Triunfo e Eldorado do Sul, a sudoeste, à oeste e ao sul com o Lago Guaíba. Com base no Censo Demográfico (IBGE, 2010) a população de Porto Alegre é de 1.409.351 habitantes. Na Figura 1, é apresentada a localização do município, no estado do Rio Grande do Sul.

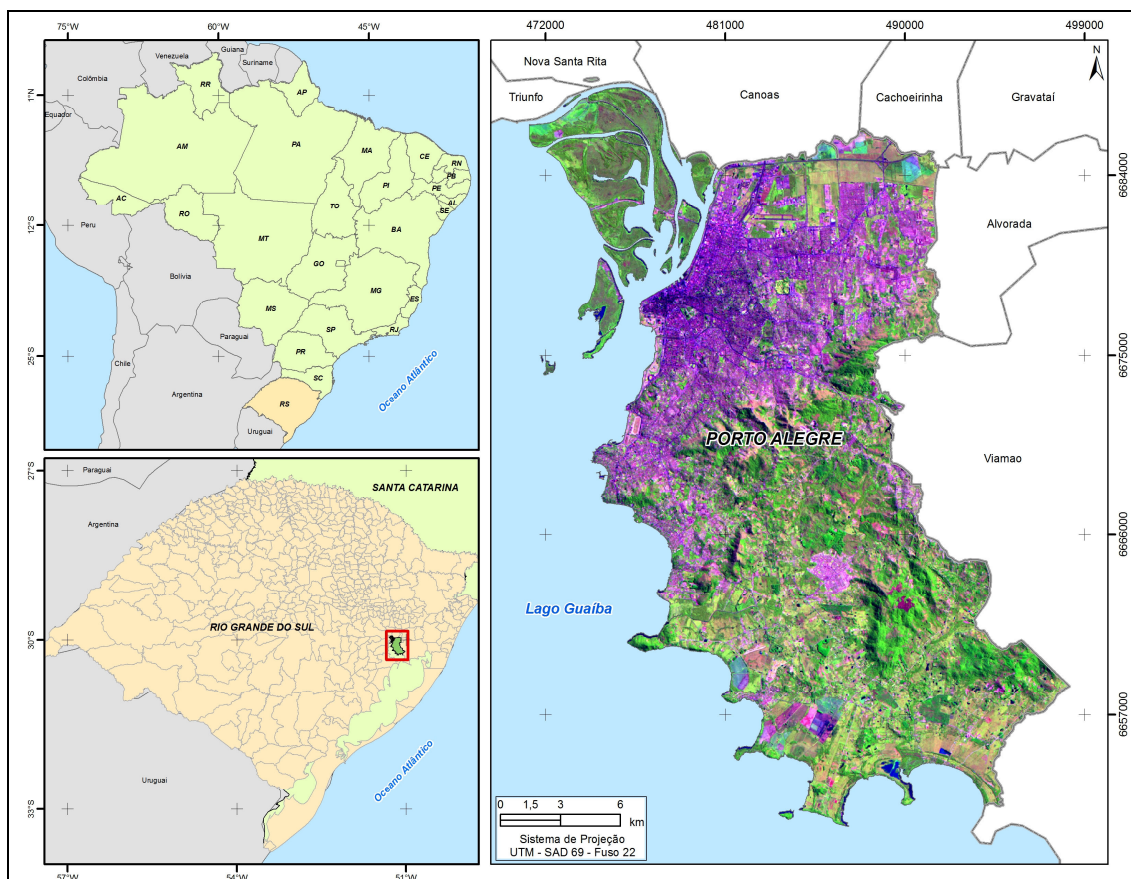


Figura 1: Mapa de localização do município de Porto Alegre - RS.

O município caracteriza-se por apresentar uma rede de drenagem densa sendo delimitado, ao norte, pelo Rio Gravataí e à oeste pelo Lago Guaíba. Toda rede de drenagem do município de Porto Alegre integra a Bacia Hidrográfica do Guaíba, que drena as porções nordeste e central do estado do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre está localizado em uma área de cruzamento de elementos do relevo pertencentes a diversas e complexas províncias geomorfológicas que integram o Estado do Rio Grande do Sul. Embora se encontre bastante interiorizada, apresenta aspectos ligados a linha de costa Atlântica. Portanto, a ocorrência, nessa área, de trechos do escudo Sul-rio-grandense, das bordas orientais da planície costeira e do sistema lagunar, resulta em pequenos mosaicos de relevo com traçado singular e diversificado. Toda essa singularidade resultou em áreas de morros e cristas, contornados por compartimentos rasos e descontínuos de planícies aluviais, além das planícies e baixos terraços pertencentes ao baixo Jacuí e ao rio Gravataí (AB SABER, 1965 *apud* VIEIRA, 2009).

A Crista da Matriz, de direção leste-oeste, configura-se em espigões estreitos com níveis altimétricos entre 80 e 130 metros, escalonados por colos e patamares de vertentes ligeiramente mamelonares. É sobre esse conjunto de morros que está assentada a parte central da cidade. À leste desta crista ergue-se outra barreira de morros, e alinhada na direção nordeste, com altitudes entre 150 metros no Morro do Osso e 311 metros no Morro Santana, denominada de Crista de Porto Alegre (MENEGAT, 1998).

Com relação à litologia, Porto Alegre está localizado na porção nordeste do Batólito de Pelotas, na porção leste do escudo Sul-rio-grandense. Nesta região dominam grandes volumes de rochas graníticas de idade Neoproterozóica relacionadas com a evolução de um ambiente colisional durante o fim do ciclo Brasileiro a aos seus estágios posteriores. Estes granitóides, na maioria, possuem textura porfírica e composições que variam de biotita-monzogranitos, granitos, granitos alcalinos e perita granitos, incluindo rochas básicas e intermediárias, diques ácidos e rochas dioríticas (GUBERT, 2003).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta conceitos, definições e metodologias aplicadas na análise de movimentos de massa a partir da perspectiva dos perigos naturais. Para tanto, buscou-se estudos relacionados a processos de dinâmica de encosta, em especial aqueles que ocorrem em áreas urbanas e que provocam danos e perdas para as ocupações.

2.1. Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são reconhecidos como os mais importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre. Constituem-se no deslocamento de material (solo e rocha) vertente abaixo sob influência da gravidade, desencadeado pela interferência direta de outros agentes independentes (BIGARELLA, 2003).

De acordo com IBGE (2009), os movimentos de massa ou gravitacionais compreendem a remoção e o transporte, vertente abaixo, das formações superficiais e do material rochoso sob influência da gravidade. O deslizamento e o fluxo desses materiais devem-se à posição instável na vertente e às forças gravitacionais, mas o movimento de massa é intensificado pela ação da água. Também são considerados movimentos de massa o rastejamento lento de solo e fragmentos rochosos, assim como os movimentos rápidos de grandes deslizamentos sobre longas distâncias.

Guerra (2003) destaca que nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo de solo ou rocha, onde a gravidade e a declividade possuem um papel significativo. A água pode tornar o processo ainda mais catastrófico, mas não é necessariamente o principal agente deste processo geomorfológico.

Nesta perspectiva, Pio-Fiori (1995) salienta que a força da gravidade origina tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das vertentes. Estas tensões responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que infiltra e acumula no mesmo. Neste processo, a água desempenha papel fundamental alojando-se nos planos potenciais de ruptura,

diminuindo a resistência mecânica do solo, pelo efeito da pressão neutra e em função da lubrificação destes planos.

Christofoletti (1979) destaca que os movimentos de massa são processos naturais que atuam de forma significativa na esculturação da paisagem: escorregamentos, rastejos, corridas, quedas de bloco, ou seja, remobilização do material oriundo do intemperismo que envolve uma série de condicionantes, sendo os mais importantes a declividade, a estrutura rochosa e a forma da vertente.

Desta forma, o relativo estado de equilíbrio mantido entre as forças atuantes na vertente acontece quando as forças de coesão e o atrito entre as partículas de solo são suficientemente resistentes à componentes do cisalhamento mais a carga sobrejacente. A coesão e o atrito são propriedades inerentes dos materiais e constituem a sua resistência ao cisalhamento. Quando a tensão de cisalhamento ultrapassa a resistência dos materiais ou esta última diminui, os materiais perdem sua estabilidade e ocorrem movimentos de massa (COLÂNGELO, 1991 *apud* GUIMARÃES *et al.*, 2008).

Com relação a identificação da ocorrência dos movimentos de massa, Amaral e Gutjahr (2011) afirmam que muitas vezes, os sinais de movimentação da terra não são facilmente notados, e só podem ser percebidos nas pequenas mudanças em construções ou terrenos (trincas no terreno, postes inclinados, rachaduras nas paredes, etc.), especialmente em períodos de chuvas fortes ou prolongadas.

2.1.1. Tipologias e Classificação dos Movimentos de Massa

Os movimentos de massa podem ser classificados de acordo com o tipo do material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Para Bigarella (2003) os movimentos de massa enquadram-se em duas categorias: aqueles que ocorrem devido a causas externas que aumentam a tensão ao cisalhamento dos materiais das vertentes sem afetar as tensões internas desses materiais; e aqueles que afetam as tensões internas sem mudanças nas tensões de cisalhamento.

Augusto Filho (1994) destaca que uma das primeiras classificações com relação aos movimentos de massa amplamente aceita foi a de Sharpe (1938), que serviu de base para grande parte dos trabalhos desenvolvidos sobre o tema. Entre outras propostas destaca-se a de Varnes (1978) que é uma das mais utilizadas em todo o mundo

Augusto Filho (1992) reúne as principais características dos movimentos de massa, no âmbito da dinâmica ambiental brasileira. O Quadro 1 resume os principais conceitos levantados pelo autor, relacionando os processos com as características do movimento, características dos materiais mobilizados e a geometria destes.

Quadro 1: Principais tipos de movimento de encosta na dinâmica ambiental brasileira

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
Rastejos (Creep)	<ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (internos) - Velocidades muito baixas (cm/ano) e decrescente em profundidades - Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - Solos, depósitos, rocha alterada/fraturada - Geometria indefinida
Escorregamentos (Slides)	<ul style="list-style-type: none"> - Poucos planos de deslocamentos (externos) - Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) - Pequenos e grandes volumes de material - Geometria e materiais variáveis - Planares: solos poucos espessos, solos e rochas com plano de fraqueza - Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas - Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (Falls)	<ul style="list-style-type: none"> - Sem plano de deslocamento - Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado - Velocidades muito altas (vários m/s) - Material rochoso - Pequenos e médios volumes - Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. - Rolamento de matacão - Tombamento
Corridas (Flows)	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) - Movimento semelhante ao de um líquido viscoso - Desenvolvimento ao longo das drenagens - Velocidades médias e altas - Mobilização de solo, rocha, detritos e água - Grandes volumes de material - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).

Caputo (1981) salienta que as formas de instabilidade de maciços terrosos ou rochosos nem sempre se apresentam bem caracterizadas e definidas e classifica os movimentos de massa em três grandes grupos:

- Desprendimento de terra ou rocha: constitui uma porção de um maciço terroso ou de fragmentos de rocha que se destaca do resto do maciço, caindo livre e rapidamente e acumulando-se onde estaciona;
- Escorregamento (*landslide*): constitui no deslocamento rápido de uma massa de solo ou de rocha que, rompendo-se do maciço, desliza para baixo e para o lado, ao longo de uma superfície de deslizamento; e
- Rastejo (*creep*): consiste no deslocamento lento e contínuo de camadas superficiais sobre camadas mais profundas, com ou sem limite definido entre a massa de terreno que se desloca e a que permanece estacionária; a velocidade de rastejo é, geralmente, muito pequena.

2.1.2. Caracterização dos Principais Movimentos de Massa

Na sequência estão relacionadas as principais características dos tipos de movimentos de massa, enfocando os escorregamentos e os movimentos de blocos, que são os mais frequentes no município de Porto Alegre.

2.1.2.1. Escorregamentos

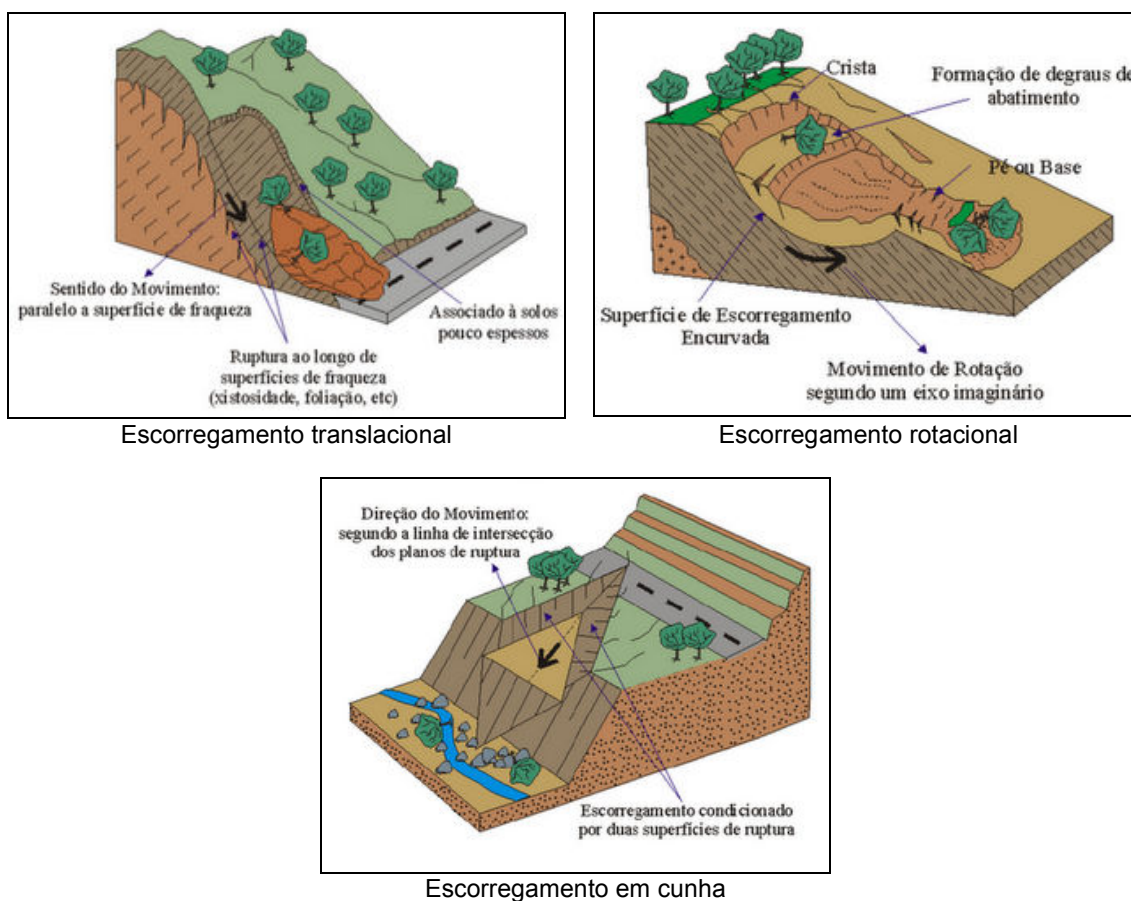
Augusto Filho (1992 *apud* INFANTI JR. e FORNASSARI FILHO, 1998) define que os escorregamentos constituem um movimento rápido de massas de solo ou rocha, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Diferentes tipos de escorregamentos são identificados em função da sua geometria e da natureza do material que instabilizam.

Fernandes e Amaral (1996) definem que os escorregamentos (*landslides*) são movimentos gravitacionais rápidos de curta duração, com volume e superfície de ruptura bem definidos, onde o material desprendido é jogado para fora da encosta, tendo como resultado, geralmente feições longas, como cicatrizes, podendo assumir geometria rotacional ou translacional.

Os escorregamentos rotacionais (*slumps*) são escorregamentos com superfície de ruptura côncava, característicos de encostas, em geral, pouco

fraturadas com formações superficiais uniformes, solos espessos, como por exemplo, os originados de rochas argilosas como argilitos e folhelhos.

Já os escorregamentos translacionais (*translational landslide*) são movimentos com plano de ruptura rasos bem definidos, que seguem muitas vezes paralelos à superfície da encosta. Tais planos podem ser formados por antigas estruturas geológicas, geomorfológicas ou pedológicas, podendo ser compostos por rochas, solos residuais, tálus, colúvio, detritos ou a mistura dos mesmos. A Figura 2 ilustra os principais tipos de escorregamento.



Escorregamento translacional

Escorregamento rotacional

Escorregamento em cunha

Figura 2: Figura esquemática dos tipos de escorregamentos.
Fonte: Rossi *et al.* (2010).

2.1.2.2. Movimentos de Blocos Rochosos

Os movimentos de blocos rochosos consistem no deslocamento, por gravidade, de blocos de rocha. Podem ser classificados em quatro tipos (AUGUSTO FILHO, 1992 *apud* INFANTI JR e FORNASSARI FILHO, 1998):

- Queda de blocos: envolve materiais rochosos de volume e litologia diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se deslocam em movimento tipo queda livre;
- Tombamento de blocos: movimento que se dá pela rotação de blocos rochosos, condicionado pela presença de estruturas geológicas no maciço, com grande mergulho;
- Rolamento de blocos: corresponde a movimentos de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas. Estes blocos, geralmente encontram-se parcialmente imersos em matriz terrosa, destacando-se dos taludes e encostas por perda de apoio; e
- Desplacamento: consiste no desprendimento de lascas de rocha que se formam a partir de estruturas devido às variações térmicas, ou por alívio de tensão. O desprendimento pode ocorrer em queda livre ou por deslizamento ao longo de uma superfície inclinada.

A Figura 3 ilustra os diferentes tipos de movimentos de massa associados a blocos rochosos.

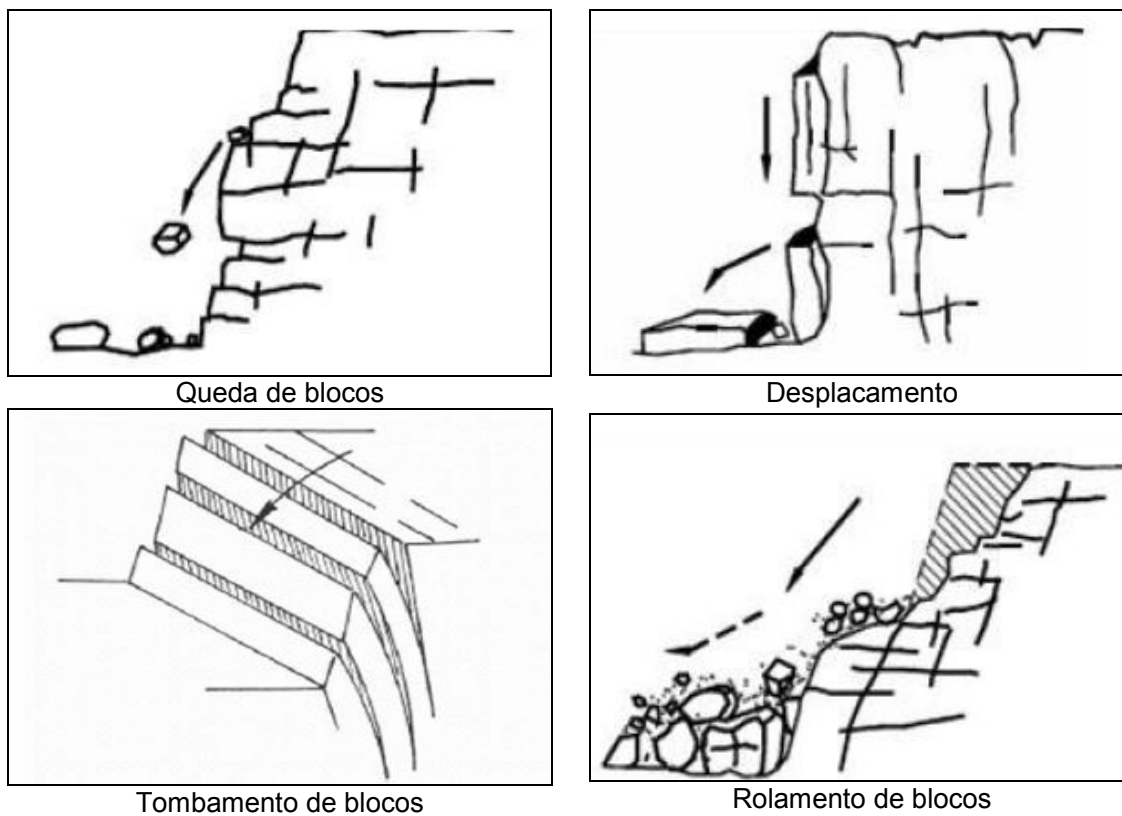


Figura 3: Figura esquemática dos tipos de movimentos de blocos rochosos.
Fonte: Bautista (2007)

Parise (2002) define que as quedas de bloco estão entre os tipos mais comuns de movimentos de massa. Constituem na separação da rocha de um declive íngreme e a descida conseqüente do material, que desliza caindo, saltando ou rolando.

