

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

**Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a
escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**

Mariana Madruga de Brito

Porto Alegre
2014

MARIANA MADRUGA DE BRITO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA
SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO
MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Porto Alegre
2014

MARIANA MADRUGA DE BRITO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA
SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO
MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, área de Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 27 de maio de 2014

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph.D. pela University of Leeds
Orientador

Prof. D.Sc. Armando Michel Awruch
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Antônio Bressani (UFRGS)
Ph.D. pela University of London

Prof. Luis Eduardo de Souza Robaina (UFSM)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Eliseu José Weber (ULBRA)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CIP - Catalogação na Publicação

Brito, Mariana Madruga de
Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da
susctibilidade a escorregamentos no município de
Porto Alegre, RS / Mariana Madruga de Brito. -- 2014.
167 f.

Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-
RS, 2014.

1. mapeamento de suscetibilidade. 2. avaliação por
múltiplos critérios. 3. combinação linear ponderada.
4. sistema de informação geográfica. I. Silva Filho,
Luiz Carlos Pinto da, orient. II. Título.

Dedico este trabalho à minha querida mãe, Maria Elena
Madruza de Brito (*in Memoriam*), com sentimentos de
eterna saudade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, pelo incentivo, amizade e pela credibilidade em mim depositada. Obrigada pela liberdade proporcionada na escolha do tema e nos rumos que fui seguindo. Sentir que estou aprendendo e construindo algo novo, é por si só motivação suficiente, mas receber palavras de apoio cada vez que nos reunimos foi sem dúvida fundamental para concluir a presente dissertação. Obrigada por essa oportunidade e saiba que aprendi e continuo aprendendo muito contigo.

Ao professor Eliseu Weber pela ajuda dispensada em todas as etapas deste trabalho, por todas as conversas e esclarecimentos, pelo entusiasmo a cada descoberta e, sobretudo, pela disponibilidade que sempre demonstrou. Obrigada por me orientar academicamente e, muitas vezes sem saber, nas próprias escolhas da minha vida. Obrigada também por me manter na “linha”. Muitas vezes bastou àquela rápida conversa para que os meus níveis de confiança subissem e os problemas ultrapassados.

Ao Grupo de Gestão de Risco em Desastres (GRID) e ao Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) pela infraestrutura e apoio fornecidos. Em especial ao professor Hasenack pelos ensinamentos e pela oportunidade de fazer meu estágio de docência na sua disciplina.

Aos meus amigos gridianos Alexandra Passuello, Amanda de Souza, Andréa Foresti, Camila Bussular, Christa Korzenowski, Cristiane Pauletti, Eloisa Giazzon, Humberto Damilano, Joicei Bresolin, Juliana Fin, Maurício Schavinski, Patrick Fontes, Renata Lucena e Tamires Garcia pelo estímulo, amizade, companheirismo e ensinamentos oferecidos. A minha gratidão é enorme e é um privilégio poder trabalhar com todos vocês. Agradeço especialmente à Professora Cristiane Pauletti, por quem tenho profunda admiração, por ter me auxiliado na revisão deste trabalho, no momento em que eu mais precisei. Obrigada pelo carinho, amizade e colo que, em tantos momentos, acalmou minhas angústias, tornando o caminho mais suave. Obrigada também a minha querida amiga Juliana Fin, por todo o incentivo, carinho e por todas as conversas. Agradeço ainda, à Professora Alexandra Passuello, que sempre demonstrou o seu apoio no decorrer desses anos.

À Engenheira Vânia Krigger e à Geóloga Juliana Dubois, técnicas do Programa de Áreas de Risco (PAR/SMAM), pela enorme quantidade de informação que partilharam acerca de vários aspectos da cidade de Porto Alegre e por todas as trocas de opiniões sem as quais a elaboração do mapa inventário não seria possível. Obrigada por disporem do tempo de vocês e pelo entusiasmo demonstrado em todos nossos encontros.

Ao Professor Ruy Paulo Philipp pelas inestimáveis contribuições sobre a importância da geologia e dos lineamentos estruturais na ocorrência de escorregamentos em Porto Alegre.

Ao Engenheiro Fábio Bertuol por esclarecer algumas dúvidas e pelas sugestões referentes aos fatores condicionantes dos movimentos de massa em Porto Alegre.

Ao Geólogo Carlos Peixoto da CPRM pela troca de experiências e por contribuir com opiniões decisivas para o trabalho. Obrigada também por ceder os mapas com os setores de risco de Porto Alegre.

Aos professores Nina Moura, Luís Robaina e Luiz Bressani pelas contribuições e valiosas sugestões no exame de qualificação.

À Liliane Gaeverzen, pela competência no exercício de sua função, disposição e simpatia.

Aos membros do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), por terem aceitado interagir com a Engenharia Ambiental, mostrando que compreendem a necessidade de multidisciplinaridade na abordagem de questões relacionadas aos movimentos de massa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de mestrado.

Mais do que agradecer, quero também compartilhar essa conquista com meu noivo Felipe, que divide comigo uma vida cheia de planos, aprendizagem e aventuras. Tua compreensão, apoio, amor e paciência foram imprescindíveis para a realização desse trabalho. Obrigada por estar sempre ao meu lado e por não medir esforços para me ajudar, tornando tudo mais fácil. Você é a minha maior fonte de inspiração e força. Saiba que contigo me tornei uma pessoa mais forte, completa e feliz. Muito obrigada por tudo!

À minha família, pelo afeto e apreço que sempre demonstraram e por compreenderem as minhas muitas ausências durante esse tempo de mestrado. Em especial as minhas avós e avô que com toda sua simplicidade me ajudaram cada dia a buscar ser um ser humano melhor. Agradeço também ao meu irmão, que mesmo de longe sempre torceu por mim.

À Tia Estela, pelos valores transmitidos e que perduram ainda hoje e pelos esforços feitos para me proporcionar condições para que esteja nesse momento concluindo meu mestrado. Um dos maiores medos que tenho é não conseguir atingir suas expectativas, mas gostaria que soubesse que eu tento muito, com todas as minhas forças. Este trabalho é mais uma prova disso. Espero um dia poder ser pelo menos metade do que você é.

À Cristina Leitzke e Sandro Leitzke por acreditarem sempre em mim e por me ensinarem a persistir em meus objetivos.

À minha companheira canina Bellatrix Lestrage (Trixie), pela companhia frequente nas horas passadas em frente ao computador. Obrigada por alegrar meus dias e por me obrigar a relaxar de vez em quando.

Enfim, a todos que torceram por mim, muito obrigada!

*If a picture is worth a thousand words, a map can be
worth even more.*
(Francesco Pisano, UNITAR)

RESUMO

BRITO, M. M. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2014.

Os movimentos de massa são fenômenos naturais que fazem parte dos processos de dinâmica superficial que modelam a superfície terrestre. Quando ocorrem em áreas ocupadas, podem provocar perdas econômicas, impactos sociais e, em casos extremos, perda de vidas humanas. O estabelecimento de medidas preventivas para mitigar estes danos demanda a identificação das áreas mais propensas a esses fenômenos. Partindo deste contexto, o objetivo desta dissertação foi desenvolver uma proposta metodológica para mapear a suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre-RS, com o emprego de ferramentas de geoprocessamento. As variáveis utilizadas foram: declividade, geologia, distância de lineamentos, acúmulo de fluxo, uso do solo e cobertura vegetal, as quais foram processadas no *software* Idrisi. Após a padronização das variáveis por meio da aplicação de funções *fuzzy* e pela atribuição direta de notas, definiu-se a importância de cada uma na predisposição do terreno a escorregamentos com base na consulta a especialistas, com o apoio da técnica denominada processo analítico hierárquico. A integração das variáveis foi realizada por meio de combinação linear ponderada, estabelecendo-se dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos: o primeiro com a suscetibilidade natural e o segundo com a suscetibilidade induzida. Os resultados indicam que as áreas mais suscetíveis a escorregamentos situam-se, principalmente, nos morros da Crista de Porto Alegre e nos morros isolados no sul do município. O restante do município apresenta, de maneira geral, baixa suscetibilidade. A validação dos resultados obteve uma exatidão geral de 95% e 94% respectivamente para os Cenários 1 e 2. As áreas abaixo da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) foram respectivamente de 0,960 e 0,966, o que indica que as variáveis e os pesos foram adequados e que ambos os cenários são robustos. Assim, constata-se que as ferramentas de geoprocessamento são úteis no mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos, pois tornam ágil o mapeamento e sua atualização, e dão mais clareza e transparência ao processo de avaliação da suscetibilidade. Além disso, o método proposto permite reduzir os esforços nas etapas iniciais da gestão de riscos, possibilitando ao gestor priorizar os mapeamentos mais detalhados nas áreas com maior suscetibilidade. Isso demonstra que as rotinas de apoio à decisão, como as utilizadas neste trabalho, podem ser incorporadas em estudos de suscetibilidade, provendo importantes informações para o planejamento urbano dos municípios.

Palavras-chave: mapeamento de suscetibilidade; avaliação por múltiplos critérios; combinação linear ponderada; sistema de informação geográfica.

ABSTRACT

BRITO, M. M. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2014.

Mass movements are natural phenomena that are part of the surface dynamic processes that shape the Earth's surface. When they occur in urban areas, can cause economic losses, social impacts and, in extreme cases, losses of human lives. The implementation of preventive measures to mitigate those damages requires the identification of the areas prone to these events. Therefore, the aim of this dissertation was to develop a methodological approach to map landslide susceptibility at the municipality of Porto Alegre-RS, with the use of geoprocessing tools. The variables used were: slope, geology, distance from lineaments, flow accumulation and land use, which were processed in the Idrisi software. After the standardization of the variables through the application of fuzzy functions and the direct assignment of notes, the importance of each one on the predisposition of landslides was defined, based on the opinion of experts, with the support of the technique entitled analytic hierarchy process (AHP). The integration of the variables was based on weighted linear combination, resulting in two scenarios: the first with the natural susceptibility and the second with the induced susceptibility. The results indicate that the most susceptible areas to landslide are located in the hills of the Crista de Porto Alegre and in the isolated hills located at the south of the municipality. The remaining area has, in general, low susceptibility. The validation of the results obtained an overall accuracy of 95% and 94%, respectively for Scenarios 1 and 2. The areas under the ROC (Receiver Operating Characteristic) curve were respectively 0.960 and 0.966, indicating that the variables and weights were adequate and both scenarios are robust. Thus, it is noted that geoprocessing tools are useful to map the landslide susceptibility, since they make the mapping process and its updates agile, and give more clarity and transparency to the susceptibility assessment process. In addition, the proposed method reduces efforts in the early stages of risk management, enabling the manager to prioritize the most susceptible areas for detailed mappings. This demonstrates that decision support routines, such as those used in this dissertation, can be incorporated into susceptibility studies, providing important information for the urban planning.

Key-words: susceptibility mapping; multicriteria evaluation; weighted linear combination; geographic information system.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1. MOVIMENTOS DE MASSA.....	22
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA	23
2.2.1. Rastejos	28
2.2.2. Escorregamentos	28
2.2.3. Quedas.....	30
2.2.4. Corridas	31
2.3. PRINCIPAIS FATORES RELACIONADOS À OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	32
2.3.1. Geologia	34
2.3.2. Geomorfologia	34
2.3.3. Solos.....	36
2.3.4. Cobertura vegetal	37
2.3.5. Ação antrópica	38
2.3.6. Precipitação pluvial.....	39
2.3.7. Fatores condicionantes utilizados em mapeamentos de áreas suscetíveis a movimentos de massa.....	40
2.4. TIPOS DE AVALIAÇÕES DE ÁREAS PROPENSAS A MOVIMENTOS DE MASSA	41
2.4.1. Inventário de movimentos de massa	42
2.4.2. Avaliação de suscetibilidade	42
2.4.3. Avaliação de perigo.....	43
2.4.4. Avaliação de risco	43
2.5. MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA .	44
2.5.1. Métodos com base heurística	46
2.5.2. Métodos com base determinística	47
2.5.3. Métodos com base estatística	48
2.6. AVALIAÇÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS	49

2.6.1.	Técnicas de ponderação de critérios aplicadas na avaliação por múltiplos critérios	51
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	53
3.1.	LOCALIZAÇÃO	53
3.2.	CLIMA	53
3.3.	GEOLOGIA	55
3.4.	GEOMORFOLOGIA	59
3.5.	SOLOS	62
3.6.	USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL.....	66
3.7.	MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE.....	69
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	74
4.1.	MATERIAL	74
4.1.1.	Dados cartográficos.....	74
4.1.2.	Programas.....	75
4.2.	METODOLOGIA	76
4.2.1.	Inventário de movimentos de massa	78
4.2.2.	Seleção dos fatores condicionantes dos escorregamentos	78
4.2.3.	Estruturação da base de dados espaciais	80
4.2.3.1.	Importação e conversão dos planos de informação disponíveis	80
4.2.3.2.	Elaboração do modelo numérico do terreno.....	80
4.2.3.3.	Derivação de novos planos de informação	83
4.2.3.3.1.	Distância de lineamentos	83
4.2.3.3.2.	Declividade	85
4.2.3.3.3.	Acúmulo de fluxo	87
4.2.4.	Relação entre os escorregamentos e os fatores condicionantes	89
4.2.5.	Padronização dos fatores condicionantes.....	89
4.2.6.	Ponderação dos fatores condicionantes.....	93
4.2.6.1.	Cenário 1: Suscetibilidade natural a escorregamentos	96
4.2.6.2.	Cenário 2: Suscetibilidade induzida a escorregamentos.....	98
4.2.7.	Geração dos cenários de suscetibilidade	99