2.2. Suscetibilidade aos Movimentos de Massa

Julião *et al.* (2009) definem que a suscetibilidade representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

A melhor forma de representar e analisar a suscetibilidade aos processos geológicos e aos riscos conseqüentes se dá pela cartografia, que pode seguir vários procedimentos e métodos, dependendo dos objetivos, da escala de trabalho e dos processos que se estuda. Geralmente as técnicas utilizadas baseiam-se em

cruzamento de informações cartográficas (cartas temáticas) de forma a obter um produto cartográfico derivado, onde estariam representados os processos geológicos, hierarquizada a suscetibilidade e avaliados os riscos decorrentes destes processos (SOBREIRA, 2001).

No estudo da suscetibilidade as bases principais são as descritoras do meio físico (geologia, geomorfologia, declives, cobertura vegetal, mapas de solos), enquanto que análise de risco incorpora informações sobre o uso do meio físico e a importância das instalações e infraestruturas humanas que, conjugadas com a suscetibilidade, fornecem a hierarquização dos graus de risco, servindo como subsídio básico para a definição das medidas preventivas e corretivas a serem tomadas (SOBREIRA, 2001).

Nesta perspectiva, a avaliação da suscetibilidade é considerada como característica inerente do meio, representando a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa e será analisada através dos fatores de predisposição para a ocorrência.

2.2.1. Fatores Condicionantes da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa

Com relação aos fatores condicionantes dos movimentos de massa, Fernandes *et al.*, (2001), indica que estes são condicionados por uma complexa relação entre fatores geomorfológicos, com destaque para morfologia e morfometria da encosta; geológico-geotécnicos, englobando as características lito-estruturais, fraturas subverticais e falhamentos tectônicos; hidrológico-climáticos, com ênfase sobre o potencial mátrico, poropressões positivas, umidade do solo; pedológicos, com destaque para as propriedades físicas, morfológicas (densidade, porosidade, etc.) e hidráulicas do solo (condutividade hidráulica saturada e não saturada); além do elemento humano.

Cruden e Varnes (1996 *apud* NUMMER, 2003) apresentam de forma resumida as principais causas dos movimentos de massa. Os autores as dividem em causas geológicas, morfológicas, físicas e humanas (Quadro 2).

Quadro 2: Causas dos movimentos de massa.

Causas Geológicas	Causas Morfológicas	Causas Físicas	Causas Humanas
Materiais fracos	Levantamento tectônico ou vulcânico	Chuvas intensas	Escavações de taludes
Materiais sensíveis	Alívio por degelo	Derretimento rápido da neve	Sobrecarga no talude ou na crista
Materiais intemperizados	Erosão fluvial no pé de talude	Precipitações prolongadas	Rebaixamento dos reservatórios
Materiais cisalhados	Erosão por ondas no pé do talude	Rebaixamentos rápidos (Enchentes, marés)	Desmatamento
Materiais fissurados ou fraturados	Erosão glacial no pé do talude	Terremotos	Irrigação
Orientação desfavorável de descontinuidades (Acamadamento, xistosidade, etc.)	Erosão nas margens laterais	Erupções vulcânicas	Mineração
Orientação desfavorável de descontinuidades (Falhas, etc.)	Erosão subterrânea (Solução e Piping)	Descongelamento	Vibração artificial
Contraste de permeabilidade	Deposição de cargas no talude ou na Crista	Intemperismo por congelamento e descongelamento	Vazamento de água
Contraste de rigidez	Remoção da vegetação (Fogo, seca)	Intemperismo por expansão e retração	

Fonte: Cruden e Varnes (1996 *apud* NUMMER, 2003).

Guidicini e Nieble (1984 *apud* LOPES, 2007) discutem os condicionantes da instabilização utilizando os termos agentes e causas de instabilização e entendem como causa o modo de atuação de um determinado agente no processo de instabilização de um talude ou encosta. Descrevem as causas e agentes de movimentos de massa e subdividem as causas em internas, externas e intermediárias e os agentes em predisponentes e efetivos, preparatórios e efetivos imediatos.

As causas do tipo internas são aquelas que desencadeiam movimentos sem qualquer alteração na geometria da vertente ou talude, mas que resultam da diminuição da resistência interna do material. As causas externas provocam aumento das tensões de cisalhamento sem que haja variação na resistência do material associadas, por exemplo, as sobrecargas oriundas de aterros, abalos sísmicos e vibrações. As causas intermediárias são resultantes de efeitos causados

por agentes no interior do talude como, liquefação espontânea, rebaixamento rápido do nível da água e erosão retrogressiva.

Os agentes do tipo predisponentes são os fatores naturais intrínsecos às condições geológicas, geométricas e ambientais onde ocorrerá o movimento, não incluindo ações do homem. Os agentes efetivos, por sua vez, são o conjunto de elementos diretamente responsáveis pela deflagração dos movimentos, incluindo ações antrópicas, que em função da forma de participação, são preparatórios ou imediatos. No Quadro 3 constam os principais agentes e causas dos movimentos de massa com base nos autores.

Quadro 3: Agentes e causas dos movimentos de massa

Causas	Internas		Efeito das oscilações térmicas; redução dos parâmetros de resistência ao cisalhamento por intemperismo (aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno do material).
	Externas		Mudanças na geometria da encosta; efeitos de vibrações: mudanças naturais na inclinação das encostas por processos naturais ou artificiais.
	Intermediárias		Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas; elevação da coluna da água em descontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (Piping); diminuição do efeito da coesão aparente.
Agentes	Predisponentes		Condições geológicas (mineralógicas, tectônica e estratigráfica), geomorfológicas (inclinação e forma das vertentes) e climatológicas (regime hidrológico), além da ação gravitacional, calor e vegetação.
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão de gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem, etc.

Fonte: Guidicini e Nieble (1984).

Nesta mesma perspectiva, Caputo (1981) define que geralmente constituem causas de um escorregamento o aumento de peso do talude e a diminuição da resistência ao cisalhamento do material. As primeiras classificam-se como externas e as segundas, como internas.

Na sequência consta uma descrição das principais variáveis condicionantes dos movimentos de massa que podem ser agrupadas, de forma geral, em seis

fatores principais: i) Geomorfologia; ii) Precipitações; iii) Geologia; iv) Solos; v) Cobertura vegetal; e vi) Ação Antrópica.

2.2.1.1. Geomorfologia

Com relação aos aspectos associados ao relevo Fernandes *et al.*, (2001) definem que os fatores de cunho geomorfológico englobam parâmetros como, declividade, forma da encosta, área de contribuição, orientação da encosta, espessura do solo, simetria do vale e elevação. Dentre estes parâmetros, a declividade vem sendo usada como o principal, ou mesmo o único, parâmetro de caráter topográfico incorporado aos estudos de previsão e definição das áreas instáveis.

Na mesma perspectiva, Christofolletti (1980), destaca que a declividade tem grande importância nos processos geomorfológicos; as declividades acima de 30° são aquelas que apresentam risco de deslizamento mais frequente.

Além da declividade, a curvatura vertical e a curvatura horizontal merecem destaque: a primeira se refere ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil, e a última, ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal. A combinação de ambas caracteriza a forma do terreno (SCHMIDT *et al.*, 2003 *apud* Bispo *et al.*, 2009).

Ainda, quanto à importância da forma das vertentes na determinação dos movimentos de massa, Sidle *et al.* (1985 *apud* BONUCCELLI, 1995) destacam que a maior influência da forma das encostas nos movimentos de massa, se refere à distribuição da umidade. Em encostas com forma convexa, a água subterrânea é dispersa e as pressões neutras são menores do que em outros locais. Já em encostas côncavas tende a concentrar a água de recarga, assim, são mais propícias a apresentarem elevação do nível freático e a desenvolver pressões neutras mais elevadas.

Com relação a orientação das encostas, Marcelino (2004), salienta que afeta indiretamente a resistência ao cisalhamento em virtude de estar intimamente relacionada à presença de umidade e de cobertura vegetal.

2.2.1.2. Precipitações

Com relação às precipitações, IPT (1991) destaca que o principal agente detonador dos movimentos gravitacionais de massa é a água e, dessa maneira, a maioria das movimentações de encostas acontece no período chuvoso. A água pode atuar na instabilização de taludes de diversas maneiras. A ação pode ocorrer através da elevação do grau de saturação nos solos, diminuindo a resistência, especialmente as parcelas de resistência relacionadas às tensões capilares e às ligações por cimentos solúveis ou sensíveis à saturação.

Para Herrmann *et al.*, (2004) a alta pluviosidade constitui um dos principais condicionadores dos movimentos de massa nas vertentes de equilíbrio crítico, mas estes não ocorrem somente diante dos excepcionalismos pluviométricos, é necessário considerar o tempo de duração das chuvas, a condutividade hidráulica dos solos e a variação do grau de saturação.

Augusto Filho (1995) afirma que a chuva contribui diretamente para as instabilizações de encostas através da mudança do nível d'água e geração de forças de percolação; preenchimento temporário de fendas, trincas em solos saprolíticos e rochas (fraturas, juntas), com geração de pressão hidrostática; e através da formação de frentes de saturação, reduzindo a resistência dos solos pela perda da coesão aparente.

Nesta perspectiva, Fernandes e Amaral (1996) destacam que tanto as precipitações anômalas quanto as contínuas podem contribuir para deflagrar os escorregamentos, ou seja, ambas produzem o encharcamento do solo. Este encharcamento produz a saturação, diminuindo a coesão no contato rocha-solo e a resistência deste material à erosão, favorecendo o aumento das tensões cisalhantes.

O aumento do peso específico do solo devido à retenção de parte da água infiltrada constitui um condicionante de instabilização que incide nos taludes. A água também atua através da introdução no maciço ou em partes dele (vazios, fissuras, trincas, juntas) de pressões hidrostáticas ou hidrodinâmicas que podem levar à ruptura do talude (IPT, 1991).

Nesta mesma perspectiva, Pio-Fiori (1995) salienta que entre as principais formas de atuação da água no solo, destacam-se o aumento do grau de saturação reduzindo a coesão; a elevação da lâmina d'água facilitando o encontro com a frente

de saturação; o estabelecimento de fluxo subterrâneo nas zonas de contato entre o manto de alteração e a rocha sã; aumento do peso da massa detrítica; incremento de pressões hidrostáticas em planos de descontinuidades estruturais de rochas e solos (fendas e trincas).

2.2.1.3. Geologia

O estudo das características geológico-geotécnicas, como tipo de rocha e solo, presença de descontinuidades, falhas, fraturas, juntas e foliações, forma de alteração das rochas, são importantes no estudo dos processos geradores de áreas de perigo, tendo em vista que estes fatores tem implicação direta na potencialidade e pré-disposição à processos de dinâmica superficial, como os movimentos de massa.

Nos taludes rochosos os mecanismos de instabilização são controlados pelo grau de alteração e pelas anisotropias existentes no maciço, tais como xistosidade, juntas e fraturas, cujas relações com o mecanismo de instabilização são regidas pelos fatores: distribuição espacial das descontinuidades, geometria dos taludes e encostas; presença e natureza dos materiais e das descontinuidades; cisalhamentos e movimentos anteriores.

Bigarella (2003) ressalta que de acordo com a natureza, as rochas comportam-se diferentemente em face aos processos de intemperismo. Os padrões de diáclases e de fraturas, bem como de qualquer plano de descontinuidade desempenham papel importante na infiltração e na circulação das águas e, portanto, na impermeabilização das rochas.

Pelo intemperismo a rocha se desfaz em partículas de minerais e fragmentos de rochas, perde substâncias solúveis e produz outros materiais *in situ*. Os diversos produtos do intemperismo recobrem as rochas constituindo o manto de intemperismo, regolito ou solo (ALMEIDA e RIBEIRO, 1998).

Ainda com relação ao intemperismo, com base em Porto (1996), os fatores condicionantes se dividem em dois grupos, podendo ser exógenos ou endógenos. Os fatores exógenos dependem das condições climáticas e geomorfológicas. A questão climática está relacionada ao volume de precipitação e à temperatura. O processo de alteração química é maior quanto maior a disponibilidade de água em

temperaturas mais elevadas. O papel do relevo relaciona-se ao tempo da reação entre a solução aquosa e a possibilidade de lavagem dos produtos das reações. Dessa forma, terrenos levemente inclinados são os mais favoráveis ao intemperismo.

De acordo com Porto (1996) os fatores endógenos que condicionam o intemperismo são a composição mineralógica do protólito, ou seja, rochas de composição básica tendem a se alterar mais facilmente do que as ricas em quartzo; a granulometria dos minerais presentes, sendo que quanto menor o grão maior a sua exposição aos agentes intempéricos; sendo que grãos recristalizados são mais coesos; e a existência de planos de fratura, que facilitam o acesso de fluidos intempéricos.

Em função dos mecanismos predominantes de atuação, os processos intempéricos são classificados em dois tipos: intemperismo físico e intemperismo químico.

De acordo com Toledo *et al.* (2000) o intemperismo físico é constituído pelos processos que causam a desagregação física das rochas com sua fragmentação e com a separação dos grãos minerais antes coesos, transformando a rocha inalterada em material descontínuo e friável.

Ainda com base em Toledo *et al.* (2000), a desintegração física reduz a rocha em fragmentos menores, aumentando a superfície de exposição. Ocorre através do fraturamento por alívio de pressão, causado pela ascensão da rocha até a superfície. Pode ocorrer também pela ação de fatores como a variação de temperatura, a cristalização de sais, o congelamento da água nas fendas das rochas e a ação de agentes físico-biológicos como as raízes das plantas.

A decomposição química é caracterizada pela reação química entre rocha e soluções aquosas diversas. Toledo *et al.* (2000) afirmam que o ambiente da superfície da Terra é diferente daquele em que a maioria das rochas se formaram. Por isso, quando as rochas afloram à superfície da Terra, os minerais entram em desequilíbrio e, através de uma série de reações químicas, transformam-se em outros minerais, mais estáveis nesse novo ambiente.

Os autores colocam ainda que o principal agente do intemperismo químico é a água da chuva, que infiltra e percola as rochas. Os processos de decomposição química que agem sobre a rocha são: oxidação, redução, solubilização, hidratação,

carbonatação e dissolução, e principalmente a reação de hidrólise que gera os argilo-minerais, um importante grupo de minerais secundários.

2.2.1.4. Solos e Materiais de Alteração

De acordo com Bigarella (2003) a espessura do manto de alteração é condicionada pela litologia e pelos sistemas de fraturas e diáclases. Quando a quantidade de água infiltrada é maior que a possibilidade de vazão, há saturação e perda de coesão interna do material alterado. A supersaturação dos solos pela água provoca a diminuição da resistência ao cisalhamento, permitindo o início da movimentação do material intemperizado.

Ainda, com relação aos solos, estes podem influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos, em virtude da sua textura, estrutura, permeabilidade e densidade (PIO-FIORI, 1995).

A textura refere-se à proporção relativa das partículas sólidas no solo, influenciando na capacidade de infiltração e absorção de água da chuva. Solos mais arenosos são mais porosos, permitindo rápida infiltração da água e, conseqüentemente, menor capacidade de armazenamento (MARCELINO, 2004).

A estrutura, que corresponde ao arranjo espacial das partículas no solo, influencia no direcionamento e na velocidade de infiltração da água (PIO-FIORI, 1995).

A espessura e as características gerais do solo (permeabilidade, homogeneidade, porosidade, etc.) podem favorecer a ocorrência de movimentos de massa. Augusto Filho (1988) salienta que as encostas côncavas e retilíneas apresentam menores espessuras de solo em relação às encostas convexas, sendo mais favoráveis ao processo de escorregamentos translacionais, que envolvem uma fina camada do solo.

2.2.1.5. Vegetação

A retirada de vegetação de uma encosta é um importante fator que pode desencadear os movimentos de massa. A ausência da vegetação expõe o solo, que deixa de estar ligado por ação das raízes, tornando-se vulnerável à infiltração e

também diminui a proteção ao impacto das gotas da chuva que altera os materiais, acelerando a desagregação.

A vegetação com os seus sistemas de raízes controla o escoamento superficial e a infiltração das águas no manto de intemperismo, diminuindo a excessiva penetração da água no subsolo mais profundo. Os deslizamentos em áreas florestadas ocorrem apenas nas vertentes muito íngremes e em decorrência da alta pluviosidade que saturam os solos rasos existentes sobre a superfície com rochas pouco alteradas (HERRMANN *et al.*, 2004).

Augusto Filho (1994) atribui como efeitos favoráveis da vegetação a redistribuição da água da chuva e o acréscimo da resistência do solo devido a presença de raízes (reforço mecânico e escoramento).

No entanto, alguns autores destacam efeitos desfavoráveis da cobertura vegetal. Gray e Laser (1992 *apud* INFANTI JR e FORNASARI FILHO, 1998) destacam que a vegetação pode desempenhar um efeito alavanca, que corresponde à força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno quando as copas são atingidas pelo vento; também pode causar um efeito cunha, que corresponde a pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais no solo ou rocha; e ainda, pode auxiliar nas movimentações pela sobrecarga vertical, causada pelo peso das árvores.

Nesta perspectiva, Prandini *et al.* (1976) salientam que a remoção da sobrecarga e, conseqüentemente a eliminação da ação dos ventos sobre a vegetação aumentam de imediato a segurança de uma vertente. Mas ao cabo de um determinado tempo, ocorre novamente o incremento da instabilidade em virtude da deterioração do sistema radicular e da eliminação da redistribuição da água da chuva. Este intervalo de tempo irá depender da densidade de raízes, tamanho, resistência à tração e tipo de vegetação.

2.2.1.6. Ação Antrópica

A modificação antrópica das encostas com a construção de moradias é um importante fator que contribui para o desencadeamento de movimentos de massa, tanto pela retirada de material para implantação das fundações, quanto pelo

aumento de peso da estrutura, que aumenta a pressão nos materiais, podendo induzir as movimentações.

Nesse contexto, Araújo e Vilar (2004) afirmam que quando nos referimos ao estudo das encostas, um elemento não integrante na evolução do relevo na primeira natureza, deve ser incluído: o homem. Através do processo de apropriação e transformação do relevo o homem implica mudanças na sua evolução, por oferecer condições à indução e/ou à intensificação dos processos exógenos.

Campos (2001) salienta que, de maneira geral, a relação entre o homem e o ambiente é complexa e recíproca. O ambiente exerce influência sobre o homem, que por sua vez influencia o ambiente, através de suas várias atividades. Estas, ao serem realizadas de forma desordenada e negligente, conduzem a riscos, especialmente os naturais com perdas de vidas humanas e propriedades. Sendo assim, nem sempre os desastres naturais são dependentes de causa exclusivamente naturais, ou seja, muitas vezes encontram-se relacionados com fatores sociais.

Com relação à causa dos escorregamentos, Macedo e Santoro (2001), salientam que o grande causador dos escorregamentos é a ocupação desordenada das encostas. Os autores destacam que quando a população constrói moradias nas encostas, ela realiza cortes e aterros, desmatamentos, despeja a água utilizada no próprio solo, joga lixo e entulho nas encostas e cultiva plantas impróprias, como as bananeiras. Todas essas alterações potencializam a ocorrência de movimentos de massa.

Augusto Filho (1994) relaciona as principais ações antrópicas indutoras dos escorregamentos, destacando a remoção da cobertura vegetal; lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas; vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas; execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação); execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação); lançamento de lixo nas encostas; e vibrações produzidas por tráfego pesado.

2.3. Definição de Perigo

O perigo (*hazard*) consiste na condição com potencial para causar uma consequência desagradável (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004). Constitui um

fenômeno perigoso, substância ou atividade que pode causar perda de vida, dano de propriedades, perda de sustentos e serviços, destruição econômica e social ou dano ambiental (UNISDR, 2009).

Julião *et al.* (2009) definem que a probabilidade do perigo (*probability of hazard*) constitui a probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade numa dada área e em um dado período de tempo.

Na mesma perspectiva, Zuquette e Pejon (2004), salientam que um evento perigoso é caracterizado como um evento que apresenta uma probabilidade de ocorrência, associada a uma área e com intensidade acima de um limite pré-determinado, o que o diferencia de um evento comum. Na Figura 4 observa-se um fluxograma que relaciona os diferentes componentes do meio na geração de eventos perigosos naturais e induzidos.

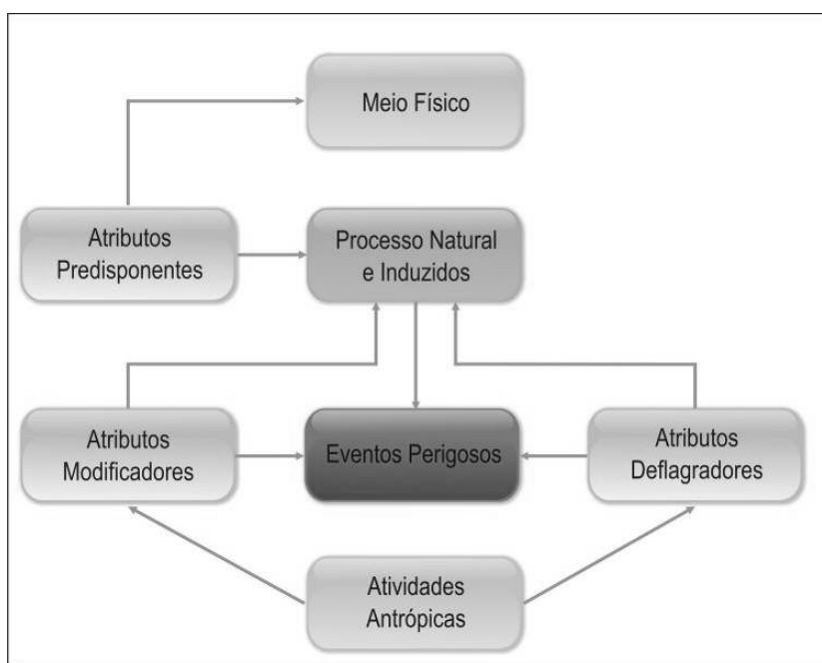


Figura 4: Fluxograma que relaciona os componentes do meio ambiente envolvidos na geração de eventos perigosos.

Fonte: Adaptado de Zuquette e Pejon (2004).

Castro (2000) enfatiza que o perigo implica na existência do homem e salienta que os fenômenos naturais não são em si mesmo prejudiciais; as inundações, secas, terremotos, erupções vulcânicas, furacões e outros, são fenômenos naturais que só se tornam um perigo se ocorrem onde vivem pessoas.

Matedi e Butzke (2001) salientam que desde meados da década de 70, os *hazards* passaram a ser vistos como produtos da interação de forças físicas e humanas que, em combinação, determinam a significância e o impacto do evento. Eventos geofísicos que não afetam as atividades humanas não podem ser considerados *hazards*.

Dessa forma, um *hazard* representa o potencial de interação entre os seres humanos e um evento natural extremo, conforme indicado na Figura 5 (TOBIN e MONTZ, 1997 *apud* MATEDI e BUTZKE, 2001).

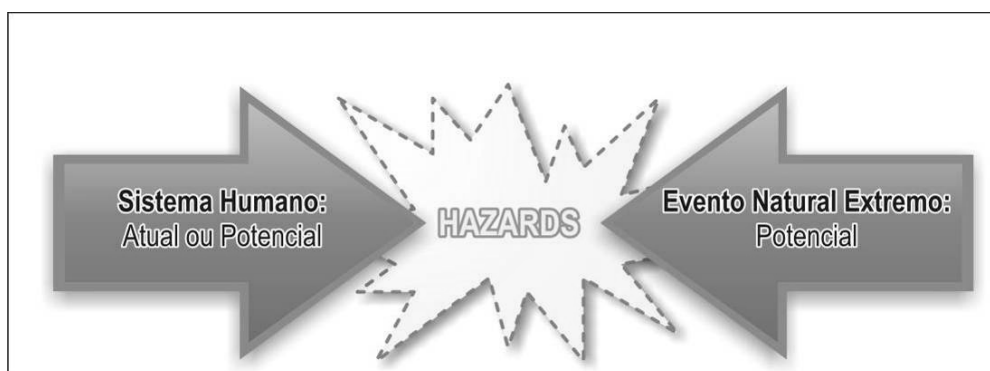


Figura 5: Interação entre o sistema humano e evento natural.
Fonte: Adaptado de Tobin e Montz (1997).

Assim, por definição, um *hazard* constitui uma ameaça para a sociedade. Pode-se constatar que um *hazard* existe somente por que as atividades humanas se encontram expostas a forças naturais. Portanto, um *hazard* é composto de uma dimensão natural e uma dimensão social (MATEDI e BUTZKE, 2001).

Castro (2000) diferencia o perigo considerando: perigo natural, quando o fenômeno que produz o dano tem sua origem na natureza; perigo antrópico, quando o fenômeno que produz a perda tem sua origem em ações humanas; e perigo ambiental, quando o evento que causa o prejuízo tem causas combinadas (naturais e antrópicas).

Nesta mesma perspectiva, Zêzere *et al.* (2008) define que:

- Perigos naturais correspondem a ocorrências associadas ao funcionamento dos sistemas naturais, como sismos, movimentos de massa, erosão do litoral, cheias e inundações;

- Perigos tecnológicos potenciam acidentes, geralmente súbitos e não planejados, decorrentes da atividade humana, como potencial de acidentes industriais, potencial de acidentes no transporte de substâncias perigosas; e
- Perigos ambientais, que combinam resultados de ações continuadas da atividade humana com o funcionamento dos sistemas naturais, como os incêndios florestais, contaminação de cursos de água e aquíferos, degradação dos solos e desertificação.

Com relação aos perigos naturais Alcantara-Ayala (2002) define que estes são considerados dentro de uma concepção geológica e hidrometeorológica, onde os terremotos, vulcões, inundações, deslizamentos, tempestades, secas e maremotos são os principais tipos. Estes perigos estão fortemente relacionados com a geomorfologia, uma vez que, são ingredientes importantes da dinâmica da superfície da Terra.

O perigo natural constitui o processo ou fenômeno que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros danos à saúde, danos à propriedade, a perda de meios de subsistência e de serviços, de ruptura social e econômica, ou de dano ambiental. Os perigos naturais são um sub-conjunto de todos os perigos. O termo é usado para descrever eventos de perigo real, bem como as condições de perigo latente que pode dar origem a eventos futuros (ALCANTARA-AYALA, 2002). O termo perigo natural implica a ocorrência de uma condição natural ou fenômeno, que ameaça ou atua perigosamente em um espaço definido e tempo.

No Brasil, o principal deflagrador de eventos perigosos naturais e muitos induzidos são os eventos chuvosos de características variadas, em termos de duração e intensidade. No entanto, a ocorrência de eventos geológicos, geotécnicos e tecnológicos está condicionada pelas propriedades intrínsecas e variabilidade dos materiais geológicos, assim como, pelos seus arranjos espaciais. Ressalta-se que a distribuição temporal e espacial que deflagra eventos perigosos não seguem padrões definidos em estudos regionais ou de tendências, normalmente são eventos específicos associados a cenários com características específicas quanto à predisposição (ZUQUETTE e PEJON, 2004).

2.4. Geotecnologias e Métodos de Avaliação dos Movimentos de Massa

O desenvolvimento de metodologias que utilizam técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) torna-se essencial para a integração e espacialização de informações e geração de modelos de previsão de ocorrência de movimentos de massa.

Para Guimarães *et al.* (2008) os principais métodos de previsão de movimentos de massa podem ser divididos em quatro grupos: (a) análise da distribuição dos movimentos de massa no campo; (b) análise baseada em mapeamentos geológicos e/ou geotécnicos; (c) aplicação de modelos com bases estatísticas; e (d) aplicação de modelos matemáticos.

Com relação às geotecnologias aplicadas no estudo dos movimentos de massa, os dados obtidos por sensoriamento remoto, têm grande utilidade na detecção, mapeamento e monitoramento. Guimarães *et al.* (2008) destaca que feições como superfície de ruptura, cicatrizes de escorregamento e leques de deposição podem ser identificadas, quantificadas e mapeadas baseadas na interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite. Dados de sensores remotos podem ser utilizados na identificação e quantificação da área de abrangência desses processos. Além disso, é possível identificar e mapear variáveis condicionantes dos processos, como a forma das vertentes, umidade do solo, canais de drenagem, tipo e densidade de cobertura vegetal e uso da terra.

Nesta perspectiva, Yalcin e Bulut (2006) destacam que houve um progresso na definição da suscetibilidade de deslizamentos em virtude do desenvolvimento dos SIG e técnicas de sensoriamento remoto, uma vez que os dados são organizados facilmente e de acordo com critérios matemáticos e estatísticos é possível armazenar, processar e analisar facilmente uma quantidade grande de dados complexos em um tempo curto.

Os Modelos Digitais de Terreno (MDT's), também constituem uma importante ferramenta na análise dos movimentos de massa uma vez que, permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e, utilizando um SIG, obter de forma automática, as variáveis morfométricas (declividade, orientação de vertentes) que alimentam os modelos de previsão de movimentos de massa (GUIMARÃES *et al.*, 2008).

Westen *et al.* (2001) salientam que foram propostas muitas técnicas para zoneamento de perigo e que estas podem ser divididas em dois grupos:

- Cartografia de perigo direta, na qual o grau de perigo é determinado pelo geomorfólogo, baseado na experiência dele e conhecimento das condições de terreno; e
- Cartografia de perigo indireta, na qual são usados modelos estatísticos ou modelos determinísticos para predizer áreas propensas a deslizamento de terra, baseado em informação obtida da inter-relação entre fatores de paisagem e a distribuição de deslizamento de terra.

A popularidade dos SIG's tem permitido o desenvolvimento de mais estudos, utilizando a cartografia indireta. As regras de decisão que usam análise estatística são obtidas, e as classes de perigo resultantes podem ser classificadas como alto, médio ou baixo perigo. Pode ser expressa a importância de cada fator que contribui para instabilidade como um valor de peso, ou na forma de uma função de favorabilidade ou como um valor em uma função de regressão (CARRARA *et al.*, 1991).

Para Parise (2002) um inventário é a forma mais simples de mapa de deslizamento; registra o local, a data de ocorrência e tipos de deslizamentos de terra que deixaram rastros em uma área. Mapas de Inventário podem ser preparados através de técnicas diferentes, dependendo da extensão da área de estudo, mapas básicos e fotografias aéreas e os recursos disponíveis.

Nesse sentido, pode-se constatar que as técnicas de sensoriamento remoto e SIG são fundamentais para determinação das áreas de perigo, assim como, para o estudo e monitoramento dos movimentos de massa.

2.5. Estudos sobre Movimentos de Massa em Porto Alegre

Os primeiros trabalhos relativos às áreas de risco no município de Porto Alegre foram desenvolvidos na década de 1990, onde se destacam os trabalhos de Robaina (1993), Robaina e Silva (1993), Robaina e Valadão (1993), Robaina *et al.* (1994, 1995). Nestes trabalhos foi realizado uma descrição geral das áreas de risco e os principais condicionantes dos mesmos, não apresentando análises detalhadas dos eventos e dos locais de ocorrência.

Valente (1999) realizou mapas geotécnicos e análise de aspectos do meio físico sob o ponto de vista da geotecnia e interações com a mancha urbana existente. O autor define eventos perigosos no município com base nos planos de informação referentes as áreas inundáveis, suscetibilidade potencial à erosão laminar (alta e muito alta) e áreas de isodeclividades (maiores que 30%). Define 4 eventos perigosos: erosão laminar alta; erosão laminar muito alta; erosão laminar muito alta com declividade maior que 30%; e inundação.

Cita-se ainda o Atlas Ambiental de Porto Alegre realizado por Menegat *et al.*, (1998) que apresenta o mapa dos indicadores de áreas de risco de acidentes geológicos elaborado com base nos mapas de declividade, de ocupação urbana e drenagem e Porto Alegre. Entre as áreas de risco geológico destacam-se as encostas da porção central.

Entre os estudos mais recentes destaca-se o trabalho de Reckziegel (2004) que analisa as áreas de risco na Vila Laranjeiras; o de Gubert (2003), que analisou as implicações do substrato granítico com os processos de risco em Porto Alegre; e o trabalho realizado pelo Programa de Áreas de Risco (PEROTTO, 2004), que apresentou um mapa geral das áreas de risco da cidade, analisadas pelo processo desencadeador.

No Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK *et al.*, 2008) foram definidas as unidades geotécnicas que foram estabelecidas buscando delimitar zonas com solos de características físicas e morfológicas semelhantes e zonas com comportamento geotécnico equivalente, importante variável para a análise da estabilidade das encostas.

Reckziegel (2008) realizou um estudo onde indicou os tipos de processos de dinâmica superficial que ocorrem na cidade de Porto Alegre e buscou definir os principais fatores condicionantes.

Moura e Dias (2009) elaboraram um mapeamento geomorfológico, em escala 1:50.000 para identificar as formas de relevo e elucidar os processos que operam na superfície do município.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste item são indicadas as etapas desenvolvidas durante o trabalho, os procedimentos metodológicos e operacionais, as técnicas e materiais que serviram de base para a execução, assim como, as formas de tabulação e tratamento dos dados.

O desenvolvimento da dissertação está estruturado em quatro etapas: na primeira foi realizado o levantamento de dados; na segunda foi realizada a organização dos dados; na terceira etapa foi realizada a análise e correlação das informações; e a quarta etapa correspondeu à síntese das informações para a definição das áreas de perigo de ocorrência de movimentos de massa.

3.1. Levantamento de Dados

Nesta etapa foi realizada a pesquisa dos dados sobre a ocorrência de desastres associados a movimentos de massa no município de Porto Alegre, com base nos Relatórios de Vistoria da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM). Estes dados referem-se aos registros da Divisão de Áreas de Risco Municipal e resultam do atendimento dos técnicos do programa pela ocorrência de acidentes ou por chamadas da população. O período de levantamento destes dados corresponde aos eventos ocorridos entre 1995 e 2010.

Com base nos relatórios foi verificado o tipo de evento associado a movimentos de massa (escorregamentos e movimentos de blocos rochosos), local de ocorrência, se houve registro de acidente e os danos causados. Para a análise foram considerados somente os relatórios com ocorrências de movimentos de massa que registraram acidente. Os registros foram organizados em tabelas por meio da planilha eletrônica do *software Microsoft Excel*. A partir das tabelas foram gerados gráficos para auxiliar a interpretação dos resultados.

Os dados topográficos referentes a curvas de nível foram obtidos a partir da consulta no endereço eletrônico <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo> do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HASENACK *et al.* 2010). Estas curvas de nível foram geradas a partir das

folhas, em escala 1:1.000, do Mapa Cadastral do município elaborado em 1982.

As bases cartográficas temáticas referentes a solos, geologia, uso do solo e cobertura vegetal foram obtidas a partir da consulta no endereço eletrônico <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo> do Laboratório de Geoprocessamento. Esses dados integram o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre e foram organizados por Hasenack *et al.* (2008).

Os dados cartográficos referentes às ocorrências de movimentos de massa, dados topográficos e bases cartográficas temáticas foram organizados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com o objetivo de auxiliar na integração e sistematização das informações. Para tanto, utilizou-se o aplicativo Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) versão 5.0.1.

3.2. Organização dos Dados

Nesta etapa foi realizada a organização dos dados para a definição das áreas com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

3.2.1. Espacialização dos Registros

A localização espacial dos registros de movimentos de massa foi realizada a partir da consulta por endereços utilizando o *software Google Earth*. Com a identificação do local de ocorrência foram obtidas as coordenadas e, estas, foram espacializadas em ambiente de SIG, a fim de obter uma representação dos locais atingidos.

Em seguida, os registros foram analisados a partir de uma perspectiva temporal e espacial. Na análise temporal foi considerado o número de eventos por ano. Na análise espacial foi considerado o número de eventos ocorrido nos bairros. Os registros de movimentos de massa foram correlacionados com informações hipsométricas, de declividade, solos e geologia para auxiliar na definição das áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa.

3.2.2. Hipsometria

A hipsometria do município foi definida a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) gerado a partir das curvas de nível.

Para a inferência do Mapa Hipsométrico foram definidas classes em intervalos de 20 metros que possibilitaram a individualização dos principais compartimentos topográficos do município e a análise das amplitudes, que auxiliaram na definição das áreas com suscetibilidade.

3.2.3. Declividade

A declividade do município foi gerada a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT). O mapa foi definido a partir do fatiamento da declividade em intervalos de valores, em porcentagem, segundo os limites indicados no Quadro 4.

Quadro 4: Limites de declividade

Limites (%)	Características
Inferiores a 2%	Áreas planas.
2 a 5%	Áreas de baixa declividade onde são registrados processos deposicionais.
5 a 15%	Áreas onde os processos erosivos começam a ser significativos.
Superiores a 15%	Áreas onde os processos de movimentos de massa começam a ser significativos.

3.2.4. Geologia

Para a geração do Mapa Geológico do município de Porto Alegre foi utilizada a base georreferenciada organizada por Hasenack *et al.* (2008). Estas informações, integradas ao SIG, auxiliaram na definição da suscetibilidade.

Foram definidas as unidades geológicas indicadas abaixo:

- Aterro
- Depósitos aluviais;
- Terraços e cordões arenosos;
- Depósitos eluviais do Escudo;
- Granito Santana;
- Granito Ponta Grossa;
- Granito Canta Galo;

- Granito Independência e granófiros; e
- Granito Viamão; e
- Gnaisses Porto Alegre.

3.2.5. Solos

Para a geração do Mapa de Solos, foi utilizada a base georreferenciada organizada por Hasenack *et al.* (2008); esta informação foi integrada no SIG para auxiliar na definição da suscetibilidade. O Quadro 5 apresenta as unidades de mapeamento que ocorrem no município de Porto Alegre.

Quadro 5: Unidades de mapeamento de solos definidas para o mapa de solos.

Sigla	Descrição da Unidade de Mapeamento	Descrição geral da área de ocorrência
PV1	Grupo Indiferenciado de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-amarelos	Topo e encosta de elevações, em relevo suavemente ondulado e ondulado
PV2	Associação de Argissolos Vermelhos ou Argissolos Vermelho-amarelos com Cambissolos Háplicos	Topo e encosta de elevações, em relevo ondulado e fortemente ondulado e nos terços inferiores de encostas de morros em relevo fortemente ondulado e montanhoso
CX	Associação de Cambissolos Háplicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos	Topo e encosta de morro, em relevo fortemente ondulado e montanhoso
SG1	Associação de Planossolos Hidromórfico, Gleissolos Háplicos e Plintossolos Argilúvicos	Planícies aluviais e lagunares com microrrelevo
SG2	Associação de Planossolos Hidromórfico, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos	Áreas marginais ao longo de arroios em relevo plano
GX	Associação de Gleissolos Háplicos e Planossolos Hidromórfico	Planícies aluviais e lagunares
G1	Associação de Gleissolos e Neossolos Flúvicos	Planícies aluviais situadas nas ilhas do Delta do Jacuí
G2	Associação de Gleissolos, Planossolos e Tipos de Terreno	Planícies aluviais e lagunares com áreas alteradas pela ação humana
RQ	Associação de Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos	Feixes de restinga ocupando relevo plano e suavemente ondulado
RU1	Neossolos Flúvicos	Planícies aluviais situadas em ilhas do Delta do Jacuí
RU2	Associação de Neossolos Flúvicos e Tipos de Terreno	Diques marginais e aterros ocupando relevo plano nas bordas das ilhas do Delta do Jacuí
TT	Tipos de Terreno	Áreas com influência antrópica (aterros, pedreiras).

Fonte: Hasenack et al (2008)

3.2.6. Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Para a geração do mapa foi utilizada a base georreferenciada organizada por Hasenack *et al.* (2008) que, integrado às informações da suscetibilidade, auxiliou na definição das áreas com perigo de ocorrência de movimentos de massa.

As classes definidas no Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal podem ser observadas abaixo:

- Água;
- Arbóreo;
- Arbustivo;
- Herbáceo;
- Cultivo;
- Comercial, industrial e serviços;
- Residencial;
- Sem vegetação; e
- Vias.

3.3. Análise e Correlação das Informações

Nesta etapa foi realizada a análise das informações para a definição das áreas com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

3.3.1. Suscetibilidade

A compartimentação das áreas com predisposição à ocorrência de movimento de massa foi inicialmente realizada a partir da análise das altitudes e declividades. Para tanto, foram considerados os critérios do IPT (1981), que apresenta a classificação das formas de relevo com base na amplitude e gradiente das vertentes, conforme indicado no Quadro 6.

Quadro 6: Classificação de formas de relevo, segundo a amplitude e gradiente (IPT, 1981).

Declividade	Amplitude	Forma
Inferiores a 5%	Inferior a 100 m	Rampa
5 a 15%	Inferior a 100 m	Colina
Superiores a 15%	Inferior a 100 m	Morrote
5 a 15%	100 a 300	Morro com encosta suave
Superiores a 15%	100 a 300	Morro

Foram consideradas como áreas suscetíveis aquelas que apresentam declividades maiores que 15% e amplitudes superiores a 100 metros.

Além disso, foram utilizadas e integradas informações sobre as ocorrências de movimentos de massa, classes de solos e unidades geológicas para auxiliar na compartimentação da suscetibilidade. A partir dessa integração foram determinadas as áreas que apresentam predisposição à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre.

3.3.2. Ocupação Urbana

Para a definição das áreas com ocupação urbana foi selecionada a classe definida como comercial industrial e serviços e a classe residencial do mapa de uso do solo e cobertura vegetal. Foram selecionadas estas classes, uma vez que, nestas áreas as atividades humanas são encontradas e a ocorrência de movimentos de massa pode causar perdas de vida, danos em propriedades e destruição econômica e social.

Dessa forma, as informações geradas nesta etapa permitiram a identificação das áreas ocupadas, e posteriormente, a avaliação do perigo à ocorrência de movimentos de massa.

3.4. Síntese das Informações

A quarta etapa do estudo correspondeu à integração das informações com a definição do mapa de áreas de perigo de movimentos de massa.

O mapeamento do perigo foi elaborado a partir da integração das informações das áreas suscetíveis a ocorrência de movimentos de massa e áreas com ocupação urbana: as áreas suscetíveis representam aqueles locais com potencial de ocorrência de movimentos de massa e as áreas com ocupação urbana representam os locais com potencial de ocorrer perdas e

danos associados. Na Figura 6, consta a sequência operacional desenvolvida para formatação e operacionalização da base de dados e inferência do perigo.