4.2.8.	Comparação entre os mapas de suscetibilidade	100
4.2.9.	Validação dos mapas de suscetibilidade	100
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	102
5.1.	ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	102
5.2.	RELAÇÃO ENTRE OS FATORES CONDICIONANTES E OS ESCORREGAMENTOS.....	108
5.3.	ANÁLISE DOS MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS	112
5.3.1.	Comparação entre os mapas de suscetibilidade.....	124
5.4.	VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE SUSCETIBILIDADE.....	127
5.4.1.	Concordância entre os mapas de suscetibilidade classificados e os escorregamentos.....	127
5.4.2.	Curvas ROC.....	130
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	133
6.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	133
6.2.	CONCLUSÕES.....	135
	REFERÊNCIAS	137
	APÊNDICE A - CONDICIONANTES UTILIZADOS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA.....	157
	APÊNDICE B - INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rastejo e seus indícios (adaptado de USGS, 2004).	28
Figura 2: Movimentos de massa do tipo escorregamento (adaptado de REIS, 2001).	29
Figura 3: Movimentos de massa do tipo queda (adaptado de REIS, 2001).	30
Figura 4: Movimentos de massa do tipo corrida (adaptado de REIS, 2001).	32
Figura 5: Fatores condicionantes utilizados em estudos de avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa.	40
Figura 6: Relação conceitual entre suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade, danos e consequências e risco (adaptado de ZÊZERE, 2005).	44
Figura 7: Localização do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.	53
Figura 8: Temperatura média mensal e precipitação pluvial média mensal no município de Porto Alegre (1961 a 1990) (elaborado a partir de INMET, 2009).	54
Figura 9: Afloramento em campo de matacões do Granito Santana no Morro da Polícia (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 6672010 m N 482346 m E).	56
Figura 10: Mapa geológico do município de Porto Alegre (PHILIPP, 2008).	58
Figura 11: Vista parcial da Crista de Porto Alegre (Orientação SE).	59
Figura 12: Padrão de relevo em forma de colina, localizado no extremo leste do bairro Cascata (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 483956 m E 6671542 m N).	60
Figura 13: Mapa geomorfológico do município de Porto Alegre (DIAS et al., 2009).	61
Figura 14: Corte transversal hipotético com a sequência típica dos solos, substratos geológicos e o relevo no município de Porto Alegre (adaptado de VALENTE, 1999).	62
Figura 15: Mapa pedológico do município de Porto Alegre (SCHNEIDER et al., 2008).	65
Figura 16: Perfil típico do uso do solo e cobertura vegetal nos morros de Porto Alegre – Bairro Cascata (Coordenadas UTM zona 22 WGS/84: 482578 m E 6671594 m N).	67
Figura 17: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do município de Porto Alegre (HASENACK et al., 2008b).	68
Figura 18: Indicadores de áreas de risco geológico no município de Porto Alegre, <i>zoom</i> na Crista de Porto Alegre (adaptado de OLIVEIRA et al., 2006).	69
Figura 19: Antiga área de extração mineral na Vila Laranjeiras, localizada no Morro Santana, bairro Protásio Alves (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 487378 m E 6675679 m N).	70
Figura 20: Áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre (RECKZIEGEL, 2012).	72

Figura 21: Setores com risco alto e muito alto à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre (Elaborado a partir de dados cedidos pela CPRM, 2013).....	73
Figura 22: Metodologia aplicada para mapear a suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre.....	77
Figura 23: Triangulação de Delaunay: (a) Curvas de nível; (b) TIN gerado.	81
Figura 24: Modelo Numérico do Terreno do município de Porto Alegre.....	82
Figura 25: Determinação da distância euclidiana.....	83
Figura 26: Mapa de distância de lineamentos do município de Porto Alegre.....	84
Figura 27: Estimativa da declividade do <i>pixel</i> central a partir de uma janela móvel de 3 x 3 <i>pixels</i> (adaptado de: ARCGIS, 2012).	85
Figura 28: Mapa de declividades do município de Porto Alegre.	86
Figura 29: Estimativa do acúmulo de fluxo a partir do MDE e da direção de fluxo (adaptado de ARCGIS, 2012).....	87
Figura 30: Mapa de acúmulo de fluxo do município de Porto Alegre.	88
Figura 31: Escala utilizada na padronização dos fatores condicionantes dos escorregamentos.	89
Figura 32: Comparação entre o processo de padronização da declividade baseado em conjuntos <i>fuzzy</i> e em conjuntos <i>booleanos</i>	91
Figura 33: Funções de pertinência <i>fuzzy</i> (EASTMAN, 2009).....	92
Figura 34: Escala de intensidade de importância relativa entre os fatores (adaptado de EASTMAN, 2009).....	94
Figura 35: Ilustração do processo de agregação dos fatores através do método da combinação linear ponderada.....	99
Figura 36: Exemplo ilustrativo de duas curvas ROC.	101
Figura 37: Registros relacionados à ocorrência e possibilidade de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013 (PAR, 2013).....	102
Figura 38: Registros relacionados a movimentos de massa e precipitação pluvial total (mm) em Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013 (PAR, 2013; INMET, 2014).	103
Figura 39: Espacialização dos registros relacionados a movimentos de massa no município de Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013 (PAR, 2013).....	104
Figura 40: Escorregamentos em Porto Alegre associados a áreas com declividades acentuadas, onde o esgoto era lançado diretamente nas encostas: (a) Rua João Pitta Pinheiro em 2008; (b) Rua São Guilherme em 2012 (imagens cedidas pelo PAR, 2013).	105
Figura 41: Escorregamentos em áreas de ocupação regular em Porto Alegre (a) Rua Professor Antônio José Remião, bairro Espírito Santo no ano de 2008; (b) Rua Engenheiro	

Álvaro Nunes Pereira, bairro Moinhos de Vento no ano de 2013 (imagens cedidas pelo PAR, 2013).	106
Figura 42: Registros relacionados a movimentos de massa nos bairros do município de Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013.	107
Figura 43: Escorregamento ocorrido em área considerada regular segundo o mapa de uso do solo e cobertura vegetal. (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 6673258 m N 479716 m E). (Elaborado a partir de uma imagem de 12/10/12 do Google Earth®).	112
Figura 44: Mapa contínuo da suscetibilidade natural à ocorrência de escorregamentos no município de Porto Alegre – Cenário 1.	113
Figura 45: Mapa contínuo da suscetibilidade induzida à ocorrência escorregamentos no município de Porto Alegre – Cenário 2.	114
Figura 46: Histograma do mapa contínuo de suscetibilidade - Cenário 1.....	115
Figura 47: Histograma do mapa contínuo de suscetibilidade - Cenário 2.....	115
Figura 48: Mapa de suscetibilidade natural à ocorrência de escorregamentos no município de Porto Alegre - Cenário 1	116
Figura 49: Mapa de suscetibilidade induzida à ocorrência de escorregamentos no município de Porto Alegre – Cenário 2.	117
Figura 50: Área de estudo por classe de suscetibilidade, em km ² e em porcentagem, de acordo com os Cenários 1 e 2.....	118
Figura 51: Comparação entre os setores de risco alto e muito alto à ocorrência de movimentos de massa mapeados pela CPRM com as classes de suscetibilidade a escorregamentos do Cenário 1 - <i>Zoom</i> na Crista de Porto Alegre.....	124
Figura 52: Correspondência espacial entre o Cenário 2 com relação ao Cenário 1.	126
Figura 53: Distribuição dos escorregamentos nas diferentes classes de suscetibilidade dos Cenários 1 e 2.	127
Figura 54: Detalhe de duas áreas inseridas na classe de suscetibilidade muito alta no Cenário 1 e na classe alta no Cenário 2.....	128
Figura 55: Taxa de sucesso dos cenários de suscetibilidade a escorregamento.	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de movimentos de massa proposta por Sharpe.	24
Quadro 2: Classificação de movimentos de massa proposta por Varnes.	25
Quadro 3: Classificação de movimentos de massa proposta por Hutchinson (até o 2º nível).	26
Quadro 4: Características dos principais movimentos de massa na dinâmica ambiental brasileira, de acordo com a classificação proposta por Augusto Filho.....	27
Quadro 5: Planos de informação utilizados e suas respectivas características.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Síntese dos fatores condicionantes dos movimentos de massa e sua aplicabilidade para as diferentes escalas de análise (P = pouco aplicável, M = moderadamente aplicável, A = altamente aplicável).	33
Tabela 2: Principais tipos de análise aplicadas no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa, suas respectivas características e escala mínima recomendada.	45
Tabela 3: Comparação teórica entre três métodos de ponderação.....	52
Tabela 4: Unidades de mapeamento de solos no município de Porto Alegre.	64
Tabela 5: Classes e subclasses da cobertura vegetal e uso do solo em Porto Alegre.	67
Tabela 6: Notas atribuídas às classes temáticas dos planos de informação geologia e uso do solo e cobertura vegetal.	90
Tabela 7: Funções de pertinência fuzzy e pontos de inflexão utilizados na padronização dos fatores condicionantes.	92
Tabela 8: Exemplo de uma matriz de comparação pareada.	94
Tabela 9: Índice de aleatoriedade (RI) conforme o número de fatores (n) utilizados.....	96
Tabela 10: Matriz de comparação pareada dos fatores condicionantes dos escorregamentos e seus respectivos pesos de compensação (Cenário 1 - Suscetibilidade natural).	97
Tabela 11: Matriz de comparação pareada dos fatores condicionantes escorregamentos e seus respectivos pesos de compensação (Cenário 2 - suscetibilidade induzida).....	98
Tabela 12: Intervalos utilizados para a reclassificação dos mapas de suscetibilidade.	100
Tabela 13: Área, número e densidade de escorregamentos em cada classe dos fatores condicionantes e parâmetros estatísticos básicos (mínimo, máximo, média, desvio padrão e moda) de cada fator.....	109
Tabela 14: Distribuição das classes de suscetibilidade em porcentagem para cada bairro do município de Porto Alegre – Cenário 1 e 2.	121
Tabela 15: Correspondência em proporção entre as áreas das classes de suscetibilidade a escorregamentos obtidas pelos dois cenários.	125
Tabela 16: Descrição dos escorregamentos classificados erroneamente nos cenários de suscetibilidade 1 e 2.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
AUC	Area Under the Curve
CEIC	Centro Integrado de Comando da Cidade de Porto Alegre
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CR	Consistency Ratio
DEMHAB	Departamento Municipal de Habitação
ELECTRE	Eliminasion et Choix Traduisant la Réalité
IAEG	International Association for Engineering Geology and the Environment
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
JTC-1	Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAHP	Multiplicative Analytical Hierarchy Process
MCE	Multi Criteria Evaluation
MNT	Modelo Numérico do Terreno
OWA	Ordered Weighted Average
PAR	Programa Áreas de Risco
PFMUA	Programa de Fiscalização e Monitoramento Urbano Ambiental do Município de Porto Alegre
PMPA	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
ROC	Receiver Operating Characteristic
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMAM	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Porto Alegre
TIN	Triangulated Irregular Network
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
WLC	Weighted Linear Combination
WP-WLI	Working Party on World Landslide Inventory

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por áreas para usos urbanos vem provocando a expansão das cidades sem a adoção de critérios adequados de ocupação e ordenamento do território. Este fator, aliado a segregação socioespacial e ao alto custo de vida das metrópoles, impulsiona a ocupação de áreas impróprias à urbanização, como por exemplo, as planícies de inundação e as encostas íngremes. Esses locais, quando ocupados, são denominados áreas de risco, pois se encontram sujeitos à ocorrência periódica de fenômenos naturais adversos, tais como as inundações e os movimentos de massa.

Dentre as áreas ocupadas irregularmente, destacam-se as situadas nas vertentes de morros, onde o adensamento populacional sem considerar a fragilidade natural do ambiente expõe a população à ocorrência de movimentos de massa, além de acelerar ou, até mesmo, provocar seu acontecimento. Os movimentos de massa são fenômenos naturais caracterizados pelo desprendimento e transporte de solo, rocha e detritos vertente abaixo, sob a ação da gravidade (BIGARELLA, 2003). São processos marcantes na evolução da paisagem, principalmente em regiões montanhosas e serranas.

Embora façam parte da dinâmica superficial do planeta, quando os movimentos de massa ocorrem associados a áreas urbanas, podem provocar perdas econômicas significativas, impactos sociais e ambientais e, em casos extremos, perda de vidas humanas. Nesse sentido, a UNESCO (WP-WLI, 1993) ressalta que os movimentos de massa, isoladamente ou em associação com outros fenômenos naturais, são os principais causadores de danos humanos e materiais decorrentes de desastres, sendo que esses valores são superiores ao de qualquer outro desastre natural, incluindo terremotos, inundações e tempestades. No Brasil, esses processos foram responsáveis por 3.355 mortes entre os anos de 1988 e 2013, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2014). Além de danos humanos, os movimentos de massa causam prejuízos econômicos de grande monta. Como exemplo, cita-se o desastre que ocorreu em 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro e ocasionou, segundo estimativas do Banco Mundial (2012), um prejuízo de aproximadamente 4,8 bilhões de reais.

Por este motivo o reconhecimento e entendimento desses processos é uma necessidade premente, uma vez que sem identificar as áreas propensas a movimentos de massa não é possível estabelecer medidas preventivas e corretivas eficazes para mitigar os danos de

eventuais desastres. Além disso, Kobiyama et al. (2006) ressaltam que a prevenção de desastres é menos onerosa quando comparada com a recuperação, sendo que cada R\$ 1,00 investido em prevenção corresponde, em média, a cerca de R\$ 25,00 a R\$ 30,00 em obras de reconstrução pós-desastre.

Nesse contexto, várias metodologias para a avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa têm sido desenvolvidas nos últimos anos, muitas das quais com o apoio de ferramentas de geoprocessamento. O mapeamento dessas áreas propicia um instrumento técnico-científico fundamental para a gestão de riscos. Ele pode auxiliar os tomadores de decisão a definir prioridades e direcionar políticas públicas relacionadas à regulamentação do uso e ocupação do território, de modo a evitar a criação de novas situações de risco. Além disso, o mapeamento da suscetibilidade permite orientar a execução de mapeamentos de risco em maior detalhe para os locais onde eles realmente são necessários.