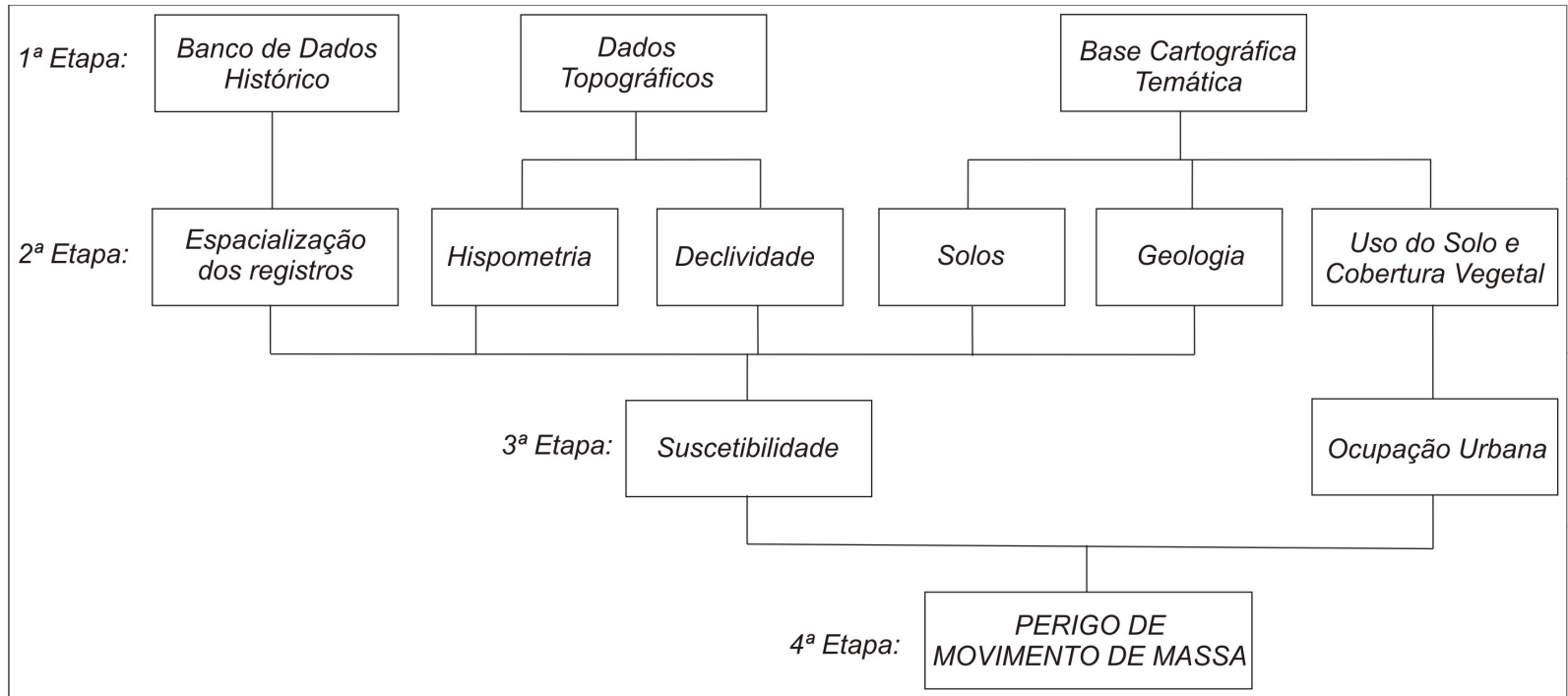


Figura 6: Fluxograma que indica as etapas realizadas para a inferência do perigo.

4. RESULTADOS

Este item apresenta a análise espaço-temporal dos eventos, definição das áreas com suscetibilidade a movimentos de massa e uso do solo e cobertura vegetal em áreas suscetíveis, a fim de determinar as áreas com perigo de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre.

4.1. Histórico de Ocorrências

De acordo com os dados do histórico foram registrados 176 ocorrências associadas a movimentos de massa no período entre 1995 e 2010 em Porto Alegre. Dos registros históricos 144 correspondem à ocorrência declarada como escorregamento e 32 registros foram declarados como associados à ocorrência de movimentos de blocos rochosos, conforme indicado na Figura 7. Os escorregamentos registrados ocorrem, em geral, em encostas, cortes e aterros.

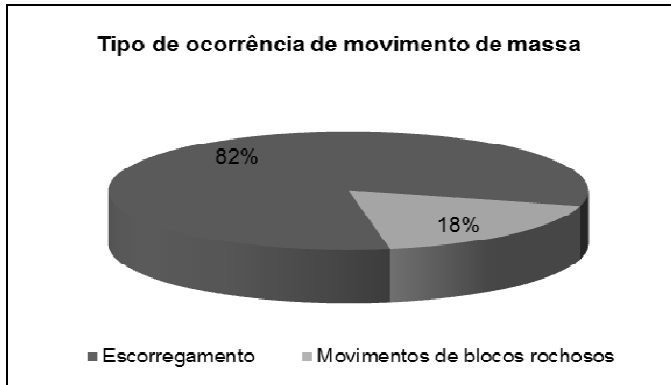


Figura 7: Tipo de ocorrência de movimentos de massa.
Fonte: Relatórios de Vistoria da SMAM - Programa Áreas de Risco.

Os bairros Cascata, São José, Protásio Alves e Coronel Aparício Borges foram os mais atingidos com 24, 16, 14 e 12 registros, respectivamente, conforme indicado no gráfico da Figura 8.

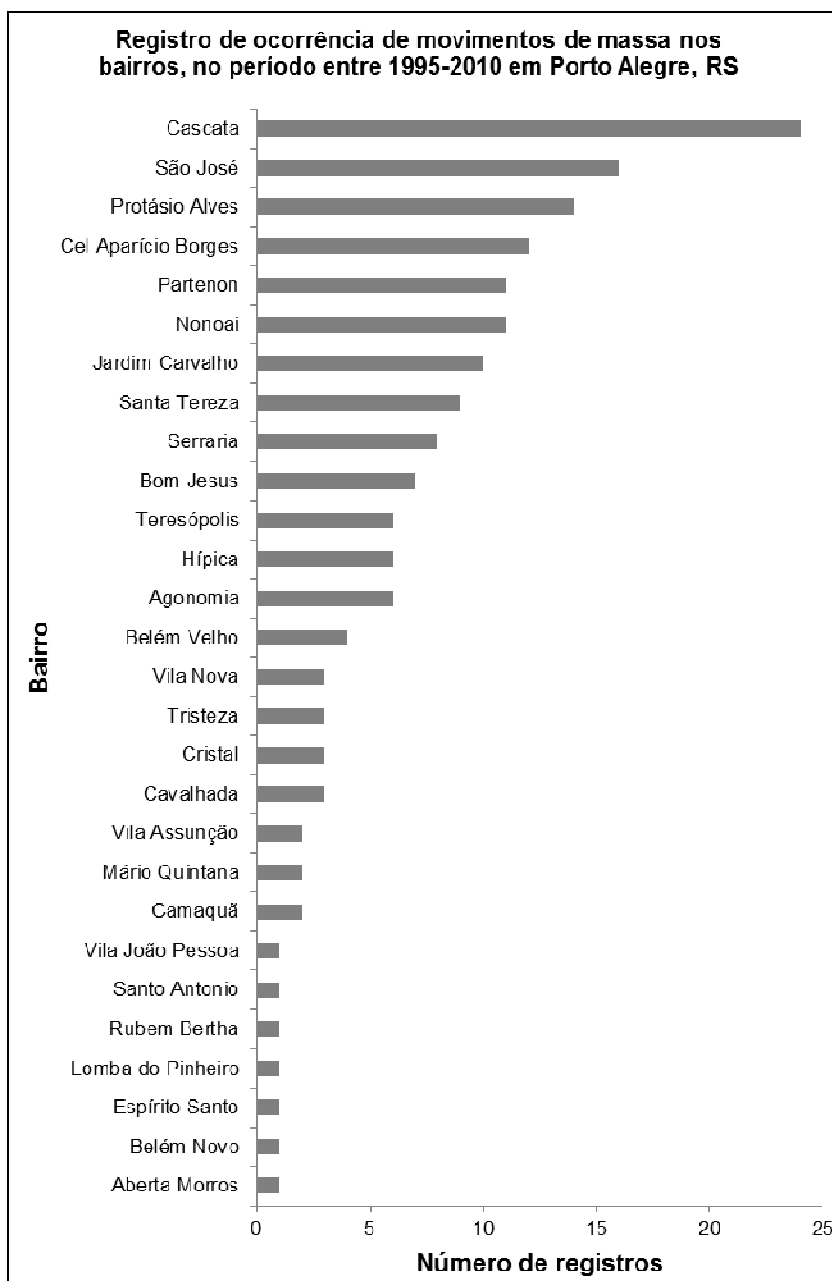


Figura 8: Número de ocorrências de movimentos de massa nos bairros.

A Figura 9 apresenta a espacialização dos bairros com ocorrência de registros de movimentos de massa no município de Porto Alegre no período entre 1995 e 2010. Pode-se observar que os bairros com maior número de registros localizam-se na porção central do município.

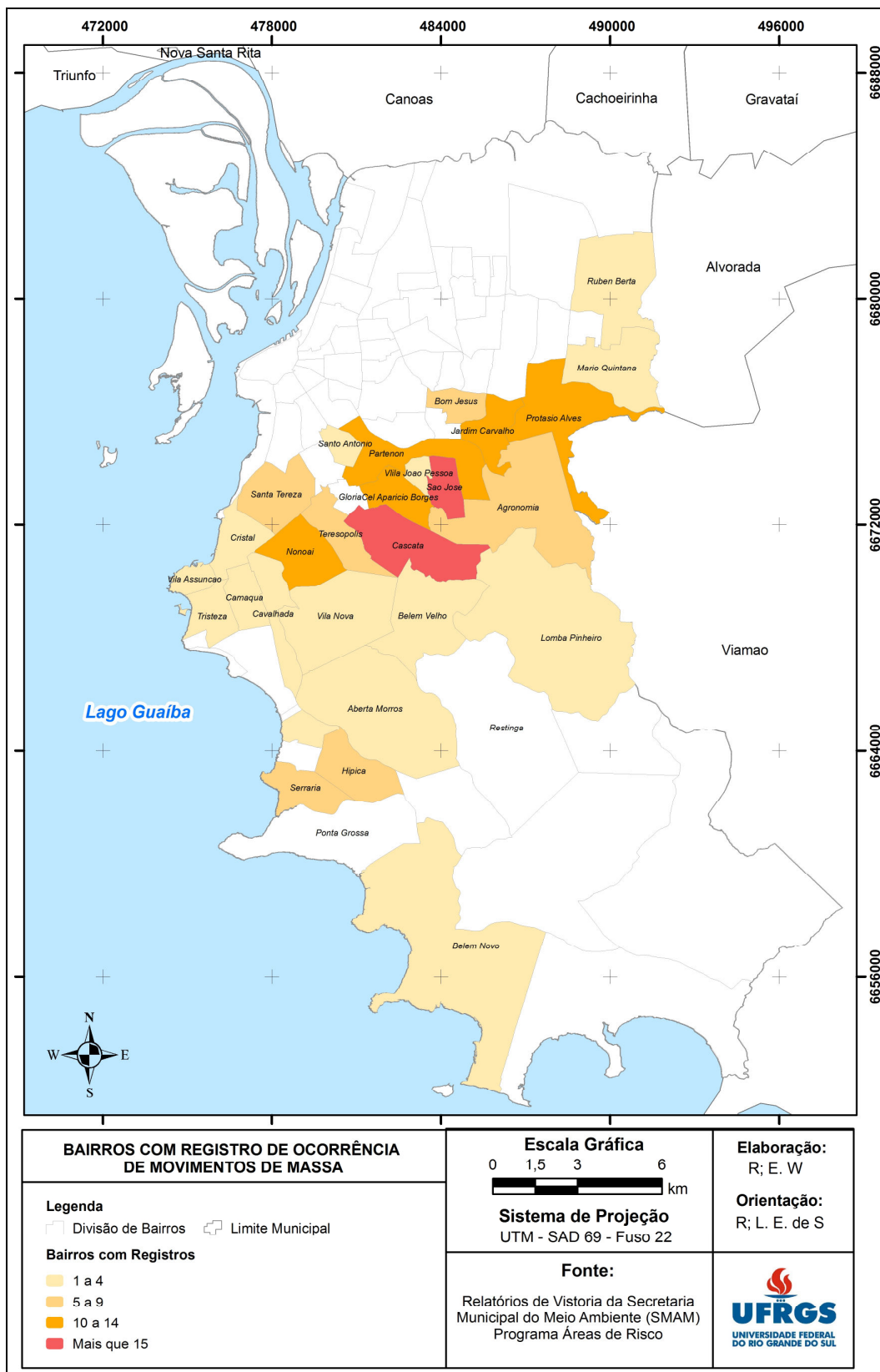


Figura 9: Registros de ocorrência de movimentos de massa nos bairros.

O maior número de ocorrências de movimentos de massa foi observado nos anos de 2000 e 2001, com 29 registros, seguido pelos anos de 2009, 1998, 2002 e 2008 com 18, 17, 15 e 15 registros, respectivamente. Em 2004 e 2006 não houve nenhum registro no levantamento e em 1995, apenas um (Figura 10).

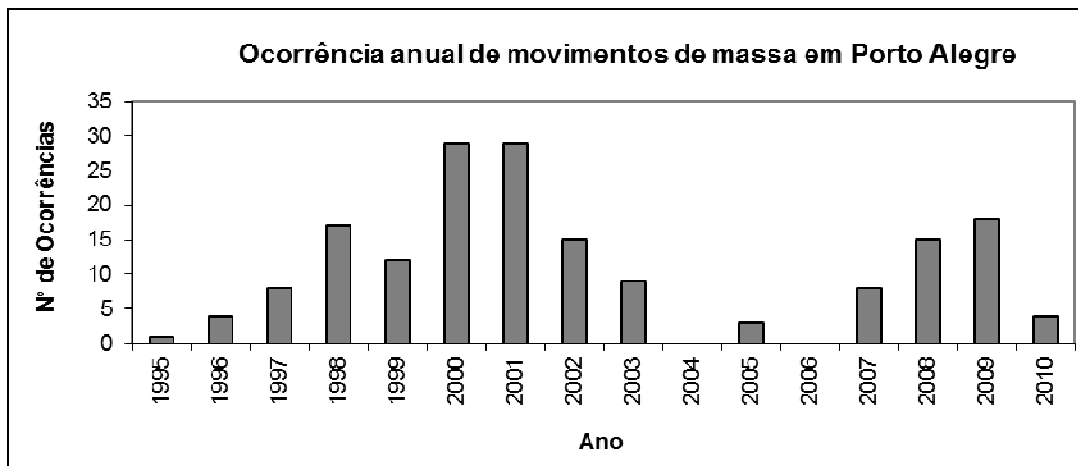


Figura 10: Distribuição anual das ocorrências de movimentos de massa em Porto Alegre.
Fonte: Relatórios de Vistoria da SMAM - Programa Áreas de Risco.

A maior parte dos acidentes causados pelos movimentos de massa está associada a danos causados às moradias pela queda de encostas, muros e aterros e pelo rolamento de blocos de rocha. Algumas moradias foram destruídas e houve vítimas fatais em decorrência destes eventos.

Na Figura 11 consta a localização dos locais com registro de ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre realizada a partir dos endereços. A partir da espacialização é possível observar que as ocorrências de movimentos de massa apresentam um prolongamento no sentido sudoeste-nordeste que corresponde a faixa de morro que ocorre na porção central do município de Porto Alegre.

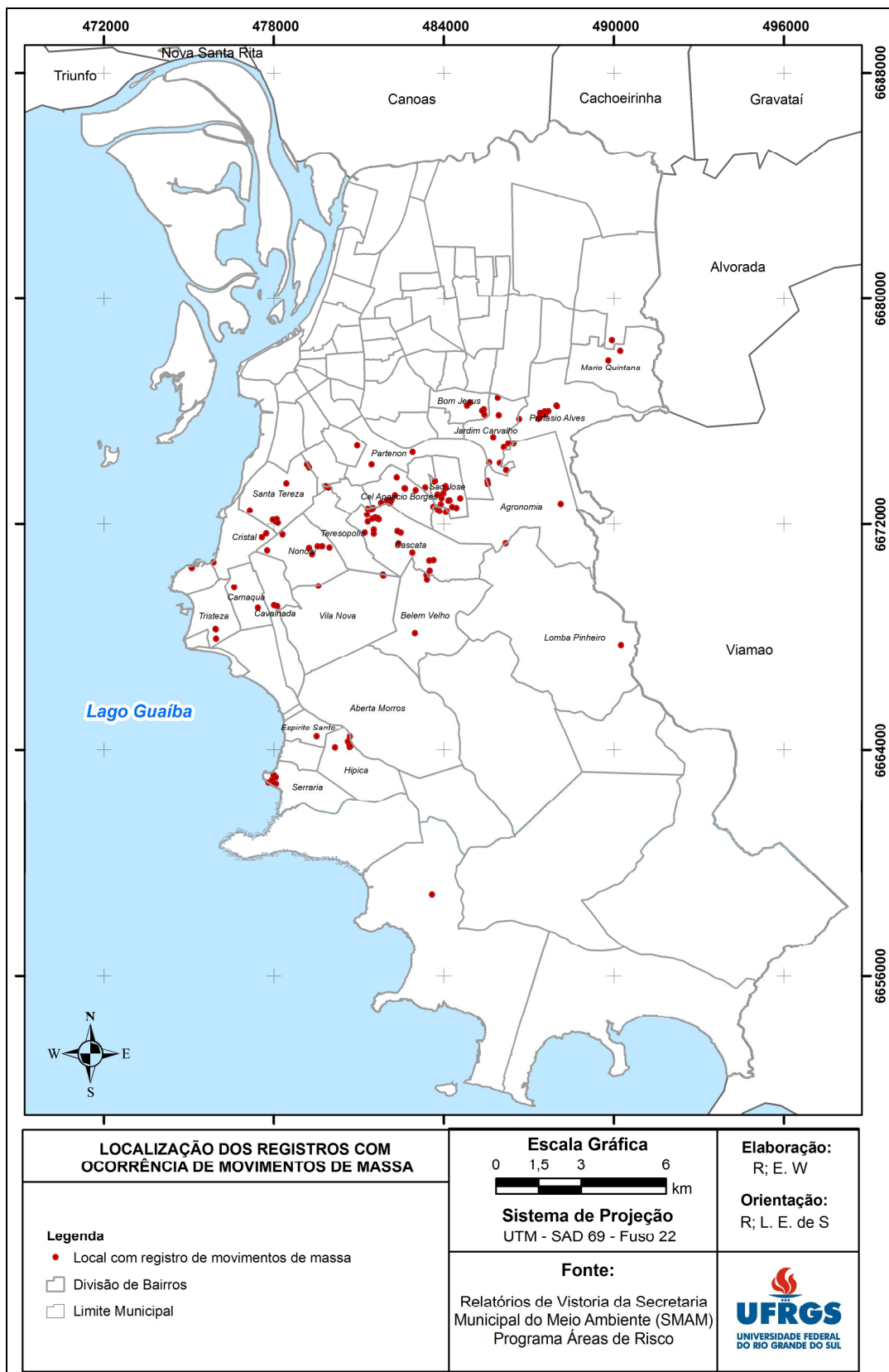


Figura 11: Registros de ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre - RS.

Na Figura 12 consta uma imagem do *Google Earth* em que pode-se observar o bairro Protásio Alves. Este bairro possui 14 ocorrências de movimentos de massa no período analisado. Na Figura 13 constam moradias em situação de perigo de ocorrência de movimentos de massa, localizadas na Vila Laranjeiras.

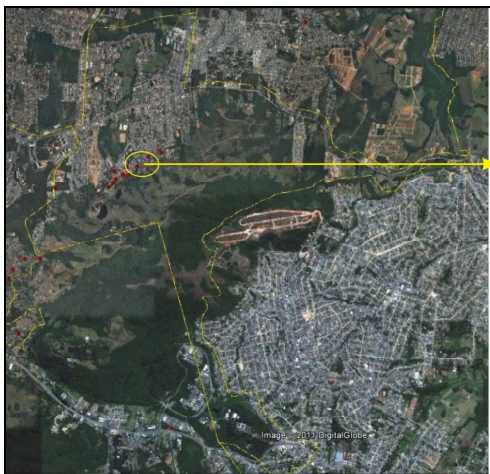


Figura 12: Destaque para o bairro Protásio Alves.

Fonte: Google Earth.



Figura 13: Blocos e matacões expostos na vila Laranjeiras, bairro Protásio Alves.

Fonte: Trabalho de Campo.

Na Figura 14 consta uma imagem do *Google Earth* em que pode-se observar o bairro Cascata que apresentou 24 registros de movimentos de massa no período analisado. Na Figura 15 está indicada uma área com perigo de ocorrência de movimentos de massa e na Figura 16 consta um registro de ocorrência de escorregamento neste bairro; pode-se observar que a moradia ficou suspensa após o escorregamento do material na encosta.



Figura 14: Destaque para área do bairro Cascata.

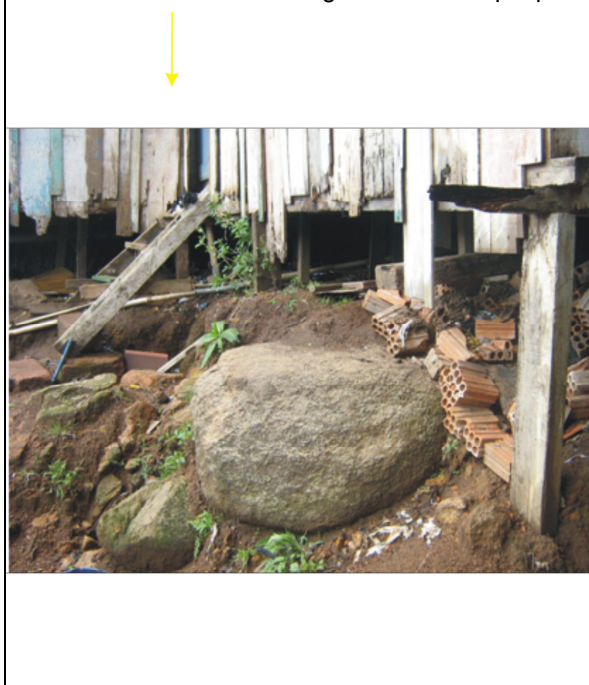


Figura 15: Moradia em situação de perigo de ocorrência de movimento de massa Bairro Cascata.

Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente Programa Áreas de Risco.



Figura 16: Escorregamento instabilizando a estrutura da moradia sobre a área de corte. Rua Dallas, bairro Cascata.

Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente- Programa Áreas de Risco.

Na Figura 17 consta uma imagem do *Google Earth* em que pode-se observar o bairro Nonoai onde houve 11 ocorrências. Os registros de movimentos de massa concentram-se na porção centro-leste do bairro. Na Figura 18 observa-se uma fotografia onde consta uma cicatriz de escorregamento.

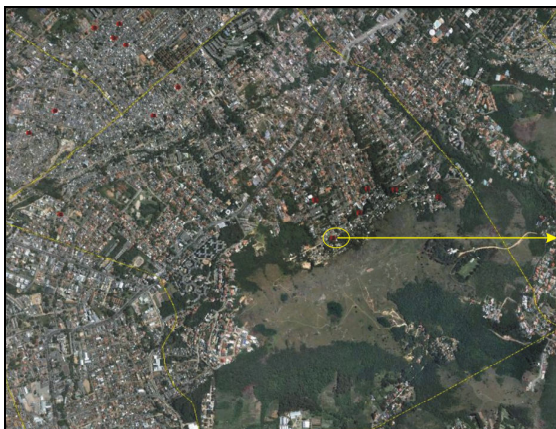


Figura 17: Destaque para área do bairro Nonoai.

Fonte: Google Earth.



Figura 18: Registro de escorregamento. Rua Erechim.

Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente - Programa Áreas de Risco.

Na Figura 19 consta uma imagem do *Google Earth* em que pode-se observar o bairro Belém Velho; na Figura 20 pode-se observar um registro de escorregamento em corte ocorrido neste bairro.

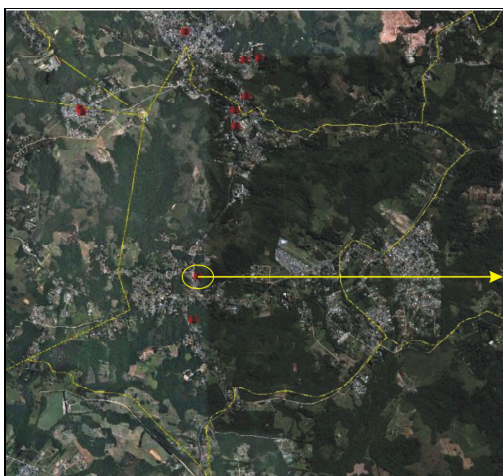


Figura 19: Destaque para área do bairro Belém Velho.

Fonte: Google Earth.



Figura 20: Registro de escorregamento. Rua Costa Gama 190.

Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente Programa Áreas de Risco.

4.2. Definição da Suscetibilidade à Movimentos de Massa

A seguir é apresentada a descrição e caracterização das variáveis associadas ao relevo e materiais superficiais (solos e geologia) para definir a áreas com suscetibilidade a movimentos de massa no município de Porto Alegre.

4.2.1. Hipsometria

As informações hipsométricas constituem uma visualização dos dados altimétricos do município em termos de faixas de altitudes, fundamental para a sistematização dos diferentes compartimentos topográficos que ocorrem. O estudo desta variável ambiental tem fundamental importância para a compreensão da dinâmica do relevo, uma vez que, auxilia na determinação dos processos de acumulação e dissecação.

A hipsometria do município é marcada pela presença de altitudes de 1 a 311 metros. As altitudes situadas entre 1 e 20 metros correspondem a áreas planas junto ao Lago Guaíba, localizado a oeste e sul do município, e junto à planície do rio Gravataí na porção norte, bem como em áreas próximas aos arroios. As altitudes situadas entre 20 e 80 metros correspondem a áreas onduladas localizadas nas porções centro-norte e centro-sul.

Já as altitudes entre 80 e 311 metros estão associadas a áreas mais íngremes localizadas principalmente na porção central e são representadas por feições de relevo associados a uma faixa de morros com prolongamento sudoeste-nordeste. Destacam-se os morros Santana (311 metros), Pelado (298 metros), Polícia (291 metros), São Pedro (289 metros), Pedra Redonda (282 metros), Glória (279 metros) e Teresópolis (262 metros).

Com relação à hipsometria, no gráfico da Figura 21, onde consta o número de ocorrências associadas com as altitudes, verifica-se maior frequência de movimentos de massa em áreas de até 180 metros, com destaque para a classe 80-120 m.

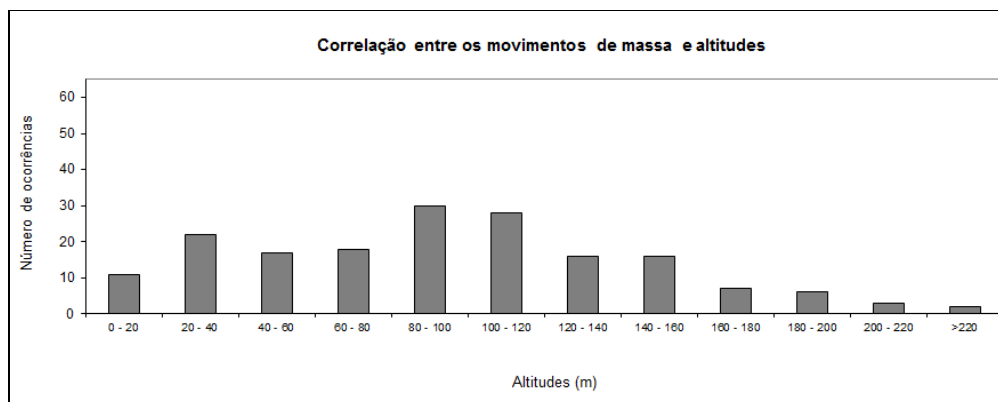


Figura 21: Ocorrências de movimentos de massa associados à altitude em Porto Alegre - RS.

Nas áreas com altitudes entre 80-120 m, em geral, o manto de intemperismo é espesso, o que favorece a ocorrência dos movimentos de massa. Outro fator relacionado à ocorrência de eventos nestas altitudes pode estar associado ao avanço da ocupação do solo nas encostas que ocorre, em geral, até a meia encosta. O mapa hipsométrico da Figura 22 apresenta a distribuição das altitudes do município de Porto Alegre.

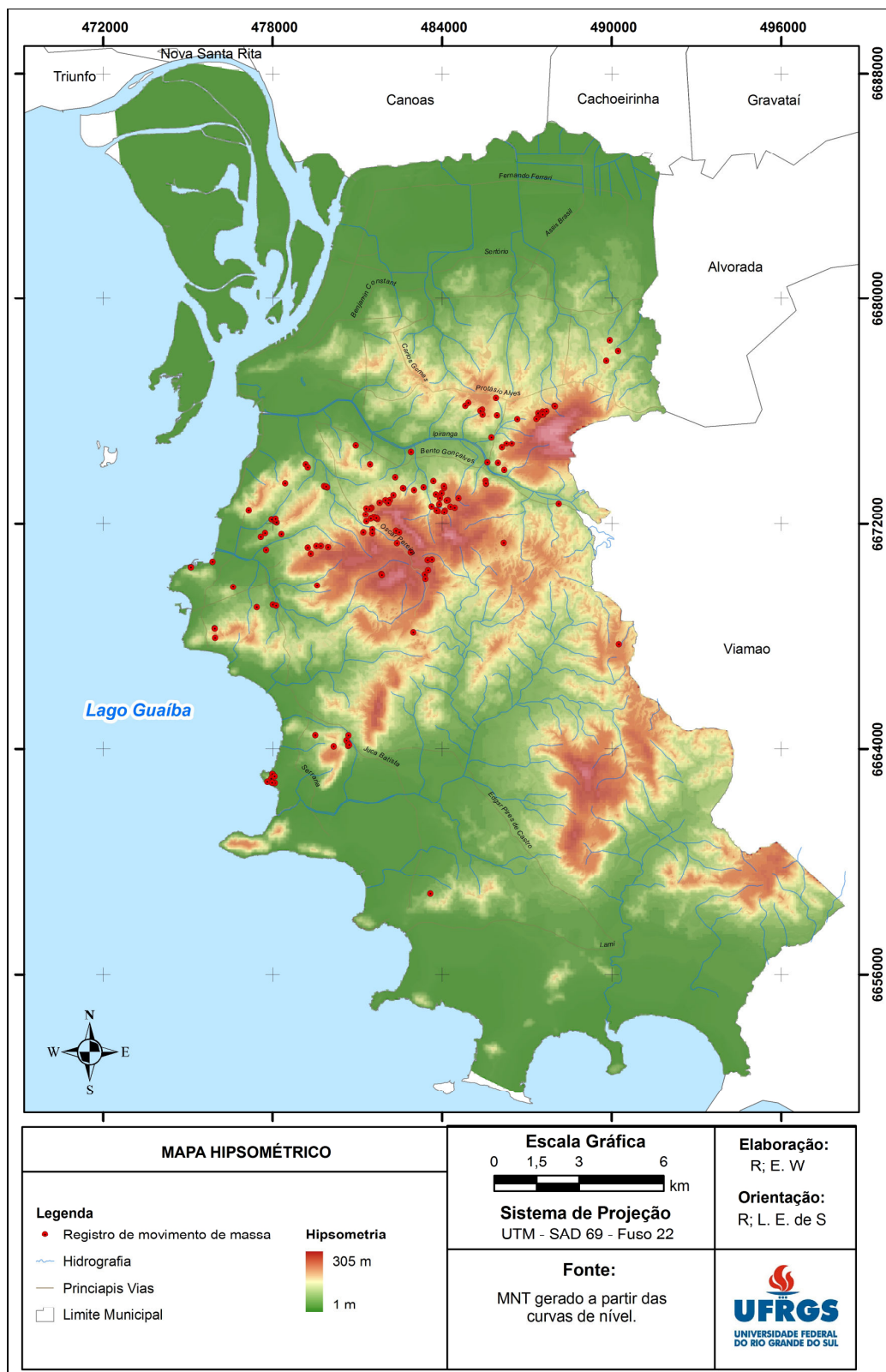


Figura 22: Mapa hipsométrico do município de Porto Alegre - RS.

4.2.2. Declividade

A declividade constitui um dos atributos mais importantes na análise do relevo para o estudo da dinâmica e dos processos de dissecação e deposição. A espacialização das declividades indica a ocorrência de relevo suave associado a planície, onde predominam declividades inferiores a 15%, enquanto que nas áreas de escudo, na porção central ocorrem declives superiores a esse limite.

As declividades mais representativas no município correspondem às inclinações inferiores a 2%, que correspondem a 45% da área. Estas áreas planas ocorrem junto à planície do rio Gravataí e do Lago Guaíba, ao norte e a oeste do município, respectivamente. As declividades superiores a 15% destacam-se na porção central e abrangem apenas 10% da área municipal. No gráfico da Figura 23 consta a área de abrangência das classes de declividade.

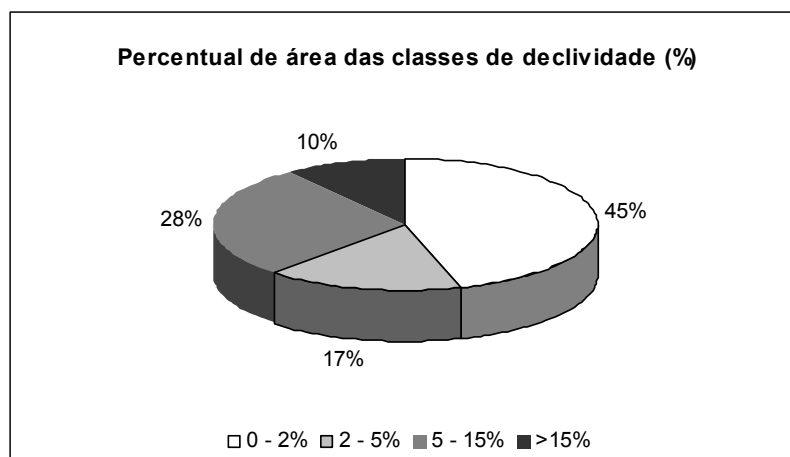


Figura 23: Área das classes de declividade do município de Porto Alegre - RS.

A classe de declividade que apresentou o maior número de registros de movimentos de massa, conforme indicado na Figura 24, corresponde a declives superiores a 15%. Esta faixa apresenta uma elevada probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, uma vez que, representa áreas com instabilidade de taludes que potencializam a atuação da força de gravidade sobre o manto de intemperismo, diminuindo a resistência ao cisalhamento.

Dos registros, aqueles que ocorrem em locais com declives inferiores ao limite de 15%, correspondem a escorregamentos associados a aterros e cortes. A maior

parte das ocorrências de movimentos de massa ocorre associada ao Padrão de morros definido por Moura e Dias (2009).

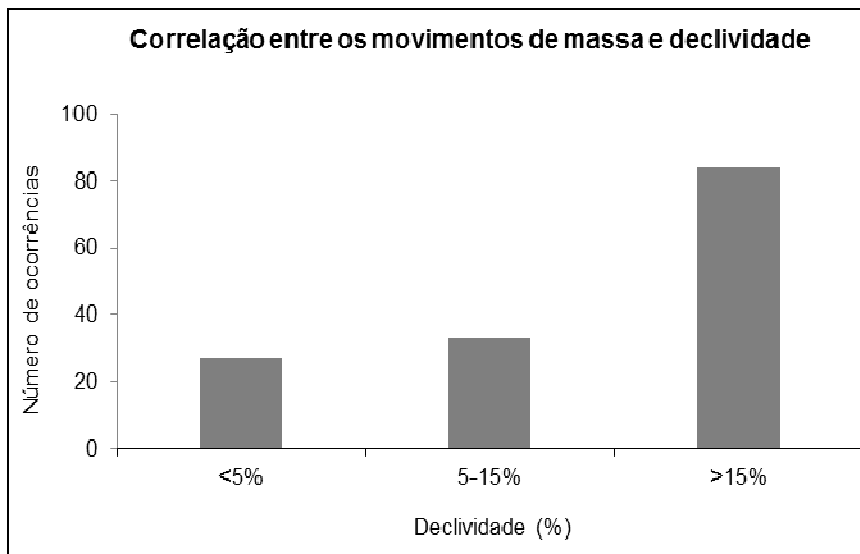


Figura 24: Ocorrências de movimentos de massa associados à declividade em Porto Alegre - RS.

As maiores declividades estão associadas aos morros de rochas graníticas alinhadas na direção sudoeste-nordeste. Nestas áreas as ocupações se estabelecem a partir da preparação de cortes e aterros nas encostas que provocam modificações na geometria das mesmas, o que modifica as condições de drenagem, reduzindo a resistência dos materiais e conferindo maior instabilidade. A Figura 25 apresenta o mapa de declividades do município de Porto Alegre.

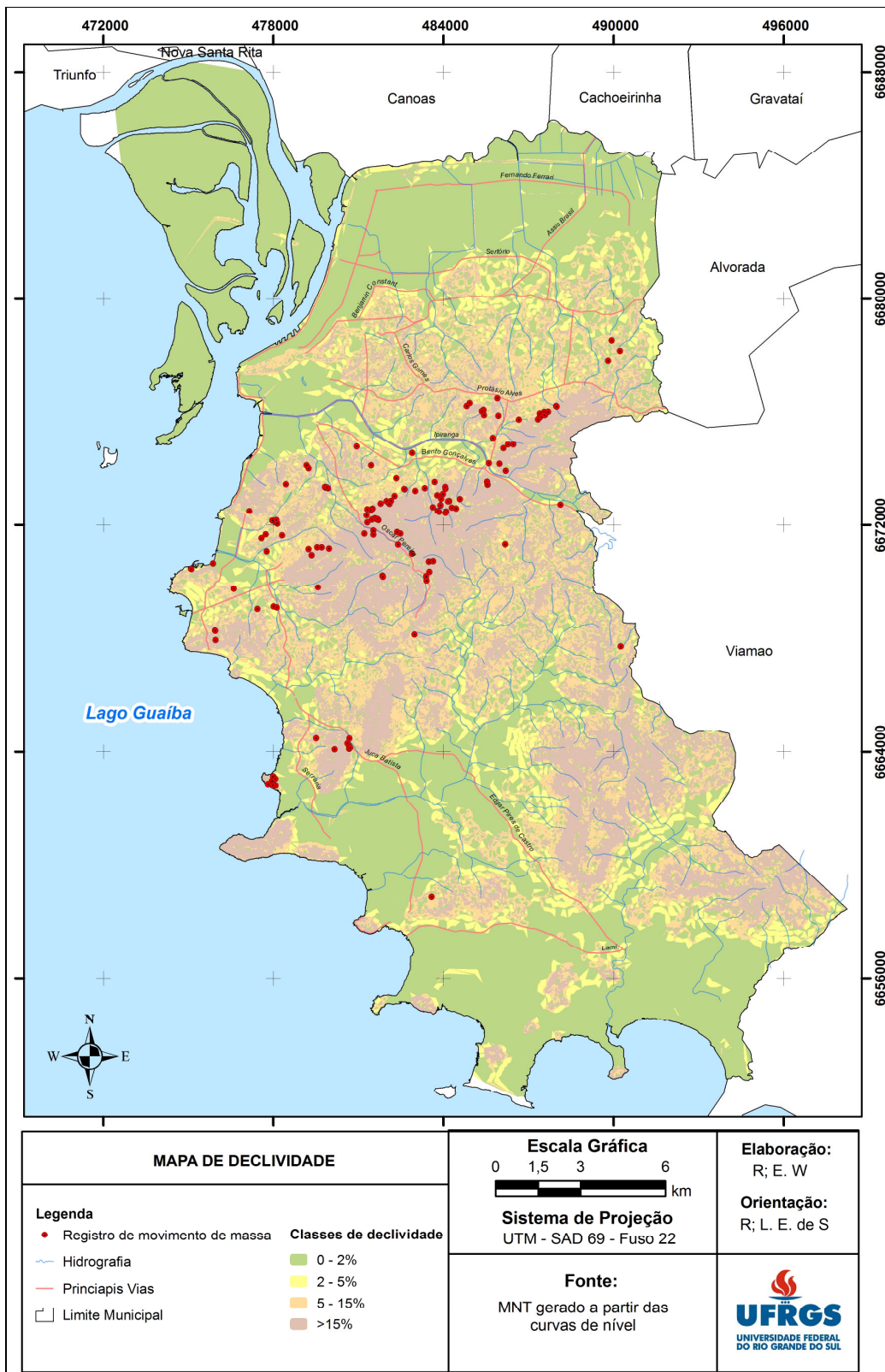


Figura 25: Mapa de declividade do município de Porto Alegre - RS.

4.2.3. Geologia

Com relação às unidades geológicas do município, nas porções norte, oeste e sul de Porto Alegre a litologia é constituída predominantemente por Aterro e Terraços e Cordões Arenosos; próximo às drenagens dos principais cursos d'água ocorrem Depósitos aluviais. Na porção central do município e em locais isolados, na porção oeste, a litologia é constituída predominantemente por rochas graníticas: destaca-se o Granito Santana e Granito Ponta Grossa na porção central; o Granito Viamão e Granito Canta Galo na porção sudeste; o Granito Independência e Gnaisses Porto Alegre ocorrem, de forma isolada na porção centro-norte.

Com relação aos dados do histórico, a maior parte das ocorrências de movimentos de massa está associada à locais em que ocorre Granito Santana e Granito Ponta Grossa. No compartimento geológico Granito Santana foram registradas 84 ocorrências e o complexo Granito Ponta Grossa totalizou 42 registros (Figura 26).