O município de Porto Alegre possui alta predisposição à ocorrência de movimentos de massa, principalmente a escorregamentos e quedas de blocos (ROBAINA e SILVA, 1993; GUIMARÃES, 2004; MENEGAT et al., 2006). Nesse sentido, ressalta-se que Porto Alegre possui o maior número de registros de ocorrências de movimentos de massa do Estado do Rio Grande do Sul (RECKZIEGEL, 2007), com um total de 176 acidentes registrados no período de 1995 a 2010 (RECKZIEGEL, 2012). Além disso, foram contabilizadas 6 mortes e 12 pessoas ficaram feridas em decorrência destes processos entre os anos de 1980 a 2005 (RECKZIEGEL, 2007). Essa suscetibilidade pode ser explicada pelas características físicas das vertentes dos morros graníticos de Porto Alegre que, aliadas à ocupação desordenada, ao desmatamento, a falta de obras de drenagem e a execução de cortes e aterros inadequados, acabam favorecendo a deflagração desses processos. Em virtude dessas características, Porto Alegre foi considerado prioritário nas ações de prevenção de desastres do Governo Federal (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2013).

O mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa para toda a área do município de Porto Alegre por meio de técnicas de investigação de campo e de modelos determinísticos é de difícil execução. A principal razão para isto é que os custos financeiros e a demanda de tempo são elevados, uma vez que tais métodos demandam caracterizações geológico-geotécnicas detalhadas, as quais dependem de trabalhos de campo intensivos para suprir a grande quantidade de dados necessária.

Por outro lado, muitos dados disponíveis sobre o município de Porto Alegre poderiam ser utilizados para realizar avaliações de suscetibilidade preliminares com o auxílio de técnicas de

geoprocessamento. Tais ferramentas possibilitam identificar e mapear as áreas mais suscetíveis, e, dessa maneira, otimizar a aplicação de recursos, detalhando o levantamento de informações apenas nas áreas mais críticas. Nesse sentido, as ferramentas de geoprocessamento tornam-se um recurso de grande valor, pois facilitam e tornam mais ágil o processo de elaboração de mapas de suscetibilidade, permitindo realizar a integração de diferentes fatores que condicionam os escorregamentos.

Partindo deste contexto, o objetivo geral do presente estudo consiste em desenvolver uma proposta metodológica para mapear, por meio do emprego do geoprocessamento e de dados pré-existentes, as áreas suscetíveis a movimentos de massa do tipo escorregamentos no município de Porto Alegre, RS. Para alcançar o objetivo geral, foram enumerados os seguintes objetivos específicos:

- Espacializar os movimentos de massa que ocorreram no município de Porto Alegre, mediante a elaboração de um mapa inventário;
- Analisar a importância dos fatores que condicionam a ocorrência dos escorregamentos no município de Porto Alegre;
- Simular dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos com base na opinião de diversos especialistas em processos de movimentos de massa;
- Hierarquizar os graus de suscetibilidade, ordenando-os nas classes muito baixa, baixa, média, alta e muito alta;
- Validar os mapas de suscetibilidade por meio de seu cruzamento com os registros de escorregamentos já ocorridos no município.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MOVIMENTOS DE MASSA

A gestão de riscos de desastres envolve a atuação de profissionais de diversas áreas do conhecimento, tais como geólogos, geomorfólogos, engenheiros e geotécnicos. Devido a esta multidisciplinaridade, encontram-se, na literatura técnica e na prática, diversas designações para os termos movimento de massa e deslizamentos, não havendo uma classificação ou terminologia consolidada. A falta de homogeneidade entre os termos utilizados e sua consequente sobreposição pode trazer dificuldades, principalmente no que se refere às trocas de informações entre os diversos especialistas envolvidos na avaliação desses processos.

Na tentativa de unificar a linguagem utilizada nesses estudos, a Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental (IAEG), em parceria com UNESCO, elaborou um glossário multilíngue de termos concernentes a movimentos de massa (*Multilingual Landslide Glossary*). De acordo com esse glossário, os *landslides* são definidos como movimentos de massa rochosos, terrosos ou de detritos encosta abaixo (CRUDEN, 1991; WP/WLI, 1993). Atualmente, essa definição é amplamente utilizada para designar os diferentes processos de movimentos de massa que ocorrem na evolução das encostas (SELBY, 1993; CRUDEN e VARNES, 1996; DIKAU et al., 1996; FELL et al. 2000; USGS, 2004; PRESS et al., 2006; HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

No Brasil, o termo *landslide* tem sido traduzido comumente como deslizamento, escorregamento, deslizamento de terra, escorregamento de terra, desmoronamento, e até mesmo como desbarrancamento. Essas expressões, quando utilizadas de maneira genérica, são frequentemente empregadas para designar qualquer movimento gravitacional de massa, independentemente do tipo de material mobilizado e seu mecanismo de deflagração. Entretanto, as mesmas soam restritivas, uma vez que os processos que se desenvolvem ao longo das encostas apresentam diversas cinemáticas e os termos escorregamento e deslizamento associam-se a um tipo particular destes movimentos, o qual ocorre ao longo de uma superfície de deslizamento. Além disso, os movimentos de massa não mobilizam apenas solo como as expressões apontadas anteriormente sugerem, mas também outros materiais como rochas e detritos.

Cruden (1991) comenta que a maior dificuldade relacionada à definição de *landslide* é a tradução errônea deste termo como sendo simplesmente um *slide of land*, ou seja, um

deslizamento de terra. Segundo o autor, essa palavra trata-se de uma das muitas de origem norte-americana, formadas por dois vocábulos que, juntos, significam algo distinto, sendo assim uma expressão mais abrangente. Desta forma, a expressão movimentos de massa tem sido amplamente utilizada na literatura técnica brasileira, com o intuito de englobar todos os tipos de movimentos (OLIVEIRA et al., 2004; GUERRA et al., 2007; AMARAL JUNIOR e ZUQUETTE, 2007; ROBAINA et al., 2011).

Apesar disso, a CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) utilizam o termo deslizamento para se referir aos processos de movimentação e transporte de massas de solo e/ou rocha (SILVA e MACEDO, 2007; SAMPAIO et al., 2013). A adoção deste termo tem por objetivo facilitar a comunicação entre a sociedade, a mídia em geral e os diferentes órgãos técnicos envolvidos na análise de desastres naturais.

Essa diversidade de interpretações reflete a complexidade da natureza das disciplinas associadas ao estudo desse fenômeno. No presente texto, os termos movimentos de massa e deslizamentos *lato sensu* são utilizados como sinônimos, isto é, para designar qualquer processo de movimento de solo e rocha, sob a ação da gravidade, não importando sua forma, conteúdo de água, mecanismo de ruptura envolvido, velocidade e demais características.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Existem, na natureza, diversos tipos de movimentos de massa, sendo necessária a utilização de uma série de critérios para a sua diferenciação, tais como geometria, fatores condicionantes, tipo de material instabilizado, conteúdo de água e velocidade do movimento. Essa variedade de critérios, aliada a multiplicidade de combinações possíveis entre os materiais envolvidos e os fatores deflagradores, possibilita uma quantidade ilimitada de classificações (TERZAGHI, 1959 apud COATES, 1977).

A adoção de sistemas classificatórios, além de facilitar o intercâmbio de ideias entre os diferentes profissionais, constitui-se no primeiro passo para a prevenção desses fenômenos. Nesse sentido, Augusto Filho e Virgili (2004) comentam que, a partir da classificação dos diferentes processos, é possível relacionar um determinado tipo de movimento a um conjunto de características, como por exemplo, a profundidade, o tipo de material instabilizado e seu poder destrutivo. Essas características contribuem para um melhor entendimento dos mecanismos condicionantes dos movimentos de massa.

Vários autores descreveram e classificaram os movimentos de massa, como exemplo, citam-se as propostas internacionais elaboradas por Sharpe (1938), Varnes (1958; 1978), Hutchinson (1968; 1988), Sassa (1989), Selby (1993), Cruden e Varnes (1996), Hungr et al., (2001), Press et al., (2006). Dentre as classificações brasileiras, destacam-se as de Freire (1965), Nunes (1969), Guidicini e Nieble (1984), IPT (1991) e Augusto Filho (1992a).

A classificação de Sharpe (1938) apud Dikau et al. (1996) se destaca pelo seu pioneirismo, sendo considerada a primeira classificação de ampla aceitação, servindo como base para muitos trabalhos posteriores. Nessa proposta os movimentos são divididos em duas categorias principais: corridas e escorregamentos, as quais se subdividem em várias outras, como pode ser visualizado no Quadro 1. Contudo, Guidicini e Nieble (1984) ressaltam que dificilmente essa sistematização pode ser aplicada ao espaço físico brasileiro, pois a mesma foi desenvolvida para ambientes com condições climáticas rigorosas.

Quadro 1: Classificação de movimentos de massa proposta por Sharpe.

Natureza e taxa do movimento		Transporte glacial	Com aumento do conteúdo de gelo	Rocha ou solo ↔	Com aumento do conteúdo de água	Transporte fluvial
Corridas	Imperceptível		Solifluxão ↓	Rastejo de solo ou rocha	Solifluxão ↓	
	Lento a rápido	Avalanche de detritos		Fluxo de terra Fluxo de lama Avalanche de detritos		
Escorregamento	Lento a rápido	↓	Escorregamento Escorregamento de detritos Queda de detritos Escorregamento de rocha Queda de rocha	↓		

Fonte: Sharpe (1938) apud Dikau et al. (1996).

Apesar da grande importância da classificação de Sharpe (1938), foram as classificações de Varnes (1978) e a de Hutchinson (1988) que realmente se consagraram no meio científico, sendo as mais utilizadas em pesquisas acadêmicas. Ambos os autores utilizam o tipo do movimento para estabelecer os principais grupos, porém, a classificação de Hutchinson enfatiza os resultados dos movimentos, enquanto o esquema proposto por Varnes salienta as condições da ruptura do talude. O sistema classificatório de Varnes (1978), mostrado no

Quadro 2, reúne com muita clareza e de forma completa os diferentes tipos de movimentos de massa. Devido a sua simplicidade e facilidade de aplicação, esse esquema foi adotado pela *Working Party on World Landslide Inventory* (WP/WLI, 1993) e pela IAEG (1990). Já a classificação de Hutchinson (1988), apresentada de forma resumida no Quadro 3, é mais extensa e detalhada. Ela é voltada para a engenharia geotécnica, contemplando, além do mecanismo de ruptura, as condições de poropressão, a velocidade do movimento e as características da estrutura do solo. Deste modo, esse sistema classificatório tem sua utilização condicionada à existência de uma considerável quantidade de informações, o que dificulta sua utilização em campo.

É interessante observar que, tanto a classificação proposta por Varnes (1978) quanto a de Hutchinson (1988) apresentam a classe de movimentos complexos, reconhecendo assim a dificuldade em se estabelecer limites rígidos entre um tipo de movimento e outro. Esse problema foi relatado por Dikau et al. (1996), onde os autores comentam que, em muitos casos, ocorre a manifestação de várias classes num mesmo movimento. Por exemplo, muitos processos são inicialmente deflagrados como escorregamentos translacionais e se transformam gradativamente em corridas de massa devido ao excesso de água.

Quadro 2: Classificação de movimentos de massa proposta por Varnes.

Tipo de movimento		Tipo de material		
		Rocha	Solos de engenharia	
			Predomínio de grosseiros	Predomínio de finos
Queda		Queda de blocos	Queda de detritos	Queda de solos
Tombamento		Tombamento de blocos	Tombamento de detritos	Tombamento de solos
Escorregamento	Rotacional	Escorregamento de blocos	Escorregamento de detritos	Escorregamento de solo
	Translacional			
Expansão lateral		Expansão lateral de blocos	Expansão lateral de detritos	Expansão lateral de solo
Corrida		Corrida de blocos	Corrida de detritos	Corrida de solo (ou lama)
Complexo		Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Fonte: Varnes (1978).

Quadro 3: Classificação de movimentos de massa proposta por Hutchinson (até o 2º nível).

Tipo de movimentos fundamentais	Subtipos
Recuo	1 - Movimentos associados a escavações feitas pelo homem 2 - Movimentos associados a vales naturalmente erodidos
Rastejo	1 - Superficial, predominante sazonal, no manto de alteração 2 - Profundo e contínuo 3 - Pré-ruptura e progressivo 4 - Pós-ruptura
Deformações em cristas e encostas de montanhas	1 - Em uma única face 2 - Nas duas faces 3 - Associado a rompimentos múltiplos
Escorregamentos	1 - Ruptura confinada 2 - Rotacional 3 - Compostos 4 - Translacional
Movimentos de detritos em forma de fluxo	1 - Fluxo de lama, não-periglacial 2 - Fluxo de lama, gelifluxão de argilas 3 - Fluxo 4 - Fluxo de detritos, rápidos e muito rápidos, com alta umidade 5 - Sturzstroms, fluxos extremamente rápidos de detritos secos
Tombamentos	1 - Por descontinuidades pré-existentes 2 - Pela ruptura por aumento de tensão
Quedas	1 - Primárias 2 - Secundárias
Movimentos complexos em encostas	1 - Arqueamento e abalramento de vale 2 - Em blocos 3 - Falésias de argila abandonadas 4 - Deslizamentos transformados em fluxo de detritos ou de lama 5 - Causados por erosão interna 6 - Deslizamentos multi-diferenciados 7 - Deslizamentos multi-estratificados

Fonte: Adaptado de Hutchinson (1988) apud Dikau et al. (1996).