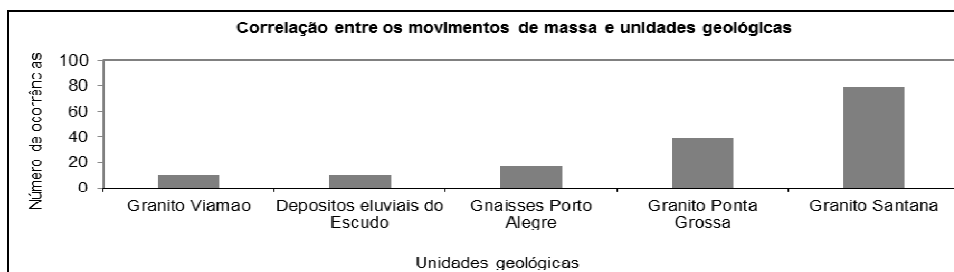


Figura 26: Ocorrência de movimentos de massa nas unidades geológicas de Porto Alegre - RS.

A predominância de movimentos de massa nos corpos graníticos está associada, em geral, à ocorrência de material intemperizado, constituído por solo, blocos e matacões. As bordas dos corpos graníticos, por estarem expostas a maior ação de esforços tectônicos são mais fraturadas, o que permite a ação direta dos processos de intemperismo, desagregando blocos de rocha e solo e, dessa forma, gerando variadas espessuras do manto de alteração que favorecem a ocorrência dos movimentos de massa.

Destaca-se que alguns registros estão associados a ocupação de áreas de pedreiras desativadas. Nestas áreas os eventos estão associados à exposição direta de rocha em vertentes verticais. Além disso, a ocorrência de áreas de rejeito, assim como o próprio comportamento do terreno são indutores de acidentes. O mapa geológico do município é apresentado na Figura 27.

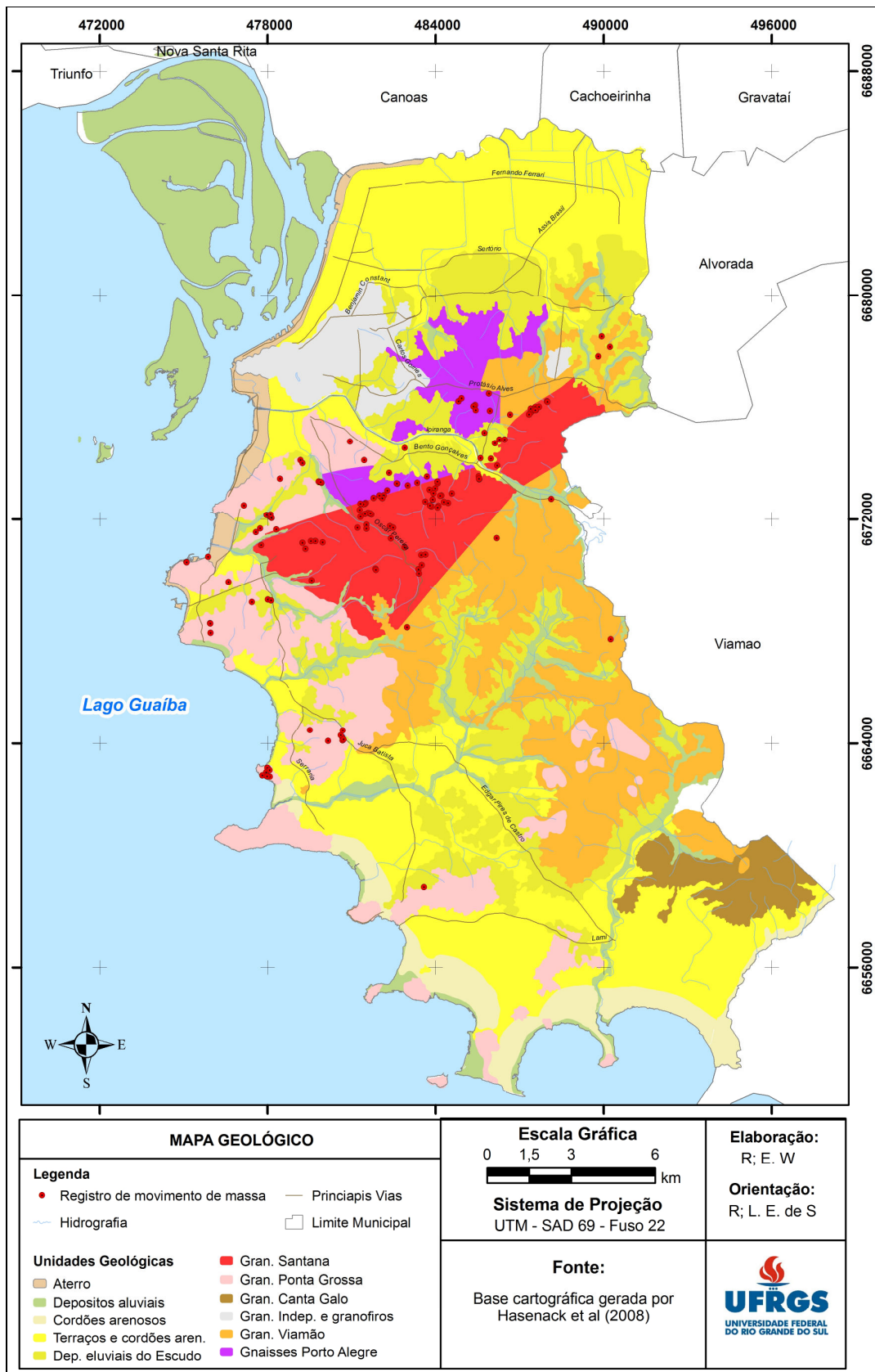


Figura 27: Mapa geológico do município de Porto Alegre - RS.

4.2.4. Solos

Com relação aos solos, na porção norte e leste do município de Porto Alegre ocorrem Associação de Gleissolos e Neossolos Flúvicos (G1) e Associação de Gleissolos, Planossolos e Tipos de Terreno (G2); na porção central são predominantes Associação de cambissolos háplicos com neossolos litólicos ou neossolos regolíticos (CX) e Associação de argissolos vermelhos ou argissolos vermelho-amarelos com cambissolos háplico (PV2), assim como Grupo indiferenciado de argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos (PV1); nas porções centro-norte e centro-sul ocorre Associação de Planossolos Hidromórficos, Gleissolos Háplicos e Plintossolos Argilúvicos (SG1); já na porção sul destaca-se a Associação de Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos (RQ). Os movimentos de massa ocorrem principalmente em associações de solos do tipo cambissolos (CX) e argissolos (PV1 e PV2), conforme mostra o gráfico da Figura 28.

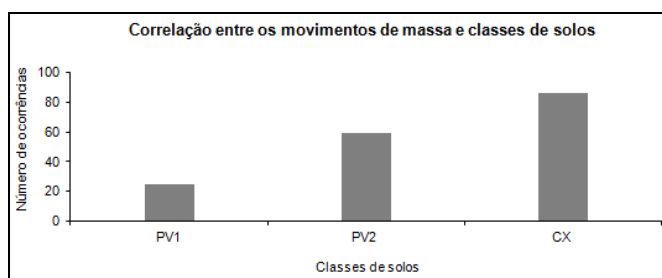


Figura 28: Ocorrências de movimentos de massa nas unidades de mapeamento de solos em Porto Alegre - RS.

Os cambissolos constituem solos rasos e com grande incidência de afloramentos rochosos, e matações que se desenvolvem nas altas e médias vertentes dos morros. Os blocos e matações rochosos expostos ou imersos no solo podem gerar movimentos de massa associados a tombamento, rolamento e queda de rocha. Nas porções marginais dos corpos graníticos ocorrem solos melhor desenvolvidos e registros de movimentos de massa, tipo escorregamentos.

Solos mais profundos, como os argissolos, são encontrados, predominantemente, associados aos segmentos côncavos dos morros, onde ocorre maior acúmulo de água e conseqüentemente maior processo de intemperização da rocha. Dessa forma, nestes locais ocorrem preferencialmente escorregamentos associados à espessa camada de solo. Na Figura 29 está representado o mapa de solos do município de Porto Alegre.

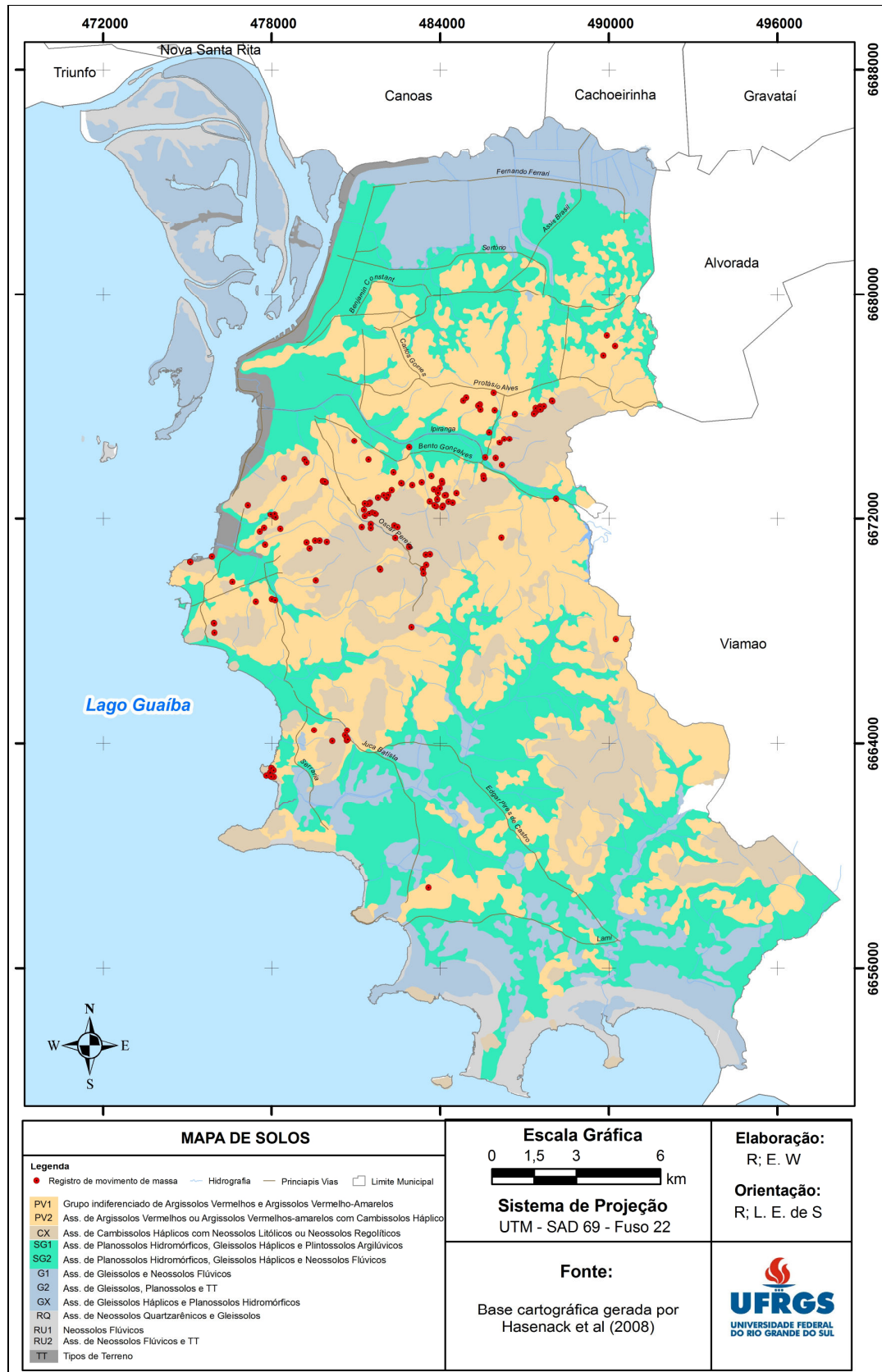


Figura 29: Mapa de solos do município de Porto Alegre - RS.

4.2.5. Definição das Áreas Suscetíveis

A definição da hipsometria e declividade, associada à distribuição das ocorrências de movimentos de massa e as correlações com os materiais superficiais, permitiram a definição de padrões de comportamento de instabilidade, o que possibilitou a identificação de áreas suscetíveis aos movimentos de massa. De forma geral, nos locais suscetíveis as declividades predominantes são superiores a 15% e as amplitudes superiores a 100 metros.

A geologia que ocorre associada às áreas suscetíveis é constituída predominantemente por rochas graníticas. Destaca-se o Granito Santana que predomina nas áreas suscetíveis da porção central; o Granito Viamão e Granito Cantagalo que são predominantes nas áreas suscetíveis situadas na porção sul; e o Granito Ponta Grossa que se destaca nos locais suscetíveis da porção oeste. A Unidade de Gnaisses Porto Alegre predomina nas áreas suscetíveis da porção norte, junto ao morro Alto Petrópolis. Na Figura 30 está representada a abrangência das unidades geológicas nas áreas suscetíveis.

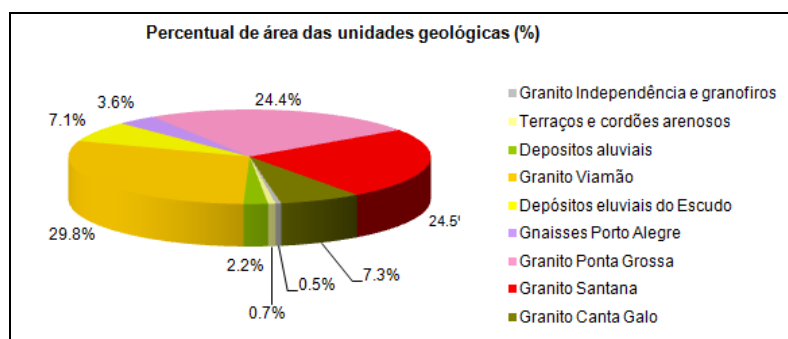


Figura 30: Área das unidades geológicas nos locais com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre.

Os solos que ocorrem associados às áreas suscetíveis na porção central do município são constituídos predominantemente por Associação de cambissolos háplicos com neossolos litólicos ou neossolos regolíticos (CX) e Associação de argissolos vermelhos ou argissolos vermelho-amarelos com cambissolos háplico (PV2). O Grupo indiferenciado de argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos ocorre principalmente nas áreas suscetíveis da porção norte (PV1). Em locais isolados, nas áreas com suscetibilidade, ocorre Associação de planossolos

hidromórfico, gleissolos haplicos e plintossolos argilúvicos (SG1). Na Figura 31 está representada a abrangência das classes de solos das áreas suscetíveis.

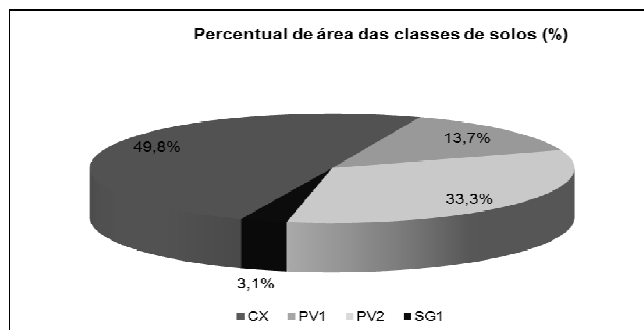


Figura 31: Área das classes de solos nos locais com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre.

As áreas definidas com suscetibilidade abrangem 21% da área total do município. Na Figura 32 está representada a abrangência das áreas suscetíveis com relação ao município de Porto Alegre.



Figura 32: Abrangência das áreas suscetíveis a movimentos de massa em Porto Alegre - RS.

A espacialização das áreas com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa está indicada no mapa da Figura 33. Pode-se verificar que as áreas definidas como suscetíveis estão localizadas na porção central e sul do município. Destaca-se, a elevada ocorrência de registros de movimentos de massa nas áreas suscetíveis na porção central (junto aos morros da Polícia e Santa Tereza), na porção sudoeste (junto as encostas do morro das Abertas e Serraria) e na porção leste (junto às encostas do morro Santana e Alto Petrópolis).

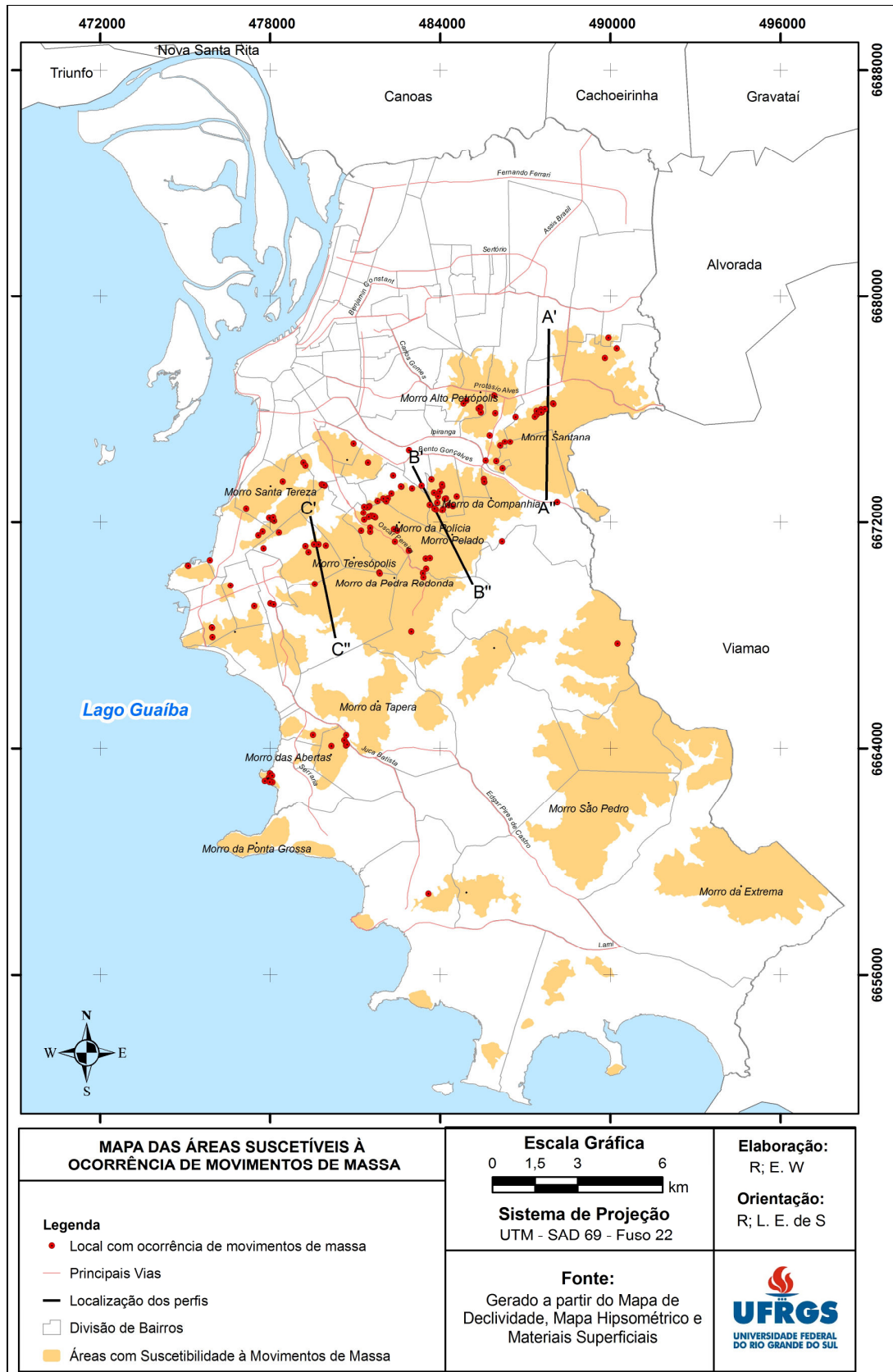


Figura 33: Mapa das áreas suscetíveis à movimentos de massa no município de Porto Alegre - RS.

Na Figura 34 consta um perfil topográfico que representa formas de relevo que ocorrem nas áreas suscetíveis, no Morro Santana situado no bairro Protásio Alves. De forma geral, pode-se observar a transição do relevo, de áreas planas, para áreas íngremes que constituem os locais de suscetibilidade à ocorrência dos movimentos de massa.

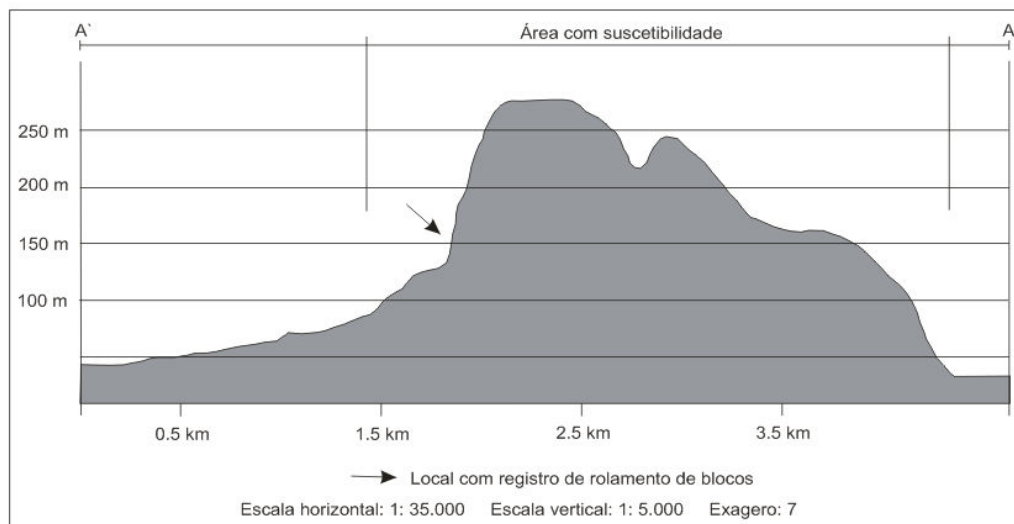


Figura 34: Perfil topográfico do morro Santana, na porção nordeste de Porto Alegre - RS.