Entre as classificações brasileiras destaca-se a elaborada pelo IPT (1991), a qual foi detalhada posteriormente por Augusto Filho (1992a) (Quadro 4). Nessa classificação, o autor propõe a subdivisão dos movimentos de massa que ocorrem com maior frequência no Brasil em rastejos, escorregamentos, quedas e corridas, em função das características do movimento, dos materiais envolvidos e da sua geometria. Nota-se que essa sistemática diferencia os rastejos das corridas, processos que são considerados análogos por Sharpe (1938), todavia, com velocidades distintas. Essa classificação é recomendada pelo Ministério das Cidades (2004) no curso de Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco e é utilizada

atualmente pelo IPT e pela CPRM no mapeamento de áreas propensas à ocorrência de movimentos de massa.

Quadro 4: Características dos principais movimentos de massa na dinâmica ambiental brasileira, de acordo com a classificação proposta por Augusto Filho.

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

Fonte: Augusto Filho (1992a) apud Augusto Filho (1992b).

Analisando as classificações anteriormente descritas, é possível perceber que nenhum sistema é completo e abrange todos os tipos de movimentos de massa, devido principalmente à sua variedade. As classificações complexas, que envolvem a discretização de um grande número de fenômenos, dificultam o reconhecimento dos movimentos de massa em campo, sendo necessária a utilização de caracterizações detalhadas de subsuperfície. Portanto, nos casos

onde não é necessária a identificação de todos os mecanismos envolvidos no movimento, a adoção de sistemas classificatórios mais sucintos é preferível.

Considerando a grande quantidade de sistemas classificatórios de movimentos de massa existentes, bem como os diferentes enfoques dados pelos autores, optou-se pela adoção do sistema classificatório proposto por Augusto Filho (1992a), por ser simples e de fácil compreensão e pela sua aplicabilidade na área de estudo. As classes previstas neste sistema são detalhadas a seguir.

2.2.1. Rastejos

Os rastejos são movimentos lentos, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo, com velocidades de centímetros ou milímetros por ano (IPT, 1991). São ocasionados pelo processo de expansão e contração do solo, devido às variações de umidade e temperatura. Podem afetar áreas extensas e envolvem grandes volumes de material, sem que haja um limite nítido entre o material em movimento e o material estacionário. O rastejo pode, ainda, preceder os escorregamentos, caso ocorram precipitações pluviais intensas e/ou prolongadas (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008). Devido à sua baixa velocidade e à inexistência de uma superfície de ruptura bem definida, a identificação dos rastejos no campo se dá pela mudança na verticalidade das árvores, postes e muros, como mostra o esquema da Figura 1.

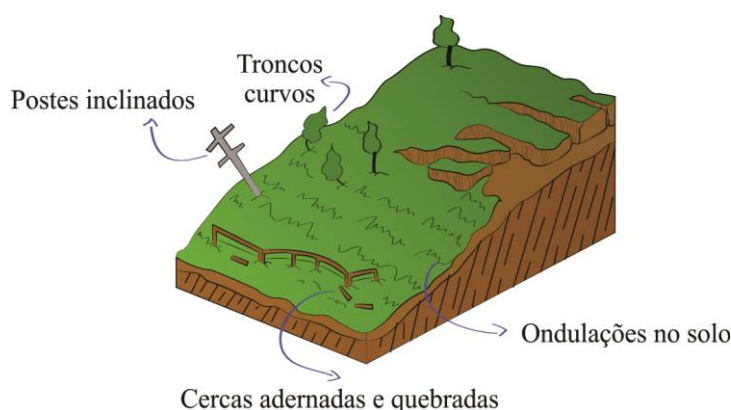


Figura 1: Rastejo e seus indícios (adaptado de USGS, 2004).

2.2.2. Escorregamentos

Os escorregamentos *stricto sensu* são movimentos rápidos, de curta duração, com velocidades de metros por hora a metros por segundo. Apresentam planos de ruptura bem definidos entre o material deslizado e o não movimentado (GUIDICINI e NIEBLE, 1984) e podem assumir geometria rotacional, translacional ou em formato de cunha, conforme mostra a Figura 2. Em

Porto Alegre esses processos são os mais recorrentes e correspondem a aproximadamente 85% dos registros de movimentos de massa (RECKZIEGEL, 2012).

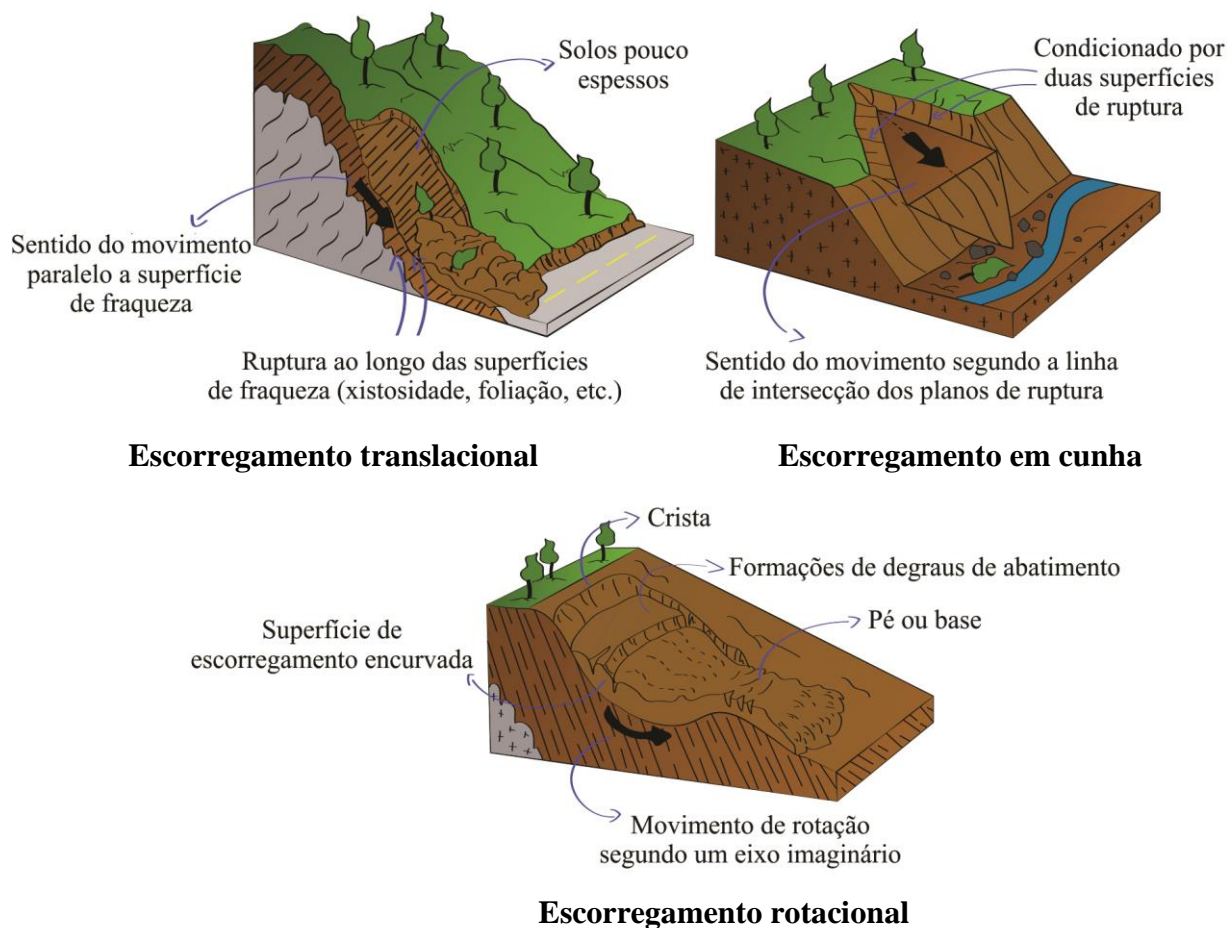


Figura 2: Movimentos de massa do tipo escorregamento (adaptado de REIS, 2001).

Os escorregamentos translacionais ou planares são típicos de solos rasos e anisotrópicos e apresentam, frequentemente, um controle estrutural evidente (COROMINAS et al., 1996). O plano de ruptura desenvolve-se ao longo de superfícies de fraqueza, marcadas por uma resistência ao cisalhamento reduzida, como falhas, planos de estratificação, diaclases ou no contato entre o solo e o substrato rochoso (VARNES, 1978). São, de acordo com Fernandes e Amaral (2003), os processos mais marcantes na evolução natural das encostas brasileiras, seja pela frequência com que ocorrem, como pelo potencial de causar danos ao homem.

Os escorregamentos em cunha são associados a saprólitos e maciços rochosos, nos quais a existência de dois planos de fraqueza condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. São comuns em taludes de corte e em encostas com algum tipo de desconfinamento ou descontinuidade, cuja orientação e espaçamento determinam a forma e volume da cunha (INFANTI JÚNIOR e FORNASARI FILHO, 1998).

Os escorregamentos rotacionais ou circulares ocorrem ao longo de superfícies de ruptura curvas, com um grau de deformação interna do material deslocado muito baixo (BUMA e ASCH, 1996). São característicos de encostas pouco fraturadas, com formações superficiais uniformes e isotrópicas, em locais com solos espessos (ZÊZERE, 2000; FERNANDES e AMARAL, 2003).

2.2.3. Quedas

As quedas consistem no movimento de fragmentos de rocha através de queda livre, salteamento ou rolamento, com velocidades muito altas, da ordem de metros por segundo (WP/WLI, 1993; CRUDEN e VARNES, 1996). A ocorrência destes processos está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes. São potencializadas por amplitudes térmicas, por meio da dilatação e contração da rocha, por discontinuidades (fraturas, planos de fraqueza, falhas e bandamentos), pelo avanço dos processos de intemperismo físico e químico, assim como pelo crescimento de raízes nas fraturas existentes nas rochas (IPT, 1991; DIAS e HERRMMAN, 2002). Podem ser divididas em quedas, tombamentos e rolamentos, conforme mostra a Figura 3.

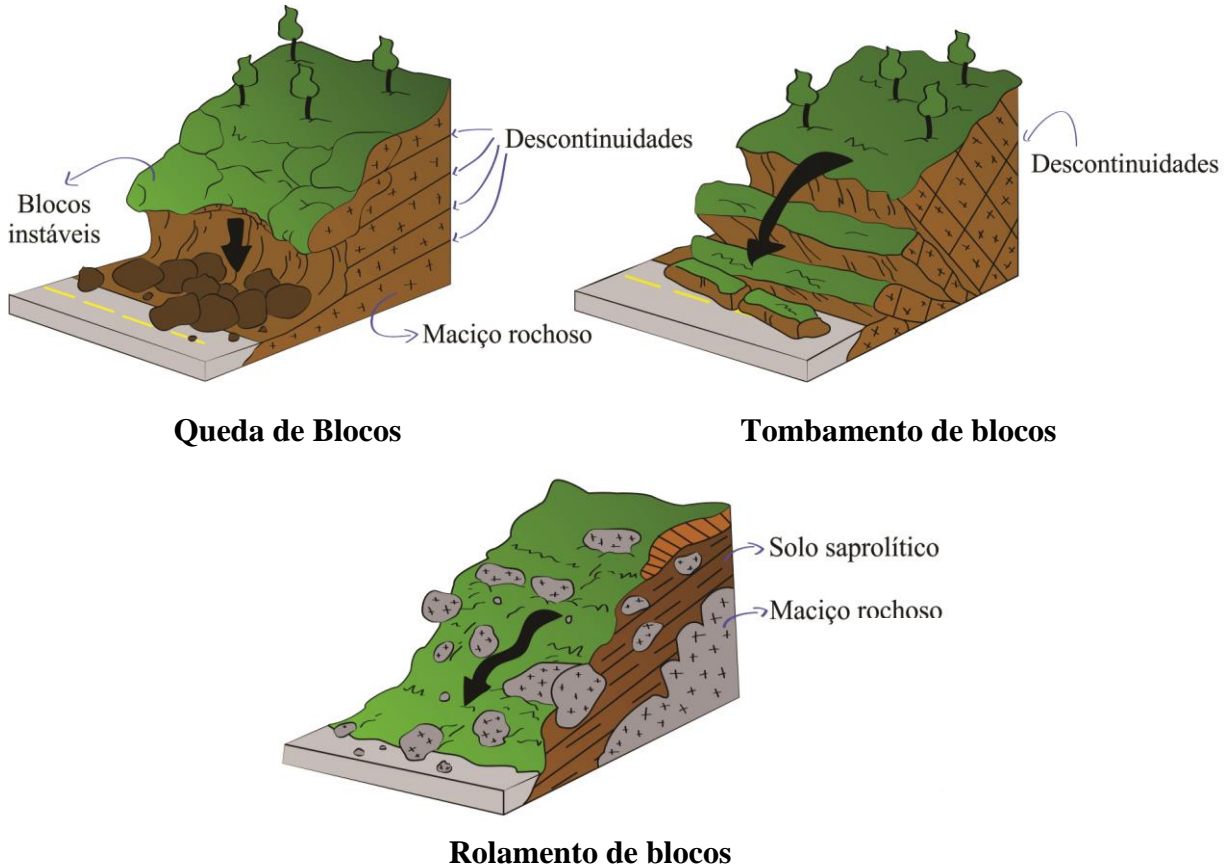


Figura 3: Movimentos de massa do tipo queda (adaptado de REIS, 2001).

As quedas de blocos envolvem materiais rochosos que se destacam de taludes ou encostas íngremes de paredões rochosos e se deslocam em movimentos do tipo queda livre, com a ausência de uma superfície de movimentação (INFANTI JÚNIOR e FORNASARI FILHO, 1998). São associadas à presença de fraturas e descontinuidades no maciço rochoso. Em Porto Alegre, esses processos são observados nos taludes de corte das frentes de lavra de pedreiras desativadas.

Os tombamentos de blocos ocorrem por mecanismos semelhantes aos das quedas, com a diferença que, nesses casos, o plano de fraqueza desenvolve-se em sentido vertical, paralelo ao plano do talude. Dessa forma, quando a inércia é rompida, resulta um movimento em balsa, provocando o tombamento do bloco. Ocorrem, geralmente, em encostas abruptas, principalmente em taludes de corte (IPT, 1991).

Os rolamentos de blocos ocorrem ao longo de superfícies inclinadas, através do desprendimento de matacões pela perda de apoio, devido à atuação de processos erosivos (INFANTI JÚNIOR e FORNASARI FILHO, 1998). São fenômenos frequentes nos morros graníticos de Porto Alegre (RECKZIEGEL, 2012), onde o intemperismo ocasiona a decomposição esferoidal desse litotipo, dando origem a blocos e matacões envoltos em uma matriz terrosa, os quais rolam encosta abaixo após o enfraquecimento de sua base.

2.2.4. Corridas

As corridas são movimentos rápidos de grandes dimensões, com velocidades de metros por hora ou até mesmo metros por segundo. São altamente destrutivas e resultam da confluência de inúmeros escorregamentos e de um grande aporte de detritos nas linhas de drenagem. Esse material, misturado com grandes volumes de água, forma uma massa semifluida, com comportamento semelhante ao de um líquido altamente viscoso (WP/WLI, 1983; IPT, 1991), ocasionado pela perda de atrito interno do solo, em virtude da destruição de sua estrutura em presença de excesso de água (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). As corridas podem ser divididas, dependendo do material mobilizado e da velocidade do movimento, em: corrida de terra, corrida de lama e avalanche de detritos, conforme apresentado na Figura 4.

As corridas de terra apresentam a menor fluidez dentre todos os tipos de corrida e envolvem, geralmente, o deslocamento de grãos relativamente finos, tais como solos, folhelhos alterados e argilas. Já as corridas de lama apresentam um grau de extrema fluidez, movimentando, predominantemente, materiais mais finos que areia, com alguns detritos de rocha. Por último, têm-se as avalanches de detritos, que são os movimentos de massa mais catastróficos, devido

à sua velocidade e raio de alcance, envolvendo além de solos e rochas, detritos como árvores e resíduos sólidos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; PRESS et al., 2006).

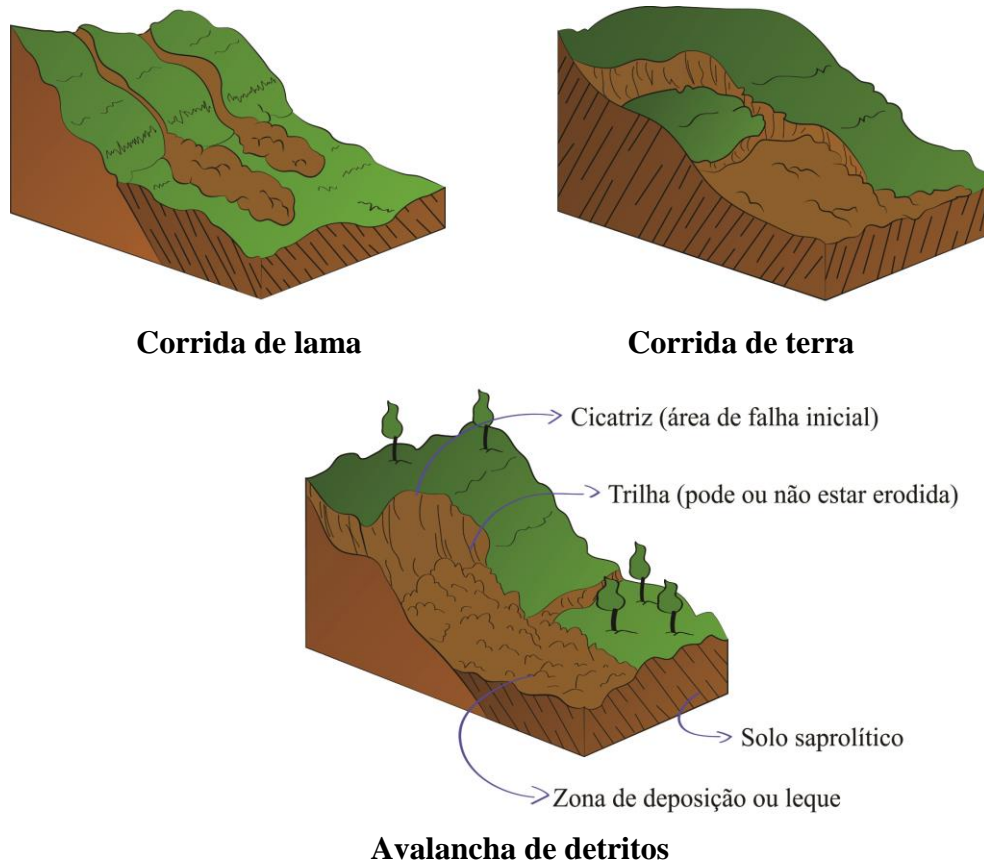


Figura 4: Movimentos de massa do tipo corrida (adaptado de REIS, 2001).

2.3. PRINCIPAIS FATORES RELACIONADOS À OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA

A identificação dos fatores que contribuem para a ocorrência dos movimentos de massa é fundamental para a melhor compreensão do funcionamento destes processos, para o mapeamento de locais sujeitos a novos movimentos e para a adoção de medidas corretivas adequadas. De maneira geral, esses fatores podem ser divididos em três tipos: predisponentes, preparatórios e desencadeantes (GLADE e CROZIER, 2005).

Os **fatores predisponentes**, também chamados de condicionantes, são estáticos e inerentes ao terreno (geologia, declividade, vegetação), condicionando o grau de suscetibilidade do território a movimentos de massa. Os **fatores preparatórios** são dinâmicos (precipitação de baixa intensidade, ação antrópica), promovendo o decréscimo da estabilidade, mas sem iniciar o movimento. Os **fatores desencadeantes** (precipitação intensa e/ou prolongada, sismos), como o próprio nome indica, representam a causa imediata da instabilidade. São utilizados

para a análise temporal dos movimentos de massa, sendo incorporados em estudos de mapeamento de perigo (GLADE e CROZIER, 2005; HUFSCHMIDT et al., 2005).

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos fatores condicionantes mais utilizados em avaliações de suscetibilidade a movimentos de massa e o grau de aplicação de cada um em função da escala da análise. A lista compreende 29 fatores relevantes, agrupados nos seguintes temas: geomorfometria, geologia, solos, hidrologia, geomorfologia e uso do solo.

Tabela 1: Fatores condicionantes dos movimentos de massa e sua aplicabilidade segundo diferentes escalas de análise (P = pouco aplicável, M = moderadamente aplicável, A = altamente aplicável).

Grupo	Tipo de informação	Escala da análise			
		Pequena	Média	Grande	Detalhe
Geomorfometria	Declividade	P	A	A	A
	Orientação da encosta	A	A	A	A
	Forma da encosta	M	A	A	A
	Direção do fluxo	P	M	A	A
	Acúmulo de fluxo	P	M	A	A
	Razão de relevo relativo	A	M	P	P
	Densidade de drenagens	A	M	P	P
Geologia	Tipo de rocha	A	A	A	A
	Grau de alteração	P	M	A	A
	Descontinuidades	P	M	A	A
	Aspectos estruturais	A	A	A	A
	Distância de falhas	A	A	A	A
Solos	Tipo de solos	M	A	A	A
	Profundidade dos solos	P	M	A	A
	Propriedades geotécnicas	P	M	A	A
	Propriedades hidrológicas	P	M	A	A
Hidrologia	Lençol freático	P	P	M	A
	Umidade do solo	P	P	M	A
	Componentes hidrológicos	M	A	A	A
	Distância de drenagens	A	A	A	P
Geomorfologia	Unidades fisiográficas	A	M	P	P
	Unidades de terreno	A	M	M	P
	Unidades geomorfológicas	A	A	M	P
	Subunidades geomorfológicas	A	A	A	P
	Uso do solo	A	A	A	A
Uso do solo	Mapa de uso do solo	A	A	A	A
	Mudanças no uso do solo	M	A	A	A
	Características da vegetação	P	M	A	A
	Distância de estradas	M	A	A	A
	Edifícios	M	A	A	A

Fonte: Adaptado de Van Westen et al. (2008).

Nos itens subsequentes são descritos os principais fatores condicionantes e desencadeantes dos movimentos de massa, visando fornecer uma visão geral dos processos que atuam de forma mais direta na instabilização de encostas.

2.3.1. Geologia

O substrato rochoso é um dos fatores condicionantes mais importantes na determinação da suscetibilidade a movimentos massa (CLERICI et al., 2010), sendo que os fatores geológicos mais relevantes são: a composição química das diferentes litologias, suas propriedades mecânicas, a presença de descontinuidades e o grau de intemperismo.

Dentre essas condições geológicas, a presença de descontinuidades estruturais, como falhas, fraturas, juntas, planos de estratificação, xistosidade e diaclases é uma das mais relevantes. Essas estruturas constituem-se em caminhos preferenciais para a percolação de água e desempenham um papel importante na intemperização das rochas, através da formação de planos de fraqueza, contribuindo, conseqüentemente, para a redução dos parâmetros de resistência (KAMP et al., 2008; VAHIDNIA et al., 2009; KOULI et al., 2010).

Além das descontinuidades é importante observar a litologia, pois cada rocha comporta-se de maneira distinta frente aos fenômenos de instabilidade (IAEG, 1981). Logo, a identificação do substrato rochoso torna-se imprescindível em avaliações de suscetibilidade a movimentos de massa, uma vez que cada litotipo apresenta diferentes graus de coesão, resistência e permeabilidade, o que irá influenciar o tipo de drenagem, a textura e a resistência da rocha aos processos de intemperismo. Do mesmo modo, a litologia influencia o tipo de solo que será gerado e, portanto, nas suas características geotécnicas.

Outro aspecto a ser considerado é a presença de rochas aflorantes e de matacões semienterrados nas encostas. Esses blocos podem se desprender da superfície, devido a alterações na geometria do terreno, assim como através da água de chuva, gerando quedas, tombamentos ou rolamento de blocos, o que dependerá do sistema de descontinuidade presente e da posição dos blocos na encosta (FARAH, 2003).

2.3.2. Geomorfologia

Os movimentos de massa são fortemente controlados pela geomorfologia, uma vez que esta condiciona a dinâmica hidrológica e de maneira indireta, as características dos solos. Os condicionantes geomorfológicos mais utilizados na avaliação da suscetibilidade são:

declividade, curvatura da encosta em perfil e no plano, acúmulo de fluxo, orientação, comprimento da encosta e amplitude do relevo.

A declividade é considerada o principal fator condicionante dos movimentos de massa, pois ela é diretamente proporcional à velocidade do movimento e, portanto, à capacidade de transporte de solo e rocha (DIAS e HERRMANN, 2002). Ela é utilizada de maneira predominante nos estudos de suscetibilidade e, em alguns casos, até de forma exclusiva. Apesar disso, Fernandes et. al (2001) comentam que a alta valoração dessa variável gera, frequentemente, distorções nas análises, visto que, muitas vezes, áreas com menores declividades consideradas de baixa suscetibilidade, apresentam cicatrizes de movimentos de massa no campo. Tal fato evidencia a necessidade de incorporar outros fatores geomorfológicos nas análises de suscetibilidade.

A forma da encosta no perfil e no plano também influencia fortemente o desenvolvimento de movimentos de massa, uma vez que condiciona o fluxo de água e de materiais sólidos ao longo da mesma, o acúmulo de umidade e, em última análise, os níveis de poropressão desenvolvidos (FERNANDES e AMARAL, 2003). Em encostas convexas e divergentes, a água subterrânea é dispersada e as pressões neutras são menores, enquanto que quem encostas côncavas e convergentes, o fluxo de água tende a se concentrar, tornando-as mais propícias a apresentarem pressões neutras elevadas e, desta forma, menores resistências (SIDLE et al., 1985 apud FERNANDES et al., 2001). Benda (1990) comenta que, em geral, encostas divergentes e convexas são mais estáveis, seguido pelas encostas com segmentos planos e pelas encostas convergentes e côncavas, menos estáveis. Entretanto, Ayalew et al. (2004) ressaltam que essa relação nem sempre é válida.

O acúmulo de fluxo pode ser igualmente importante na análise da suscetibilidade, pois o mesmo representa o tamanho da área de contribuição do fluxo de água vindo das porções mais altas do terreno para cada ponto dentro de uma área. Fernandes et al. (2001) comentam que essa variável é desconsiderada em muitos estudos de suscetibilidade a movimentos de massa, devido, principalmente, à inexistência de modelos digitais de elevação detalhados. Contudo, o acúmulo de fluxo possui grande importância para a instabilização das encostas, uma vez que tem uma relação direta com a concentração dos fluxos de água superficial e subterrânea e consequente saturação dos solos (MONTGOMERY et al., 1998; DIETRICH et al., 1995).

2.3.3. Solos

Uma série de propriedades dos solos influencia a suscetibilidade a movimentos de massa, tais como o seu peso específico, porosidade, índice de vazios, mineralogia, granulometria, permeabilidade, compressibilidade, textura, coesão, ângulo de atrito, espessura, condutividade hidráulica, histórico de tensões, entre outros (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004). Essas propriedades são diretamente relacionadas com a gênese do solo, ou seja, se o mesmo é residual ou transportado.

Nos solos residuais, a instabilidade é determinada, principalmente, pelas descontinuidades existentes, as quais são constituídas por feições estruturais reliquias do embasamento rochoso (falhas, fraturas, bandamentos) e por horizontes de solo formados por processos pedogenéticos (FERNANDES e AMARAL, 2003). A facilidade de infiltração da água em áreas com descontinuidades implica em uma maior predisposição a processos de instabilização, em virtude dos baixos valores de resistência associados ao aumento da pressão neutra (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004; BIGARELLA, 2003).