No perfil da Figura 35 destaca-se a conformação de uma encosta no morro da Polícia, na porção central do município. Pode-se observar que os eventos ocorrem em geral na média encosta onde o manto de intemperismo é mais espesso.

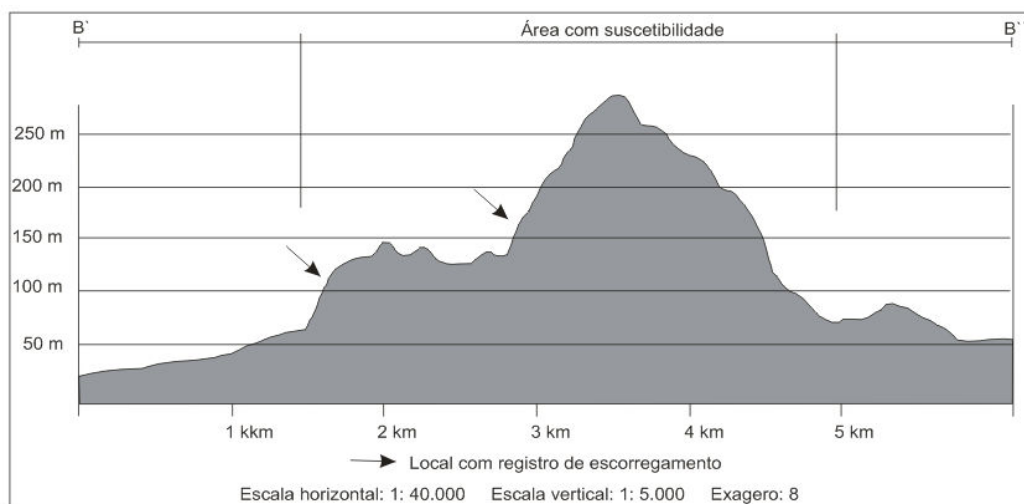
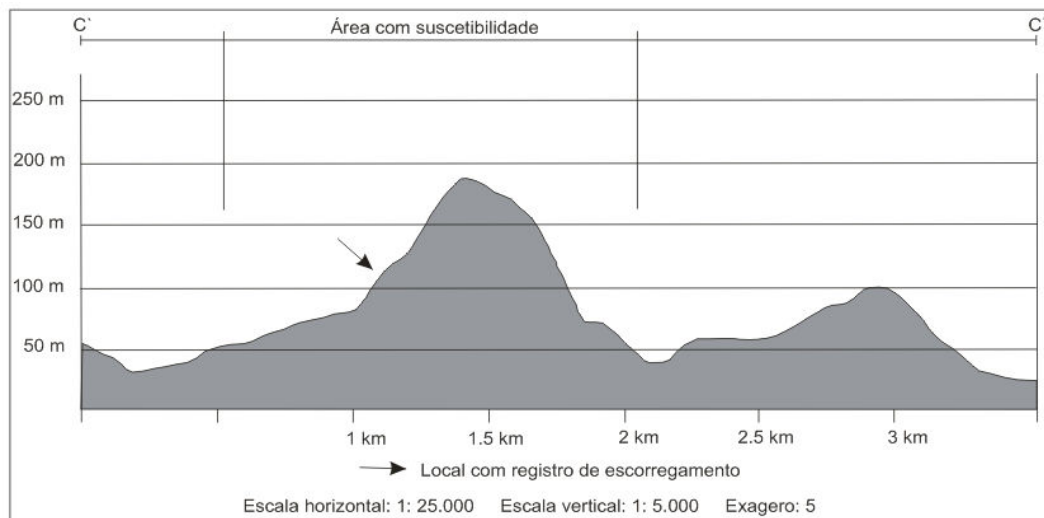


Figura 35: Perfil topográfico do morro da Polícia, na porção central de Porto Alegre - RS.

No perfil da Figura 36 está representada encosta do morro Teresópolis que constitui área suscetível à ocorrência de movimentos de massa. A ocorrência de registros está associada à meia encosta em elevada declividade.



Com relação à suscetibilidade, os bairros Cascata, Protásio Alves, Santa Tereza, São José, Vila Conceição e Vila Jardim possuem mais de 75% da área total definida com suscetibilidade. Já os bairros Belém Novo, Serraria e Vila João Pessoa possuem menos de 10% da área total definida como suscetíveis.

Com relação aos registros de ocorrências, o bairro Cascata que teve 24 ocorrências de movimentos de massa no período analisado possui 94% da área definida com suscetibilidade; o bairro São José que teve 16 registros de movimentos de massa possui 89% da área definida com suscetibilidade; o bairro Coronel Aparício Borges que registrou 12 ocorrências possui 57% da área definida com suscetibilidade; o Protásio Alves que teve 14 registros possui 72% da área com suscetibilidade; e o bairro Santa Tereza que teve 9 registros possui 80% da área com suscetibilidade.

O percentual da área de abrangência dos bairros definidos com suscetibilidade de ocorrência de movimentos de massa está indicado na Figura 37.

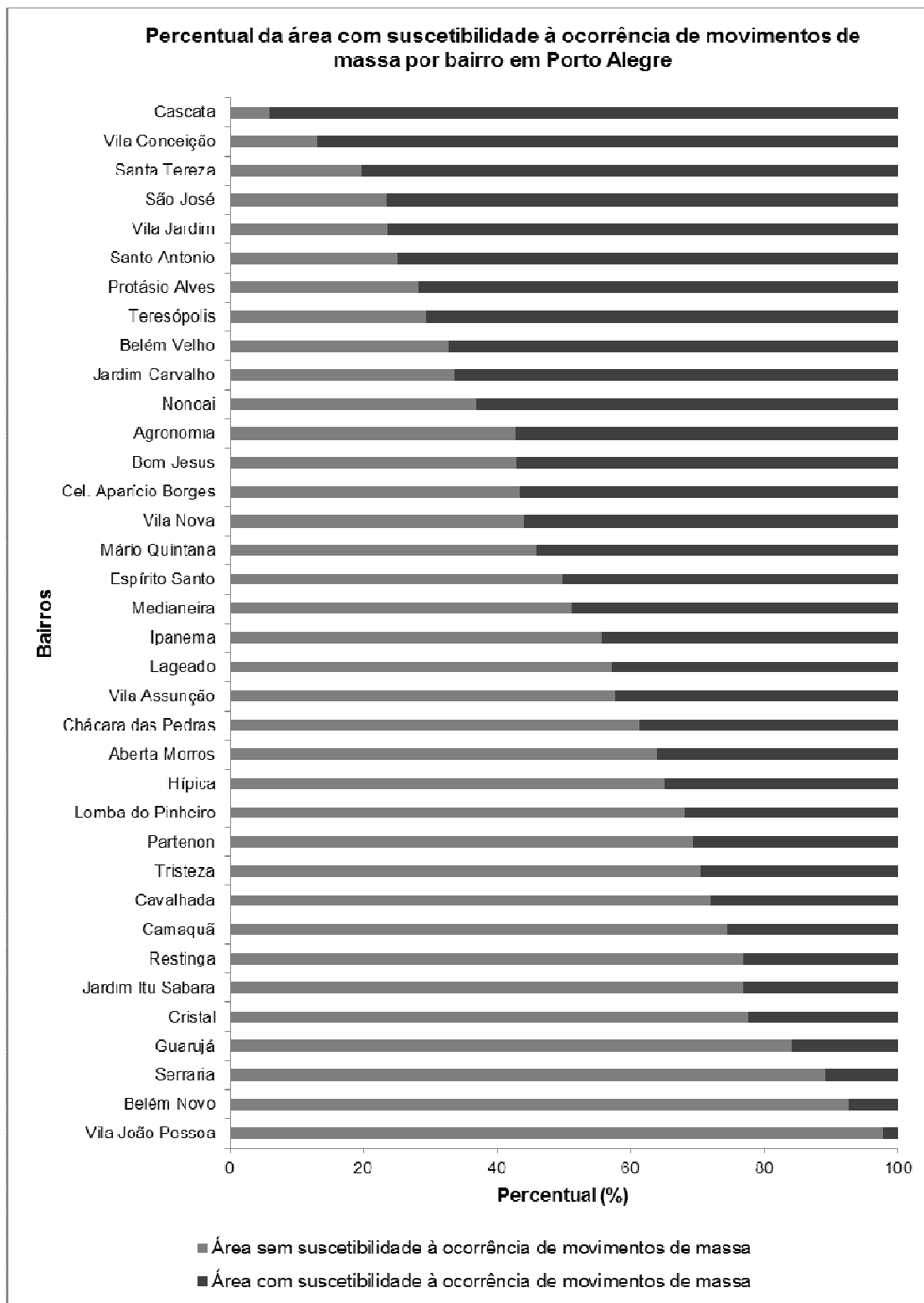


Figura 37: Percentual das áreas dos bairros com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre - RS

4.3. Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A partir da definição do uso do solo e cobertura vegetal do município foi possível individualizar os locais com ocupação urbana que, juntamente com as áreas com suscetibilidade, definiram as áreas com perigo de ocorrência de movimentos de massa. No gráfico da Figura 38 estão representadas as áreas das classes de uso do solo em locais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa.

O mapa do uso do solo e cobertura vegetal está representado na Figura 39. Pode-se observar que nas áreas com suscetibilidade a movimentos de massa situadas na porção norte e oeste predominam o uso residencial e comercial, industrial e de serviços; já nas áreas suscetíveis da porção centro-sul do município destaca-se o uso constituído por vegetação arbórea e herbácea.

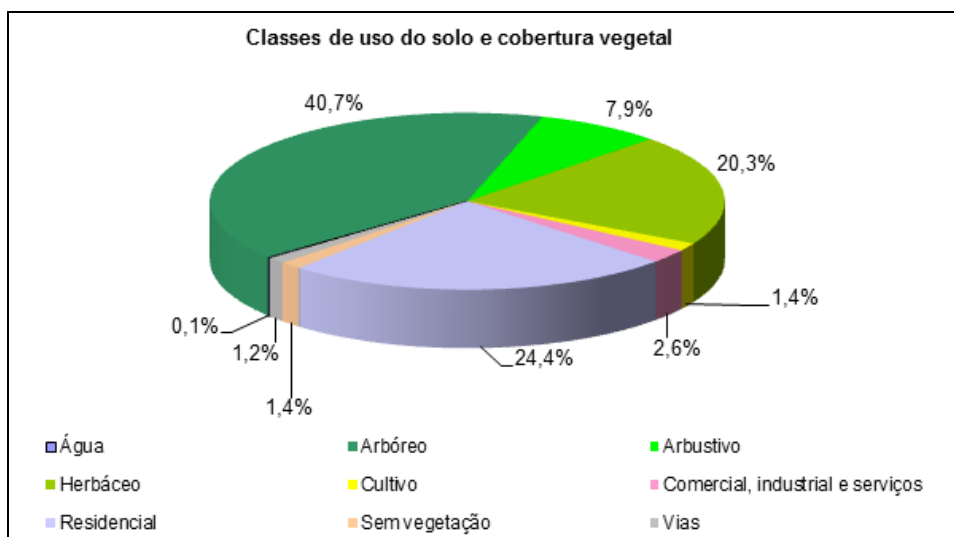


Figura 38: Área das classes de uso do solo nos locais com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre - RS.

Com relação aos registros do histórico, nas áreas com suscetibilidade, em locais em que houve ocorrências de movimentos de massa, o uso do solo é predominantemente residencial.

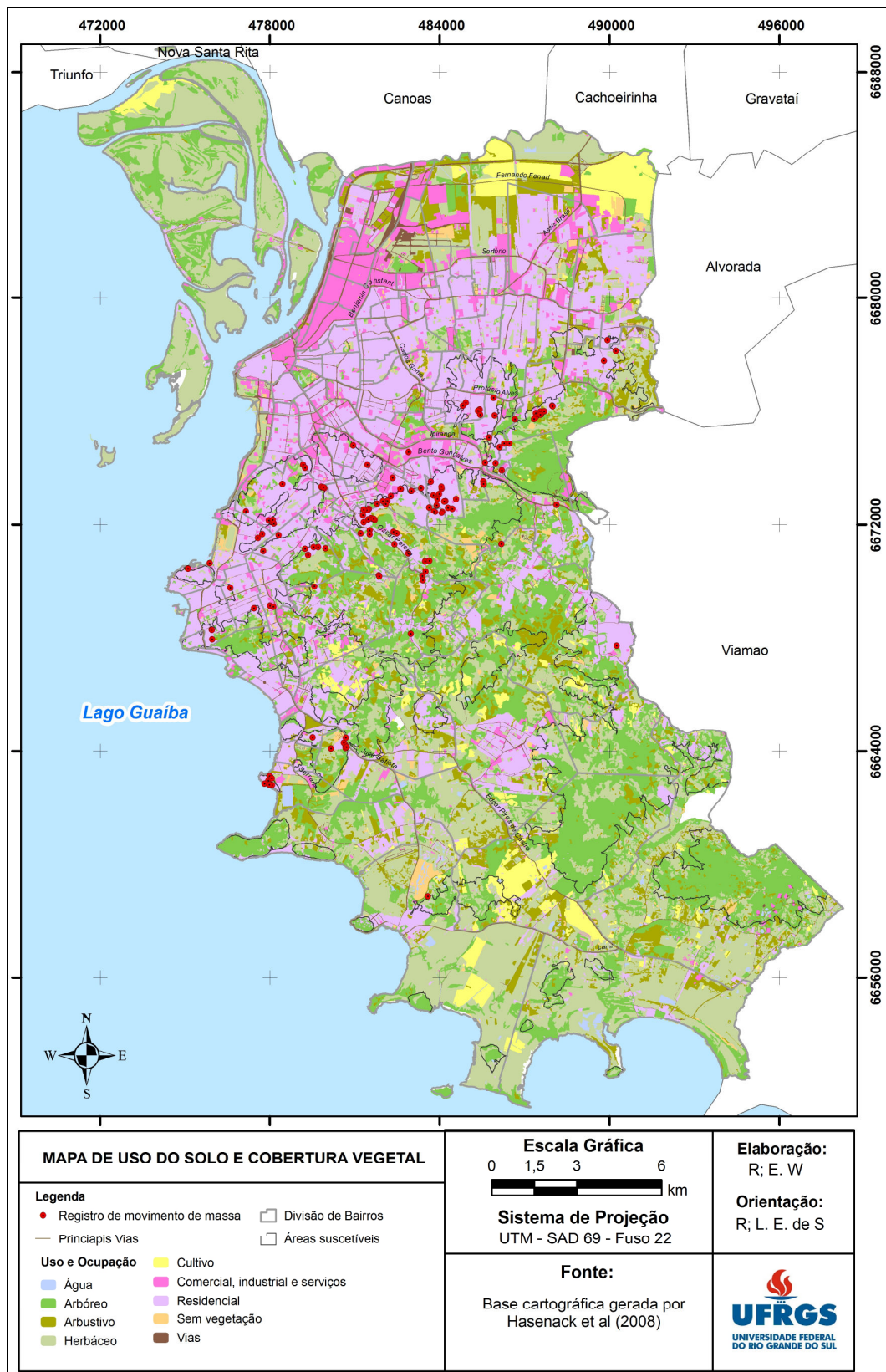


Figura 39: Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do município de Porto Alegre - RS.

4.4. Identificação das Áreas com Perigo

A partir da definição das áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa e do uso do solo, foi gerado o mapeamento do perigo de movimentos de massa do município de Porto Alegre. As áreas com perigo correspondem a 22% das áreas definidas como suscetíveis, conforme indicado no gráfico da Figura 40.



Figura 40: Percentual da área com perigo de ocorrência de movimentos de massa em relação às áreas com suscetibilidade no município de Porto Alegre - RS.

O mapa com a espacialização das áreas de perigo está representado na Figura 41. Observa-se a predominância de áreas com perigo na porção central do município onde estão localizados os bairros Cascata, São José, Coronel Aparício Borges, Protásio Alves, Santa Tereza, Nonoai e Partenon. Na porção sul, as áreas com ocupação urbana são reduzidas, conseqüentemente as áreas definidas com perigo de ocorrência de movimentos de massa também são reduzidas.

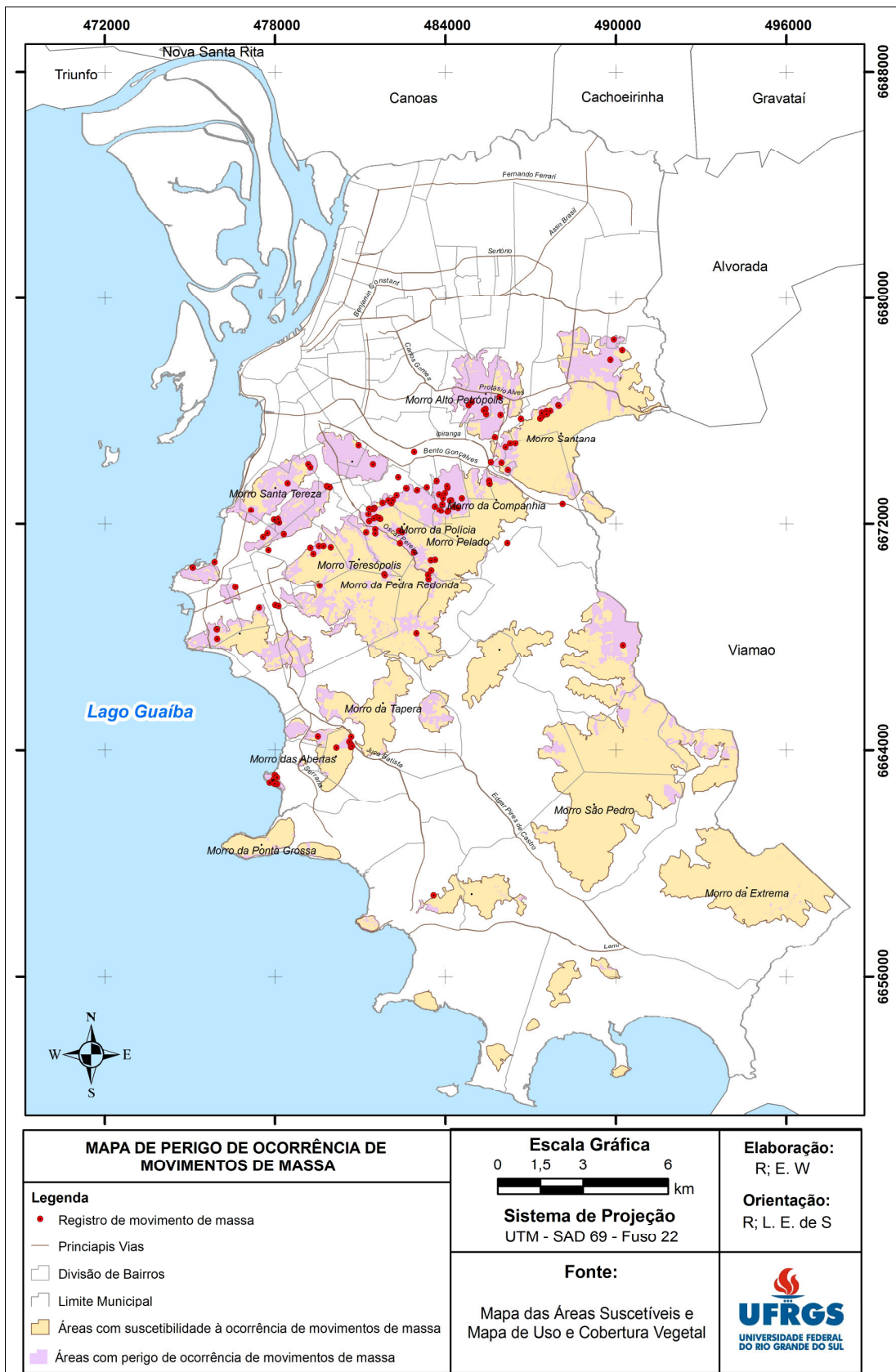


Figura 41: Mapa das áreas de perigo de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre - RS.

Com relação ao perigo, os bairros Vila Conceição, Santo Antônio, São José, Vila Jardim e Santa Tereza possuem mais de 50% da área total definida com perigo. Já os bairros Belém Novo, Cavahada, Guarujá, Hípica, Lageado, Restinga e Vila João Pessoa possuem menos de 5% da área total definida com perigo. Nestes bairros, a menor incidência de perigo está associada ao uso e ocupação do solo, constituído predominantemente por vegetação arbórea e herbácea.