Os depósitos coluvionares, por outro lado, não apresentam qualquer estrutura da rocha de origem (LARA et al., 1997). São compostos por blocos e/ou fragmentos de rocha imersos em uma matriz de solo, transportados por gravidade e depositados no sopé de encostas (LACERDA e SANDRONI, 1985). Esse material é considerado por Vanacôr (2006) como o mais problemático em termos de estabilidade, uma vez que possui baixa resistência e, em função da grande porosidade e plasticidade, exhibe comportamento visco-plástico nos períodos de grande precipitação pluvial, o que favorece a ocorrência de movimentos de rastejo.

Os depósitos de tálus são formados principalmente por materiais detríticos como blocos e matações que se desprendem de encostas à montante e são, assim como os colúvios, indícios de movimentos de massa pretéritos (LARA et al., 1997). Ocorrem aem sopés das encostas de relevo acidentado, apresentam baixa coesão e podem, em face dessa característica, ser facilmente remobilizados a partir da execução de cortes, ocasionando novos movimentos de massa (MENDONÇA et al., 2011).

Outro fator que favorece a instabilização das encostas é a presença de solos pouco espessos sobre rochas maciças impermeáveis, formando um contato brusco. Segundo Fernandes e Amaral (2003) essa situação gera uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica ao longo do contato solo e rocha, impedindo o fluxo vertical, o que favorece a saturação do solo e, conseqüentemente, a geração de poropressões positivas elevadas.

2.3.4. Cobertura vegetal

A presença de cobertura vegetal influencia de diversas formas a estabilidade das encostas, podendo ser, em alguns casos, favorável à estabilidade, e em outros, desfavorável. Segundo Greenway (1989), a influência positiva da cobertura vegetal se dá por meio dos seguintes efeitos: (1) interceptação e redistribuição da água da chuva pelos galhos e folhas, impedindo o impacto direto das gotas na superfície do terreno e retardando a infiltração de água no solo; (2) acréscimo de resistência do solo, devido ao reforço mecânico proporcionado pelas raízes das árvores, principalmente as pivotantes e profundas; (3) retirada da umidade do solo pelas plantas através da absorção e evapotranspiração, o que reduz a poropressão e incrementa a sucção matricial; e (4) proteção do solo da ação direta da chuva, do vento e do sol, reduzindo as variações bruscas de umidade e temperatura.

A vegetação pode atuar também de maneira desfavorável à estabilidade das encostas, através de efeitos denominados cunha e alavanca. O efeito alavanca ocorre quando as copas das árvores são atingidas pelo vento e transmitem esforços à encosta, provocando a sua instabilização. Já o efeito cunha ocorre devido às raízes que penetram nas fendas e fissuras dos solos e rochas, as quais desagregam o solo e criam trincas que favorecem a infiltração de água (VARNES e IAEG, 1984). Além desses fatores, pode ocorrer o efeito negativo da sobrecarga dos taludes, em virtude do peso da vegetação.

Apesar de não existirem resultados conclusivos sobre a correlação entre vegetação e instabilidade de encostas, Lemes (2001) comenta que há um consenso de que a cobertura vegetal colabora, na maioria das vezes, de maneira positiva para estabilidade de taludes. Entretanto, a eficiência da cobertura vegetal como elemento mitigador dos movimentos de massa, depende de alguns fatores, como o volume e a densidade de folhas, altura das árvores, presença de vários estratos vegetais, tipo, forma, profundidade, diâmetro, comprimento, resistência e densidade das raízes. Dessa forma, os efeitos benéficos da vegetação podem ser observados apenas em locais que apresentam uma grande proporção de área vegetada no talude, com diferentes tipos de vegetação, ou seja, com estratos arbóreos, arbustivos e herbáceos, sendo que a vegetação nativa é a mais indicada. A presença de árvores isoladas na encosta dificilmente trará grandes benefícios à estabilidade, podendo, inclusive, tornar-se prejudicial.

Além disso, os efeitos positivos da vegetação na estabilidade das encostas não são, muitas vezes, suficientemente significativos para compensar outros fatores negativos relacionados ao

controle dos movimentos de massa, principalmente quando as demais características (como litologia, declividade, solo, entre outros) são favoráveis à ocorrência desses processos (RODRIGUES, 2002). Dessa maneira, muitos movimentos ocorrem em encostas densamente florestadas, como é o caso dos desastres ocorridos na Serra das Araras-RJ (1967), Timbé do Sul-SC (1995), Gaspar-SC (2008), Angra dos Reis-RJ (2010) e Região Serrana do RJ (2011).

2.3.5. Ação antrópica

Embora os movimentos de massa façam parte da dinâmica natural de áreas com encostas íngremes, a ação do homem, através de suas mais variadas formas de uso e ocupação do solo, interfere na evolução natural desses processos, atuando, conforme Zêzere et al. (1999), geralmente de maneira desfavorável à estabilidade das encostas.

Entre as principais interferências antrópicas indutoras dos movimentos de massa destaca-se: execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites seguros; execução deficiente de aterros; remoção da cobertura vegetal; lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas; disposição de resíduos sólidos urbanos nas encostas; escavações na base da encosta; obstrução da drenagem natural ou artificial pelo lançamento de lixo ou entulhos; sobrecarga das áreas edificadas; vibrações artificiais; atividades de mineração e cultivo de espécies impróprias (DIAS e HERRMANN, 2002; PISANI, 2003; USGS, 2004).

Dentre essas ações, a concentração de águas superficiais e/ou servidas talvez seja uma das mais críticas à estabilidade das encostas. A deficiência dos sistemas de drenagem ou sua ausência, juntamente com a construção de fossas e encanamentos improvisados e com a disposição *in natura* dos efluentes domésticos, favorece a infiltração de águas no solo e sua consequente saturação. O excesso de água no solo reduz sua resistência e cria fluxos de água subterrâneos, o que potencializa a ocorrência de movimentos de massa (FARAH, 2003).

Outro fator que condiciona os movimentos de massa, comum em moradias irregulares, é a execução de cortes com inclinações excessivas e de aterros inadequados para a construção de edificações e acessos. A execução de cortes com geometrias impróprias acentua a declividade da encosta natural e pode ainda, quando realizada sem o devido cuidado técnico, desconfinar porções de solo ou rocha com falhamentos (FARAH, 2003). Além disso, o material dos cortes é lançado, na maioria das vezes, a jusante, sem nenhum tipo de compactação, o que agrava as condições de instabilidade.

Tais ações podem ser vistas, frequentemente, nas encostas ocupadas irregularmente em Porto Alegre, estando as mesmas associadas ao crescimento desordenado da cidade. Nesse sentido,

Reckziegel (2012) e Oliveira et. al (2006) comentam que as ações antrópicas são os principais agentes desencadeantes e preparatórios dos movimentos de massa em Porto Alegre.

2.3.6. Precipitação pluvial

A precipitação pluvial é reconhecidamente o principal agente na deflagração de movimentos de massa no Brasil. Tanto as precipitações intensas e rápidas quanto as menos intensas e de maior duração podem desencadear esses processos. A interferência das chuvas se dá, sobretudo, através da elevação do nível d'água, aumento do peso específico do solo e redução de sua coesão, o que favorece as rupturas (AUGUSTO FILHO e VIRGILLI, 2004).

A ocorrência de grandes acumulados de precipitação pluvial acarreta na elevação da coluna d'água e, conseqüentemente, na saturação dos solos. Nessa situação, o aumento na quantidade de água intersticial resulta no incremento da poropressão positiva, na redução da resistência ao cisalhamento, na perda da sucção e na diminuição da coesão aparente. Desta forma, o equilíbrio da encosta é rompido, o que inicia o processo de movimentação do material intemperizado (IPT, 1991; BIGARELLA, 2003).

Os índices pluviométricos críticos para a deflagração de movimentos de massa dependem do processo de instabilização atuante. As corridas, por exemplo, por serem processos extremamente fluidos, ocorrem sob precipitação pluvial intensa e são afetadas pelo volume acumulado nos dias anteriores ao evento. As quedas, por outro lado, condicionadas por planos de fraqueza, são deflagradas por chuvas intensas e concentradas, sem a influência direta de chuvas anteriores (AUGUSTO FILHO e VIRGILLI, 2004).

O estabelecimento de correlações entre a precipitação pluvial e a ocorrência de movimentos de massa para o território brasileiro tem sido o objetivo de diversos estudos. Por exemplo, citam-se as correlações empíricas desenvolvidas por Tatizana et al. (1987), Feijó et al. (2001) e Parizzi et al. (2010) para diferentes regiões do país. Convém ressaltar que a definição de coeficientes de correlação é complexa, visto que as relações de causa e efeito são, geralmente, pontuais e restritas a uma área de estudo. Desta forma, Ahrendt (2005) comenta que no Brasil vários modelos chuva-deslizamentos errôneos foram disseminados, nos quais a topografia local ou regional é desconsiderada. Além disso, existem problemas oriundos dos dados de entrada, como a incerteza presente nas informações meteorológicas e a baixa qualidade dos dados históricos de deslizamentos.

2.3.7. Fatores condicionantes utilizados em mapeamentos de áreas suscetíveis a movimentos de massa

Não existe um fator único que possa ser utilizado para caracterizar com precisão a suscetibilidade a movimentos de massa, portanto, uma série de variáveis deve ser analisada de forma interativa. Além disso, os fatores condicionantes são específicos para cada mecanismo, de forma que são criadas diferentes combinações de fatores, as quais resultam em mapas de suscetibilidade distintos para cada um dos tipos de movimentos (VAN WESTEN et al., 2008; FELL et al., 2008).

Com o intuito de subsidiar a seleção dos fatores condicionantes neste estudo, realizou-se um levantamento detalhado dos parâmetros considerados na análise da suscetibilidade a movimentos de massa do tipo escorregamentos. Foram analisados 55 artigos publicados no período de 2000 a 2013, a maioria dos quais indexados pelo *Science Citation Index* (SCI) ou pelo *Science Citation Index Expanded* (SCIE), publicados em vários periódicos científicos. Cabe salientar que foram selecionados apenas aqueles que empregaram análises heurísticas e ferramentas de geoprocessamento, tais como a avaliação por múltiplos critérios (MCE), lógica *fuzzy* e/ou técnicas de ponderação, como o processo analítico hierárquico (AHP). O gráfico da Figura 5 ilustra a frequência dos fatores condicionantes utilizados nesses estudos. No Apêndice A é possível verificar os fatores empregados em cada trabalho.

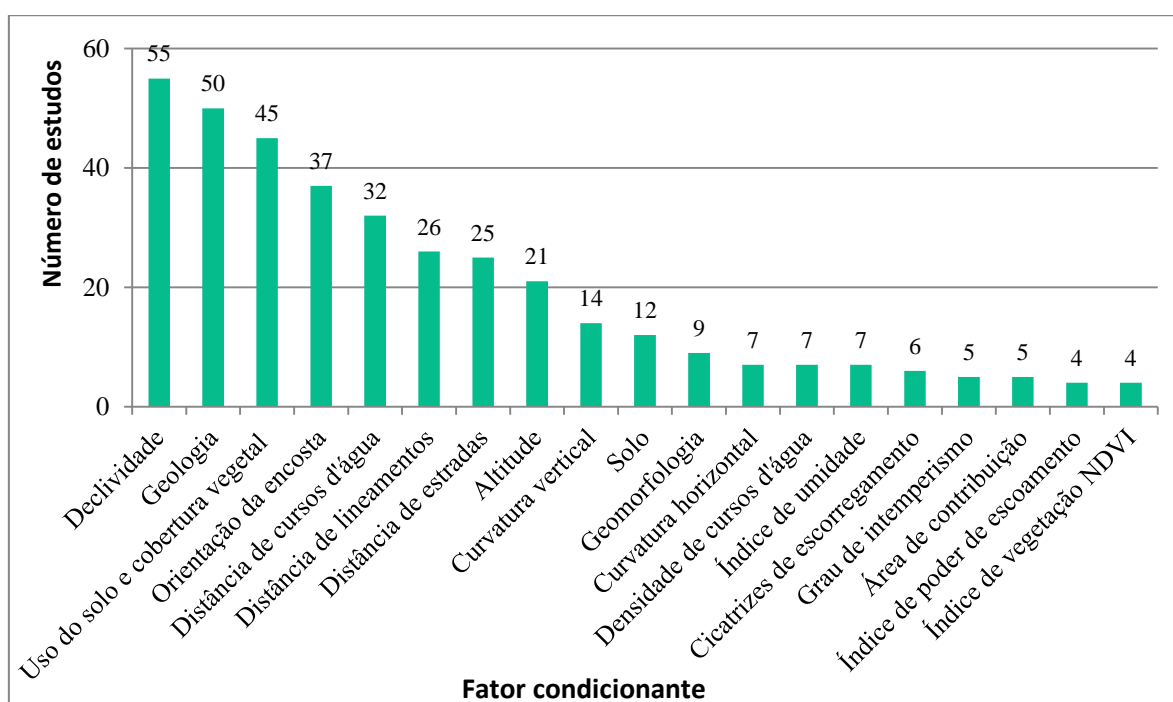


Figura 5: Fatores condicionantes utilizados em estudos de avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa.

O número de fatores condicionantes considerados nos mapeamentos de suscetibilidade analisados varia de três (CARVALHO e RIEDEL, 2004; AYALEW et al., 2005; ABELLA e VAN WESTEN, 2007; GÜNTHER et al., 2012) a doze (GHOSH et al., 2011), com um valor médio de sete variáveis. Os fatores utilizados variam conforme o objetivo do trabalho, a escala, a metodologia utilizada, o tipo de movimento de massa em análise e as características da área estudada. A declividade foi considerada em todos os estudos, seguida dos fatores geologia e uso do solo e cobertura vegetal, os quais foram considerados em 50 e 45 estudos, respectivamente. Verificou-se que, quando a variável geologia não foi adotada, a mesma foi substituída, em alguns casos, por informações referentes ao solo. A preferência por essas variáveis na análise da suscetibilidade se explica, em parte, pelo fato de contribuírem significativamente para a predisposição do terreno à ocorrência dos movimentos de massa e por estarem, em muitos casos, já disponíveis.