Com relação aos registros de ocorrências, o bairro Cascata que teve 24 ocorrências de movimentos de massa no período analisado possui 26% da área definida com perigo; o bairro São José que teve 16 registros de movimentos de massa possui 72% da área definida com perigo; o bairro Coronel Aparício Borges que registrou 12 ocorrências possui 41% da área definida com perigo; o Protásio Alves que teve 14 registros possui 13% da área com perigo; e o bairro Santa Tereza que teve 9 registros possui 60% da área total com perigo.

Os bairros Cascata e Protásio Alves, apesar de serem suscetíveis e possuírem elevado número de registros de movimentos de massa, possuem baixa proporção de área com perigo em função de possuírem áreas preservadas. Nestes locais, os registros ocorrem de forma concentrada junto às áreas ocupadas.

O percentual da área de abrangência dos bairros definidos com perigo de ocorrência de movimentos de massa está indicado na Figura 42.

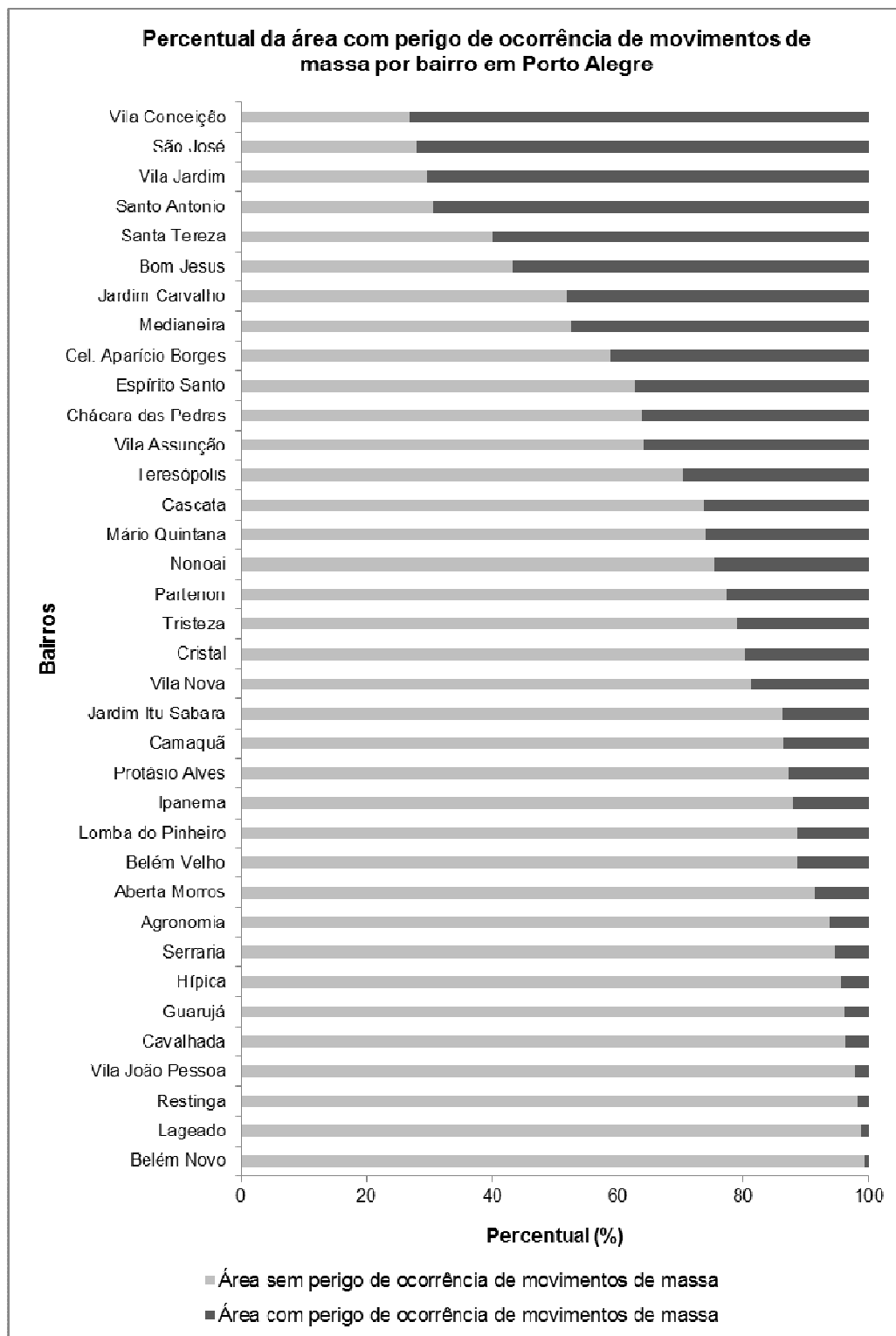


Figura 42: Percentual das áreas dos bairros com perigo de ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre - RS.

Na Figura 43 está representado um perfil e ilustrações que sintetizam os principais aspectos associados aos movimentos de massa que ocorrem em Porto Alegre. A indicação 1 representa as áreas de topo dos morros ocupadas; a indicação 2 ilustra a expansão desordenada da ocupação nas encostas; a indicação 3 e 4 representam a ocupação em áreas muito próximas às encostas, muitas vezes, em paredões verticais; a indicação 5 e 6 ilustram a ocupação a partir da realização de cortes no terreno que modificam a forma das encostas; e a indicação 7 representa áreas de topo ainda sem ocupação, no entanto, as modificações ocorridas nas vertentes podem desencadear movimentos de massa.

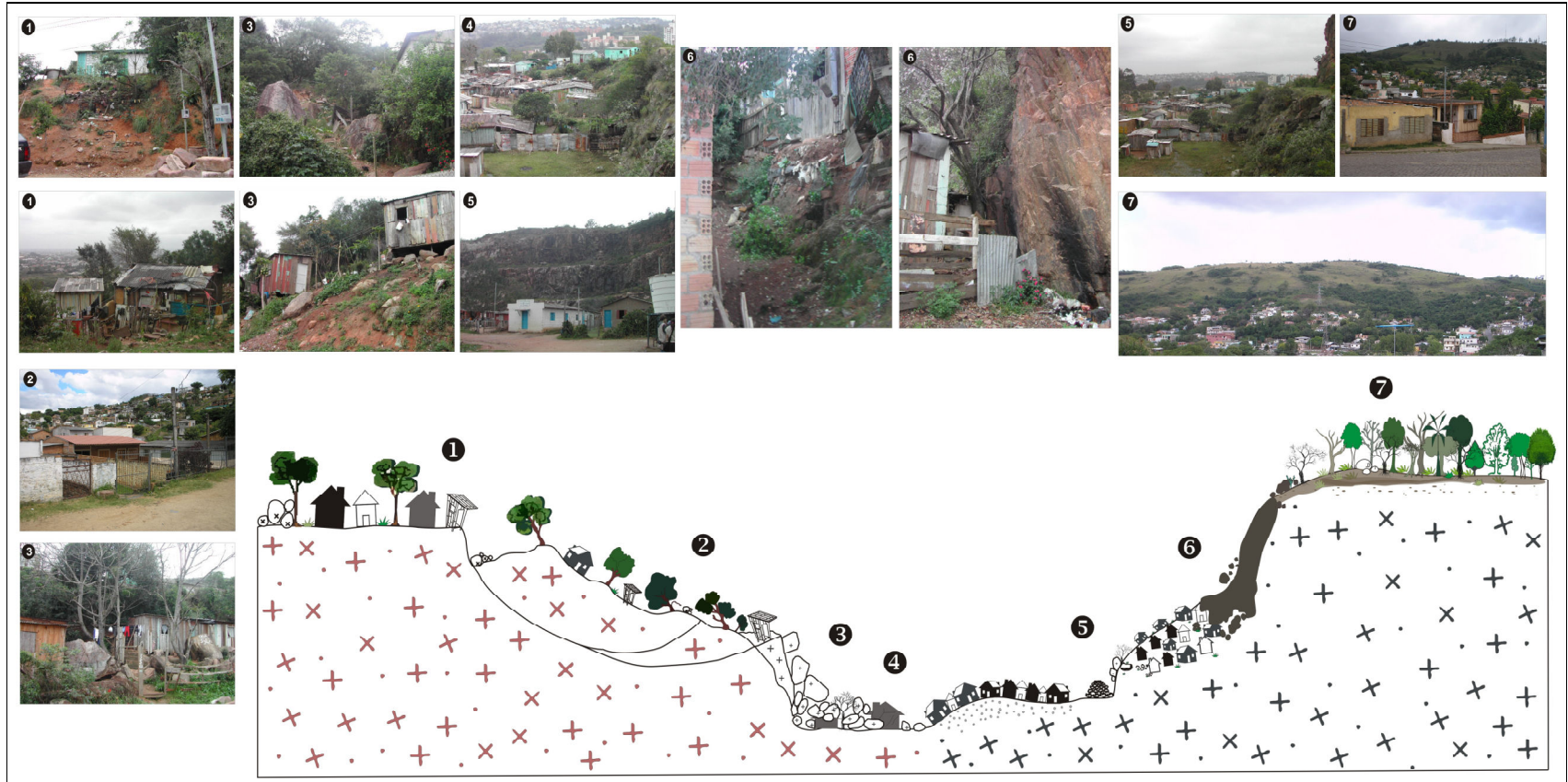


Figura 43: Esquema ilustrativo dos movimentos de massa que ocorrem em Porto Alegre - RS.

5. CONCLUSÕES

A expansão urbana de Porto Alegre levou a população a ocupar as encostas dos morros, desencadeando o surgimento de várias áreas com perigo de movimentos de massa no município.

A ocupação que ocorre de forma desordenada se dá a partir de cortes e aterros irregulares, formando patamares. Estes, executados sem técnicas de contenção adequadas, em áreas com elevadas inclinações e altura, somado a falta de obras de micro drenagem, infiltração de águas servidas e ao tipo de rocha e solo desencadeiam os movimentos de massa.

A partir da análise dos registros do histórico, verifica-se que os movimentos de massa são predominantes nos bairros Cascata, São José, Protásio Alves e Coronel Aparício Borges. A maior parte dos acidentes causados pelos movimentos de massa estão associados a danos nas moradias pela queda de encostas, muros e aterros e pelo rolamento de blocos de rocha. Os tipos de movimentos de massa que ocorrem podem ser de blocos e matacões rochosos e de solos.

A partir da espacialização das áreas com suscetibilidade verifica-se que as áreas definidas como suscetíveis estão localizadas na porção central e sul do município junto aos morros da Polícia, Santa Tereza, das Abertas, Serraria, Santana e Alto Petrópolis. Os bairros Cascata, Protásio Alves, Santa Tereza, São José, Vila Conceição e Vila Jardim possuem mais de 75% da área total definida com suscetibilidade. Nos bairros com predomínio de suscetibilidade recomenda-se regulamentação do uso do solo, a fim de se evitar o estabelecimento de novas áreas de perigo.

Nas áreas suscetíveis as declividades são superiores a 15% e as amplitudes superiores a 100 metros; a litologia é constituída predominantemente por rochas graníticas e os solos são do tipo cambissolos e argissolos. Essas características representam os principais condicionantes que determinam a suscetibilidade a movimentos de massa no município de Porto Alegre.

Com relação às áreas de perigo, há predominância de áreas com perigo na porção central do município; nos morros da porção sul, as áreas com ocupação urbana apresentam baixa densidade, conseqüentemente as áreas definidas com perigo de ocorrência de movimentos de massa também são reduzidas.

O mapeamento das áreas suscetíveis e de perigo configura-se como uma importante ferramenta para o planejamento urbano e ambiental, sendo de fundamental importância na escolha de áreas adequadas para a expansão urbana.

Além disso, o mapeamento das áreas com suscetibilidade e de perigo realizados nesta pesquisa é procedimento essencial para, associado com a vulnerabilidade da população, determinar as áreas de risco de movimentos de massa. Dessa forma, esta pesquisa contribui para o desenvolvimento de futuros estudos sobre movimentos de massa, principalmente para trabalhos ligados a prevenção, mitigação e gerenciamento de desastres naturais.

6. REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **GEOMORPHOLOGY**, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002.

ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. A. A.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S. M. G. & AMORIM Jr., W. M. 2003. **Como gerenciar riscos nos morros**. Parte "E" do manuscrito: Morros - manual de ocupação. Prefeitura Municipal de Recife, Recife - PE.

ALMEIDA, F. M. de; RIBEIRO, A. C. O. A Terra em Transformação. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (org). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE-CNPq-FAPESP, 1998.

AMARAL, R. do; GUTJAHR, M. R. **Desastres Naturais**. São Paulo: IG/SMA, 2011.

ARAÚJO, H. M. de; VILAR, J. W. C. Encostas no Ambiente Urbano de Aracaju/SE. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA E I ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 2004, Santa Maria: **Anais...** Santa Maria: União de Geomorfologia Brasileira, 2004. CD ROM.

AUGUSTO FILHO, O. Carta de escorregamento quantificada em ambiente de SIG como subsídio para implantação de seguros em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba. **Tese de Doutorado**. Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2001.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em Encostas Naturais e Ocupadas. In: BITAR, O. Y. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: ABGE/IPT, 1995.

AUGUSTO FILHO, O. Cartas de Risco de Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP. 1994. **Dissertação**. Mestrado em Engenharia de Solos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. **Anais**. Rio de Janeiro. 1992.

AUGUSTO FILHO, O.; VIGILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (org). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE-CNPq-FAPESP, 1998.

BAUTISTA, L. E. C. Influência das tensões de origem térmica em problemas de estabilidade de blocos rochosos. **Dissertação**. Mestrado em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol 3. Florianópolis. Ed: da UFSC, 2003.

BISPO, P. da. C; ALMEIDA, C. M de; VALERIANO, M de. M; MEDEIROS, J. S; CREPANI, E. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião - SP com o uso de técnicas de geoprocessamento. **Anais**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. 2009.

BONUCCELLI, T. **Movimentos de Massa em áreas Urbanas**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1995.

BRABB, E. E. The world landslide problem. **Episodes**. Vol 14, 1991.

CALHEIROS, L.B. **Conferência geral sobre desastres**. Brasília. 2002.

CAMPOS, H. L. Riscos Geomorfológicos e sua Importância no Ensino da Geografia. **Revista do Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas**. São Paulo: IBEP, n.4, 2001.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Vol 2. Rio de Janeiro, 1981.

CARRARA, A; CARDINALI, M; DETTI, R; GUZZETTI, F; PASQUI, V; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**. Vol 16, 1991.

CASTRO, S. D. A. de. Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. **Scripta Nova**. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. n° 60, 2000.

CERRI, L. E. da S. Riscos Geológicos Urbanos. In: CHASSOT, A; CAMPOS, H (Orgs.). **Ciências da Terra e Meio Ambiente**: Diálogo para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2a. ed. 188p., 1980.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Volume 2. N 1, 2001.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a Questão Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. A. **Questão Ambiental**: Diferentes Abordagens. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUIMARÃES, R. F; CARVALHO JÚNIOR, O. A; GOMES, R. A. T; FERNANDES, N. F. Movimentos de Massa. In: Florenzano, T. G. (org). **Geomorfologia - Conceitos e tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

GUBERT, M. L. Caracterização geológica dos granitóides de Porto Alegre e suas implicações nos processos geradores de áreas de risco. **Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia**. UFRGS, 2003.

HASENACK, H. (coord). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre**. 2008. Disponível em: www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/downloads/cd/. Acesso em 18/05/2008.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L. 2010. **Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-03-6. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

HERRMANN, M. L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M. Análise das ocorrências de escorregamentos no estado de Santa Catarina com base nos formulários de avaliação de danos da Defesa Civil - 1980 a 2003. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. **Anais**. Florianópolis, 2004.

IBGE. COORDENAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CENSO**. 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (org). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE-CNPq-FAPESP, 1998.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Manual de ocupação de encostas**. São Paulo. 1991.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000. 130p. 2v. (IPT. Publicação, 1183), 1981.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C.; ZÊZERE, J. L. **Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal**. 2009.

LOPES, J. A. U. **Os movimentos coletivos dos solos e a evolução das encostas naturais nas regiões tropicais e subtropicais úmidas**. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. UFPR, 1995.

LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala 1:10.000**. Tese de Doutorado. INPE. São José dos Campos, 2007.

MACEDO, E. S. de; SANTORO, J. Gerenciamento de Riscos Geológico. In: **Curso de Administração de Emergências para Municípios: Treinamento para Equipes Municipais**. São Paulo: Publicação Cedec, 2001.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. São José dos Campos. (INPE - 12146-TDI/970), 2004.

MATEDI, M. A.; BUTZKE, I. C.; A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. **Ambiente & Sociedade**. Ano IV. n° 9. 2° semestre de 2001.

MENEGAT, R; PORTO, M. L; CARRARO, C. C; FERNANDES, L. A. D. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações.** 2004.

MOURA, N. S. M. ; DIAS, T. S. Compartimentos de relevo do município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul - Brasil. In: 12º Encontro de Geógrafos da América Latina, 2009. 12º Encontro de Geógrafos da América Latina. Montevideo, 2009. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

NUMMER, A. V. Parâmetros geológico-geotécnicos controladores dos Movimentos de Massa na Rota do Sol/ RS 486 - Itati, RS. Porto Alegre. PPGEC/UFRGS. **Tese de Doutorado**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

PANIZZI, W. M. Da Legalidade para a Ilegalidade: A formação de microterritórios urbanos. In: OLIVEIRA, Naia & BARCELLOS, Tanya. **O Rio Grande do Sul Urbano.** Porto Alegre: FEE, p.190-213, 1990.

PARISE, M. **Landslide hazard zonation of slopes suscetible to rock falls and topples.** Natural Hazard and Earth System Sciences, 2002.

PEROTTO, C. A. **Programa de Áreas de Risco.** Preservando a vida e a Natureza. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), 2004.

PIO-FIORI, A. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geografia.** n. 43, 1995.

PORTO, C. G. Intemperismo em Regiões Tropicais. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

PRANDINI, F. L.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J. A.; PONÇANO, W. L.; SANTOS, A. R. A atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica. In. Congresso Brasileiro de Florestas Tropicais. **Anais**. Mossoró, 1976.

RECKZIEGEL, B. W. **Áreas de Risco Geomorfológico**: Um estudo na Vila Laranjeiras, Porto Alegre-RS. 2004. 74f. Trabalho de Graduação em Geografia - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia. Santa Maria, 2007.

RECKZIEGEL, E. W. **Levantamento, espacialização e análise dos bairros com risco geomorfológico na cidade de Porto Alegre, RS**. Trabalho de Graduação. Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

ROBAINA, L. E de S. **Instalações de Rede D'Água em Áreas de Risco**. Relatório Técnico. Porto Alegre: Departamento Municipal de Habitação, 1993.

ROBAINA, L. E. de S.; BARCELLOS, A. de; PEROTO, C. A. de; C; MEDEIROS, E. R.; PIRES, C. A da F. Processos de Risco no Município de Porto Alegre: Erosão Pluvial como condicionante essencial. In: 5° Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 1995, Bauru. **Anais**. Bauru: ABGE, 1995.

ROBAINA, L. E. de S.; SILVA, A. O. M. Áreas de Risco: Uma contribuição para o estudo no município de Porto Alegre. In: I Fórum Nacional sobre Geologia de Meios Urbanos. **Anais**. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, 1993.

ROBAINA, L. E. de S.; PHILIPP, R. P.; BICA JR, V.; PEROTO, C. A. Morfodinâmica das Encostas do Morro Santana, Porto Alegre, RS. In: 38° CONGRESSO

BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1994, Balneário de Camboriú. *Anais*. Balneário de Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia. v. 1, 1994.

ROBAINA, L. E. de S.; VALADÃO, G. **Observações Geológicas-Geotécnicas em Áreas de Risco de Porto Alegre**. Relatório Técnico. Porto Alegre: Departamento Municipal de Habitação, 1993.

ROSSI, B. M. C.; GOULART, B. P.; SANTANA, D. J.; SANTOS, J. P. K. dos; OLIVEIRA, L. H. de; CARINHANHA, R. da S. Movimentos de Massa. **Trabalho Acadêmico**. Graduação em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP). São Paulo, 2010.

SMAM - SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. **Relatórios de Vistoria**.

SOBREIRA, F. S. **Suscetibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana**, MG. Geo.br. Disponível em: [HTTP//www.dageo.ufop.br/geobr](http://www.dageo.ufop.br/geobr), 2001.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B. de; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

VALENTE, A. L. S. Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS). **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 1999.

WESTEN, C. J. V et al. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. **Natural Hazard**. Vol. 30, 2001.

VIEIRA, S.C. Análise ambiental do uso ocupação do solo urbano de uma sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio – Porto Alegre, RS. Porto Alegre. UFRGS/PPGea, **Dissertação de Mestrado**. 2009.

YALCIN, A.; BULUT, F. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE - Turkey). **Natural Hazards**, 2006.

ZEZERE, J. L.; RAMOS, C.; REIS, E.; GARCIA, R.; OLIVEIRA, S. **Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo**. Diagnóstico Estratégico, 2008.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J. Eventos perigosos geológico-geotécnicos no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. 2004. Florianópolis. **Anais**. GEDN/UFSC, 2004.