2.4. TIPOS DE AVALIAÇÕES DE ÁREAS PROPENSAS A MOVIMENTOS DE MASSA

Em virtude das múltiplas concepções possíveis e da finalidade do zoneamento, a avaliação de áreas propensas a movimentos de massa pode ser dividida em quatro categorias: inventário, suscetibilidade, perigo e risco (FELL et al., 2008). De maneira similar ao que ocorre com o termo movimento de massa, existe uma falta de homogeneização conceitual referente às definições desses termos. Essa lacuna possibilita diferentes interpretações, dificultando, em alguns casos, a compreensão dos diferentes mapas elaborados. Muitas publicações utilizam esses termos concomitantemente ou intercambiando-os. Outras, por sua vez, utilizam apenas um deles, não ficando claras as possíveis distinções existentes. No Brasil, tal fato foi responsável pela elaboração de extensa produção cartográfica denominada de risco, mas que na realidade, trata-se de mapas de suscetibilidade.

Com o intuito de auxiliar o entendimento destas avaliações e de suas finalidades, são apresentados os principais termos utilizados na temática, os quais servirão como base conceitual na presente pesquisa. São adotadas as definições sistematizadas por Varnes e pela Comissão de deslizamentos e outros movimentos de massa da IAEG (1984) e as terminologias utilizadas pelo JTC-1 (*Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes*) (FELL et al., 2008).

2.4.1. Inventário de movimentos de massa

O inventário de movimentos de massa consiste em um cadastro com os processos já ocorridos em uma determinada área. Ele contém a localização espacial desses eventos e pode incluir informações como o tipo do movimento, distância de deslocamento, volume, estado de atividade e data de ocorrência (SOETERS e VAN WESTEN, 1996; FELL et al., 2008). É a abordagem mais simples entre as avaliações de movimentos de massa existentes. Para sua elaboração são utilizados, geralmente, dados coletados no campo, dados de ocorrência histórica de acidentes e desastres, bem como informações obtidas com o auxílio da interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite (MANTOVANI et al., 1996).

Mantovani et al. (1996) citam que os inventários são fundamentais na previsão de novos processos, já que as condições de terreno em que movimentos de massa ocorreram no passado podem ser indicativas de futuros padrões de instabilidade. Além disso, Parise (2001) comenta que ele é a principal ferramenta utilizada na calibração e validação dos métodos de mapeamento de suscetibilidade.

2.4.2. Avaliação de suscetibilidade

A suscetibilidade é definida como a predisposição do terreno à ocorrência de um determinado fenômeno em uma área específica no futuro, independente do seu potencial destruidor e de seu período de recorrência. Para sua avaliação é necessário levar em consideração diversos fatores condicionantes que predispõem a instabilidade no território (GLADE e CROZIER, 2005; GUZZETTI, 2006). Convém ressaltar que ela reflete apenas a probabilidade espacial, mas não temporal, uma vez que a frequência de precipitações extremas ou de outros fatores desencadeantes não é considerada.

A suscetibilidade pode ser diferenciada em natural e induzida. A suscetibilidade natural serve como ferramenta para planejamento da ocupação de áreas ainda livres e apresenta, portanto, um caráter eminentemente preventivo. A suscetibilidade induzida, por outro lado, é determinada para áreas já urbanizadas, onde as atividades humanas alteraram extensivamente o terreno e, conseqüentemente, a suscetibilidade natural (PFALTZGRAFF, 2007).

A avaliação da suscetibilidade é essencial para o planejamento territorial, pois a partir da mesma é possível ponderar as vantagens e desvantagens da ocupação de diferentes áreas e identificar o tipo de ocupação mais apropriado às condições de cada uma. Além disso, a suscetibilidade constitui-se no primeiro passo para a avaliação de risco, indicando os locais onde devem ser realizados mapeamentos mais detalhados. Dessa forma, ela geralmente é

determinada em estágios preliminares do planejamento do uso do solo, o que, de acordo com Fell et al. (2008), permite reduzir custos pela limitação do mapeamento de risco apenas nos locais indicados como prioritários.

2.4.3. Avaliação de perigo

O perigo pode ser definido como a probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente danoso ou destrutivo em uma determinada área em certo período de tempo, incorporando a sua probabilidade temporal (VARNES e IAEG, 1984; GLADE e CROZIER, 2005; GUZZETI, 2006; FELL et al., 2008). Para tanto, os resultados da avaliação de suscetibilidade (probabilidade espacial) são combinados com os fatores desencadeantes dos movimentos de massa, como as precipitações intensas e sismos. Isso permite estabelecer uma frequência determinada, como por exemplo, uma probabilidade anual para os eventos potenciais.

O termo perigo (do inglês *hazard*) é muitas vezes confundido com a ameaça (do inglês *danger*), sendo muitas vezes considerado como sinônimo. Entretanto, a ameaça é o fenômeno natural (existente ou potencial) que pode acarretar em danos, não incluindo nenhum tipo de previsão na sua avaliação (BRESSANI e COSTA, 2013). O perigo, por outro lado, mostra a probabilidade quantitativa ou qualitativa com que os movimentos de massa podem ocorrer e ocasionar danos (FELL et al., 2008).

Os resultados da avaliação de perigo são empregados no planejamento territorial. No Brasil, eles são utilizados para fundamentar a emissão de alertas do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) e no planejamento das ações de reconstrução (DI GREGORIO et al., 2012). O mapeamento do perigo é indicado para estágios intermediários do planejamento do uso do solo, em escalas médias (FELL et al. 2008).

2.4.4. Avaliação de risco

O risco é definido como a probabilidade de que eventos adversos ocorram e resultem em consequências negativas sobre as pessoas, bens materiais e ao meio ambiente (OGURA e MACEDO, 2002). Ele pode ser determinado matematicamente pelo produto do perigo com a vulnerabilidade dos elementos a eles expostos (população, infraestrutura, atividades econômicas) e suas possíveis consequências (número de mortos, feridos, prejuízos diretos e indiretos) (VARNES e IAEG, 1984; GLADE e CROZIER, 2005; FELL et al., 2008).

A avaliação de risco fornece subsídios para a identificação das áreas críticas para a realização de intervenções estruturais e não estruturais, para o monitoramento das áreas sujeitas a

movimentos de massa e para o estabelecimento de ações conjuntas entre a comunidade e o poder público (DI GREGORIO et al., 2012). Ela também pode contribuir com as ações de caráter logístico no enfrentamento de situações emergenciais, na evacuação da população frente a um desastre eminente, nas operações de resgate e na restauração das áreas afetadas (MARCELINO et al., 2006). O mapeamento de risco geralmente deve ser realizado, preferencialmente, em escalas grandes, em virtude do nível de detalhe dos dados de entrada e dos custos associados a sua obtenção (FELL et al., 2008).

A Figura 6 apresenta o modelo conceitual de risco que orienta esse estudo. Percebe-se que dentre as avaliações de movimentos de massa existentes, a determinação do risco é a mais complexa, visto que envolve a análise de todos os outros componentes.



Figura 6: Relação conceitual entre suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade, danos e consequências e risco (adaptado de ZÊZERE, 2005).

2.5. MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Muitas técnicas têm sido propostas para o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, não existindo um método melhor ou mais adequado (YESILNACAR e TOPAL, 2005). A seleção da metodologia irá depender da disponibilidade, qualidade e precisão dos dados existentes, além da escala de mapeamento e resultados esperados. De maneira geral, os métodos de mapeamento podem ser divididos em análises heurísticas, determinísticas e estatísticas (BARREDO et al., 2000; FERNANDES et al., 2001; VAN WESTEN, 2004). A

Tabela 2 apresenta um resumo com os principais tipos de análise e técnicas aplicadas no mapeamento de suscetibilidade, suas respectivas características e escala recomendada.

Tabela 2: Principais tipos de análise aplicadas no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa, suas respectivas características e escala mínima recomendada.

Tipo de análise	Técnica	Características	Escala mínima recomendada		
			Pequena 1:100.000	Média 1:25.000	Grande 1:10.000
Inventário	Distribuição dos deslizamentos	Análise da distribuição espacial dos deslizamentos	sim ^a	sim	sim
	Atividade dos deslizamentos	Análise temporal das mudanças das características do meio	não	sim	sim
	Densidade dos deslizamentos	Análise da densidade de deslizamentos em unidades de terreno ou a partir de isoietas	sim ^a	não	não
Heurística	Análise geomorfológica	Considera a opinião de especialistas de campo	sim	sim ^b	sim ^b
	Combinação de mapas	Considera a opinião de especialistas na atribuição de pesos as variáveis analisadas	sim ^c	sim ^b	não
Estatística	Análise bivariada	Calcula a importância da contribuição dos fatores condicionantes	não	sim	não ^d
	Análise multivariada	Calcula a equação de previsão a partir de uma matriz de dados	não	sim	não
Determinística	Análise de fatores de segurança	Análise baseada em modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas	não	não	sim ^d

^a somente com dados confiáveis de distribuição de cicatrizes de deslizamentos

^b somente com suporte de outras técnicas quantitativas para obtenção de níveis de objetividade aceitáveis

^c somente se existe uma base de dados confiáveis dos fatores controladores dos deslizamentos

^d somente em condições de terreno homogêneas, considerando a variabilidade dos parâmetros geotécnicos

Fonte: Adaptado de Soeters e Van Westen (1996).

Cada técnica de mapeamento possui uma escala recomendada para a avaliação da suscetibilidade. Algumas requerem informações disponíveis apenas para áreas restritas, devido ao nível de detalhamento dos dados e custos associados. Já em outros casos as informações de entrada são mais genéricas, disponíveis para grandes áreas. Neste contexto, Aleotti e Chowdhuri (1999) salientam que a técnica deve ser selecionada em função da escala de trabalho, levando em consideração a relação custo/benefício. Por exemplo, a avaliação da suscetibilidade em áreas extensas pode basear-se na análise heurística ou estatística, em escalas médias. O resultado terá um caráter indicativo e subsidiará o planejamento urbano e

regional. Já para áreas menores, o mapeamento pode ser auxiliado por investigações geotécnicas com abordagens determinísticas, em escalas grandes, visto que essas técnicas são mais adequadas para situações específicas.

Independente da abordagem adotada, Van Westen et al. (2008) ressaltam que praticamente todas técnicas fazem uso de ferramentas de geoprocessamento em alguma etapa do mapeamento. Elas são utilizadas na coleta de dados com o GPS (*Global Positioning System*), no processamento de imagens de sensoriamento remoto e na análise e espacialização desses dados em SIG (Sistema de Informação Geográfica). Nesse sentido, Aleotti e Chowdhury (1999) comentam que, por exemplo, nas análises geomorfológicas o SIG serve basicamente como ferramenta de desenho, enquanto que em outras abordagens a decisão é feita praticamente toda em SIG, como é o caso de alguns modelos heurísticos e determinísticos. A intensa utilização do geoprocessamento nesses zoneamentos ocorre devido à sua flexibilidade e pela possibilidade de realização de análises complexas, bem como pela facilidade de atualização dos mapas gerados.

Convém ressaltar que os resultados de qualquer análise de suscetibilidade contêm incertezas, seja em função dos modelos utilizados, geralmente simplificados em relação à realidade, seja em função das variáveis selecionadas, que carregam consigo uma variabilidade intrínseca decorrente da heterogeneidade e anisotropia do meio que descrevem (SAFAEI et al., 2012). Contudo, são instrumentos valiosos para a tomada de decisão, pois permitem simular e prever cenários potenciais, bem como auxiliar na gestão de riscos. Nesse sentido, são descritos a seguir os principais métodos existentes para a avaliação da suscetibilidade, visando fornecer uma visão geral das potencialidades e limitações dos mesmos.

2.5.1. Métodos com base heurística

Os métodos com base heurística se fundamentam no conhecimento de especialistas para avaliar diretamente a suscetibilidade ou para ponderar as variáveis que a caracterizam. Eles podem ser divididos em: análise geomorfológica e combinação de mapas (FELL et al., 2008)

Na análise geomorfológica o grau de suscetibilidade é determinado diretamente pelos especialistas, com base em sua experiência individual e no raciocínio por analogia (FELL et al., 2008). Como depende de conhecimento tácito e as regras de decisão são implícitas, os resultados obtidos são de difícil reprodução. Consequentemente, a atualização do mapeamento se torna mais difícil. Esta metodologia é amplamente utilizada no Brasil, como exemplo citam-se os mapeamentos realizados pelo IPT (CERRI et al., 2007; MACEDO et al.,

2011; 2012) e pela CPRM (SAMPAIO et al., 2013). Nestes estudos os setores de risco são identificados com base na opinião da equipe durante a execução de trabalhos de campo, auxiliada pela aplicação de fichas, utilização de fotografias aéreas oblíquas e imagens de satélite. Apesar da subjetividade, Cerri et al. (2007) comentam que esta técnica permite avaliar de forma rápida e direta a instabilidade, sendo decisiva para a gestão de riscos e para a proposição de intervenções de caráter geral.

Na combinação de mapas o conhecimento de especialistas é utilizado para atribuir valores a um conjunto de variáveis que predispõem o terreno à ocorrência de movimentos de massa (MARCELINO, 2003). As regras de decisão adotadas são explícitas e a possibilidade de reprodução dos resultados é alta. Entretanto, as regras variam amplamente entre os pesquisadores, o que dificulta a comparação dos resultados obtidos. Yalcin (2008) obteve resultados satisfatórios na aplicação desta técnica ao mapear a suscetibilidade a escorregamentos na Turquia, com uma concordância de 81,3% entre os registros de ocorrência e os locais classificados como alta suscetibilidade. Valores similares foram obtidos por Young et al. (2010), Gemitzi et al. (2011) e Pourghasemi et al. (2012), com uma exatidão geral de 78,9%, 96,0% e 81,0%, respectivamente.

Os métodos heurísticos são de fácil aplicação e permitem uma avaliação rápida da suscetibilidade. Seu inconveniente principal está em sua subjetividade, já que o resultado depende diretamente da experiência e do conhecimento de quem está avaliando (BARREDO et al., 2000; GUZZETTI et al., 1999; FERNANDES et al., 2001). Contudo, Van Westen (2000) ressalta que a subjetividade não é necessariamente ruim quando a mesma tem base na opinião de um especialista. Esses métodos são aplicados, geralmente, em mapeamentos com escalas médias e pequenas, com o objetivo de estabelecer zonas de maior suscetibilidade. A partir deles é possível auxiliar no direcionamento dos mapeamentos quantitativos, otimizando assim, os trabalhos de campo a serem executados.

2.5.2. Métodos com base determinística

Os métodos com base determinística levam em consideração os princípios da teoria clássica de estabilidade de encostas e modelos matemáticos, como métodos de equilíbrio limite, técnicas de elemento finito e modelos hidrológicos (FELL et al., 2008). Esses métodos buscam reduzir a subjetividade, através da quantificação dos graus de suscetibilidade em valores absolutos, por meio do cálculo do fator de segurança da encosta (BARREDO et al., 2000). Vários modelos deterministas têm sido propostos, como exemplo, destaca-se o

SHALSTAB (*SHALlow STABility*), desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994), o SINMAP (*Stability INdex MAPping*), desenvolvido por Pack et al. (1998) e o TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability*), desenvolvido por Iverson (2000).

Entre esses modelos, destaca-se o SHALSTAB, o qual é baseado na combinação da equação de talude infinito e de um modelo hidrológico (CASADEI et al., 2003). Ele foi utilizado por Guimarães et al. (2003) no mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos rasos no maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. Os resultados encontrados demonstraram um excelente desempenho do modelo, sendo que quase a totalidade dos escorregamentos pretéritos localizaram-se nas áreas de alta suscetibilidade. O SHALSTAB tem sido amplamente aplicado no Brasil, como exemplo, citam-se os estudos de Fernandes et al., (2004), Guimarães et al., (2009), Ramos et al. (2007), Dourado e Roig (2012), entre outros. Apesar de seus benefícios, Zaidan e Fernandes (2009) ressaltam que este modelo não é adequado para áreas com solos espessos, com baixa declividade, com afloramentos rochosos e áreas escarpadas. Em função dessas limitações, sua aplicação é restrita a avaliação de escorregamentos do tipo translacionais rasos, onde esteja bem definido o plano de transição entre o solo e a rocha.

Apesar da precisão, a aplicação de métodos determinísticos exige uma ampla compreensão dos mecanismos de ruptura atuantes, além de grande quantidade de dados geotécnicos e hidrogeológicos. São necessárias informações de difícil obtenção para áreas extensas, como por exemplo, espessura e resistência ao cisalhamento do solo, pressão de lençóis subterrâneos, geometria do plano de ruptura, entre outros. Dessa maneira, os métodos determinísticos não são recomendados para mapeamentos de suscetibilidade em escalas médias e pequenas. Por outro lado, eles são os mais adequados para áreas pouco extensas ou para o mapeamento de encostas específicas, com condições de terreno relativamente homogêneas (SOETERS e VAN WESTEN, 1996; ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999; AYALEW e YAMAGISHI, 2005).

2.5.3. Métodos com base estatística

Os métodos com base estatística se fundamentam no relacionamento existente entre os movimentos de massa pretéritos e os fatores que condicionam a instabilidade. A partir destas relações determinam-se graus de suscetibilidade para os locais onde não existem registros de movimentos de massa, ou seja, assume-se que as condições que causaram instabilidades no passado correspondem às mesmas que poderão desencadear futuros eventos (DAI e LEE,

2002; FELL et al., 2008). Os métodos estatísticos podem ser divididos em análise bivariada e análise multivariada.

Na análise bivariada, cada fator predisponente é combinado com o mapa de distribuição dos movimentos de massa, e pesos baseados na densidade de eventos são calculados para cada fator. Para tanto, se utilizam técnicas de inferência, como a lógica *fuzzy* e inferência bayesiana (SOETERS e VAN WESTEN, 1996). Apesar de necessitar de grande qualidade e quantidade de dados, este tipo de análise é muito aplicado, principalmente devido à possibilidade de analisar áreas extensas. Como exemplo, citam-se os estudos de Anbalagan (1992), Clerici et al. (2002) e Van Westen et al. (2003).

Na análise estatística multivariada, considera-se para cada unidade amostral (polígono ou *pixel*) a presença ou ausência de movimentos de massa, por meio de uma matriz de dados que é exportada e analisada em um pacote estatístico, como a regressão múltipla e a análise discriminante. Este método é adequado para áreas não ocupadas, zonas homogêneas e áreas com apenas um tipo de movimento de massa (SOETERS e VAN WESTEN, 1996). Como exemplo de utilização desta técnica, citam-se os trabalhos desenvolvidos por Carrara et al. (1991), Ayalew et al. (2005), Santacana et al. (2003) e Van Den Eeckhaut (2006).

Van Westen et al. (1999) comentam que os métodos estatísticos garantem níveis superiores de reprodutibilidade dos dados quando comparados com os métodos heurísticos, uma vez que as regras de decisão são obtidas a partir de análises estatísticas e não com base em especialistas. No entanto, não é possível afirmar que este tipo de análise é mais objetivo, uma vez que um elevado grau de subjetividade é incorporado tanto na coleta dos dados de entrada (CARRARA et al., 1991), bem como na seleção dos fatores relevantes para a análise (DAI e LEE, 2002). Nesse sentido, Ermini et al. (2005) comentam que a confiabilidade de mapeamentos com base estatística depende diretamente da qualidade do mapa inventário e das variáveis selecionadas.

2.6. AVALIAÇÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS

A avaliação da suscetibilidade pressupõe a consideração de diversos fatores que condicionam a ocorrência dos movimentos de massa. O cruzamento dessas variáveis, como prevê o método da combinação de mapas com base heurística, constitui-se em um problema complexo, uma vez que cada fator influencia de maneira distinta na instabilização das encostas. Além deste problema, existem diversas instituições e profissionais envolvidos na análise dos movimentos

de massa, cada qual com um diferente ponto de vista quanto à importância relativa de cada fator, sendo difícil encontrar um consenso entre as partes interessadas.

Nessa perspectiva, os SIG tornam-se uma ferramenta extremamente útil, pois permitem combinar dados espaciais de diversas fontes, bem como realizar uma série de operações analíticas a fim de elaborar cenários, resolver conflitos e fornecer o suporte às decisões tomadas (BONHAM-CARTER, 1996). Entre as ferramentas de apoio à decisão incorporadas dentro dos SIG destacam-se os métodos de avaliação por múltiplos critérios (MCE - *Multi Criteria Evaluation*), devido a sua capacidade de comparar diferentes cenários conforme vários critérios. Os métodos de MCE agregam um valor substancial à informação, pois, não só permitem a abordagem de problemas complexos, mas também dão ao processo de tomada de decisão clareza e transparência, auxiliando os usuários a definir melhor o problema e a revisar sistematicamente suas decisões (USGS, 2012).

Para a integração de diferentes fatores com base na avaliação por múltiplos critérios podem-se utilizar diversas metodologias. O programa de geoprocessamento Idrisi possui três módulos específicos para a execução da MCE: a *booleana*; a média ponderada ordenada (OWA - *Ordered Weighted Average*); e a combinação linear ponderada (WLC - *Weighted Linear Combination*) (EASTMAN, 1998).

A abordagem *booleana* é a mais simples entre estas metodologias. Nesse método os fatores condicionantes são convertidos para a forma binária, onde o valor 1 (favorável) representa áreas nas quais a informação se adequa às condições impostas pelo estudo, enquanto que o valor 0 (desfavorável) representa áreas inadequadas. Após esta padronização, os fatores são combinados, gerando um mapa com as regiões que atendem ou não às condições estabelecidas (CÂMARA et al., 1996). Esse método foi aplicado por Marcelino e Formaggio (2004) e por Bispo et al. (2011) no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos no litoral norte do estado de São Paulo. Entretanto, ambos os autores obtiveram resultados insatisfatórios, em virtude da excessiva generalização das áreas favoráveis à ocorrência de movimentos de massa e da rigidez do mapa final.

Na combinação linear ponderada (WLC), os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, ponderados de acordo com a sua contribuição no processo estudado e combinados por meio de uma média ponderada (EASTMAN, 2009). O resultado é uma imagem de aptidão com valores contínuos que representam a adequação da superfície de estudo para o objetivo proposto. Entre os métodos de avaliação por múltiplos critérios, a WLC é a mais utilizada para mapear a suscetibilidade. Por exemplo, citam-se os

mapeamentos elaborados por Barredo et al. (2000), Ayalew et al. (2004; 2005), Ladas et al. (2007), Abella e Van Westen (2008) e Yalcin (2008).

O método da média ponderada ordenada diferencia-se da combinação linear ponderada porque, além de utilizar os pesos de importância dos critérios (chamados de pesos de compensação), considera outros conjuntos de pesos, denominados pesos de ordenação (EASTMAN, 2009). Os pesos de ordenação controlam a maneira pela qual os pesos de compensação são agregados, possibilitando um maior grau de controle sobre o nível global de compensação entre os fatores, assim como do nível de risco na determinação da aptidão (EASTMAN, 1998; JIANG e EASTMAN, 2000). Esse método de agregação possui poucos exemplos de aplicação no mapeamento de suscetibilidade, como por exemplo, Gorseviski et al. (2006) e Feizizadeh e Blaschke (2013).

2.6.1. Técnicas de ponderação de critérios aplicadas na avaliação por múltiplos critérios

Nas abordagens não *booleanas* de avaliação por múltiplos critérios, como a WLC e a OWA, deve-se determinar a importância relativa de cada fator para a suscetibilidade a movimentos de massa. Essa determinação pode ser realizada através da atribuição direta de pesos para cada fator condicionante ou com o auxílio de técnicas de ponderação. A utilização dessas técnicas permite reduzir a imprecisão e subjetividade inerentes à atribuição de pesos. Nesse sentido, destacam-se as seguintes propostas: ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*), desenvolvida por Roy (1968); AHP (*Analytical Hierarchy Process*), desenvolvida por Saaty (1977); MAHP (*Multiplicative Analytical Hierarchy Process*), proposta por Lootsma (1993); e MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), desenvolvida por Bana e Costa e Vansnick (1999). A Tabela 3 apresenta uma comparação entre as principais técnicas de ponderação utilizadas na avaliação por múltiplos critérios conforme determinadas características de desempenho.

Dentre as técnicas mostradas na Tabela 3, a mais utilizada é o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam o processo são comparados par a par, e um valor de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, segundo uma escala pré-definida (SAATY, 2008). Mendoza et al. (1999) comenta que o AHP facilita a compreensão do problema por parte do decisor, uma vez que ao estruturá-lo hierarquicamente, decisões complexas são reduzidas em uma série de comparações simples entre os elementos da hierarquia de decisão. Além disso, Boritz (1992) aponta que o AHP

permite avaliar o grau de inconsistência presente nos julgamentos e, desse modo, ajuda a assegurar que somente ordenações justificáveis sejam utilizadas como base para avaliações. Devido a sua flexibilidade e simplicidade, bem como pela sua aplicabilidade em situações que envolvem a participação de especialistas de diferentes áreas de interesse, o AHP vem sendo amplamente utilizado na ponderação dos fatores que condicionam os movimentos de massa. Como exemplo de estudos que utilizam essa técnica citam-se os trabalhos desenvolvidos por Yalcin (2008), Akgün e Türk (2010), Hasekiogullari e Ercanoglu (2012), Mondal e Maiti (2012), Feizizadeh et al. (2013).

Tabela 3: Comparação teórica entre as técnicas de ponderação AHP, MAHP e ELECTRE.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO	AHP	MAHP	ELECTRE
Entrada de dados (input)			
Utilização em decisões com vários níveis	sim	sim	não
Restrições quanto à quantidade de elementos em um nível	sim	não	não
Quantidade de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas	alta	média a alta	baixa
Necessidade de processar os dados antes que estes possam ser utilizados	não	sim	sim
Possibilidade de tratar dados quantitativos e qualitativos	sim	sim	sim
Possibilidade de criar as escalas de julgamento de acordo com o contexto	não	sim	não
Saída de dados (output)			
Problemas com avaliação de desempenho em classes	não	não	não
Proporciona ranking completo de alternativas	sim	sim	não
Proporciona soluções muito refinadas	sim	sim	não
Proporciona somente eliminação de algumas alternativas	não	não	sim
Permite a avaliação de coerência dos julgamentos	sim	não	não
Interface tomador de decisão versus método			
Disponibilidade de <i>software</i> para <i>download</i> gratuito	sim	não	não
Necessidade de um especialista no método utilizado	média	alta	média
Utilização de decisões em grupo	sim	sim	não
Possibilita a participação de diversas pessoas na decisão	sim	sim	sim
Facilidade para estruturar o problema	alta	média	n/a
Possibilita o aprendizado sobre a estrutura do problema	sim	sim	n/a
Nível de compreensão conceitual e detalhada do modelo e algoritmo	alto	médio	baixo
Nível de compreensão do decisor referente à forma de trabalho	alto	alto	baixo
Transparência no processamento e nos resultados	alta	baixa	média
Quantidade de aplicações práticas e científicas	alta	baixa	baixa

Fonte: Adaptado de Guglielmetti et al. (2003).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo compreende o município de Porto Alegre, localizado na porção leste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 7), entre as latitudes 29°55' S e 30°16' S e longitudes 51°01' W e 51°17' W. Porto Alegre possui uma área total de 476,3 km² e limita-se ao norte com os municípios de Eldorado do Sul, Triunfo, Nova Santa Rita, Canoas e Cachoeirinha; a leste com Viamão e Alvorada; a sul e oeste com o lago Guaíba.

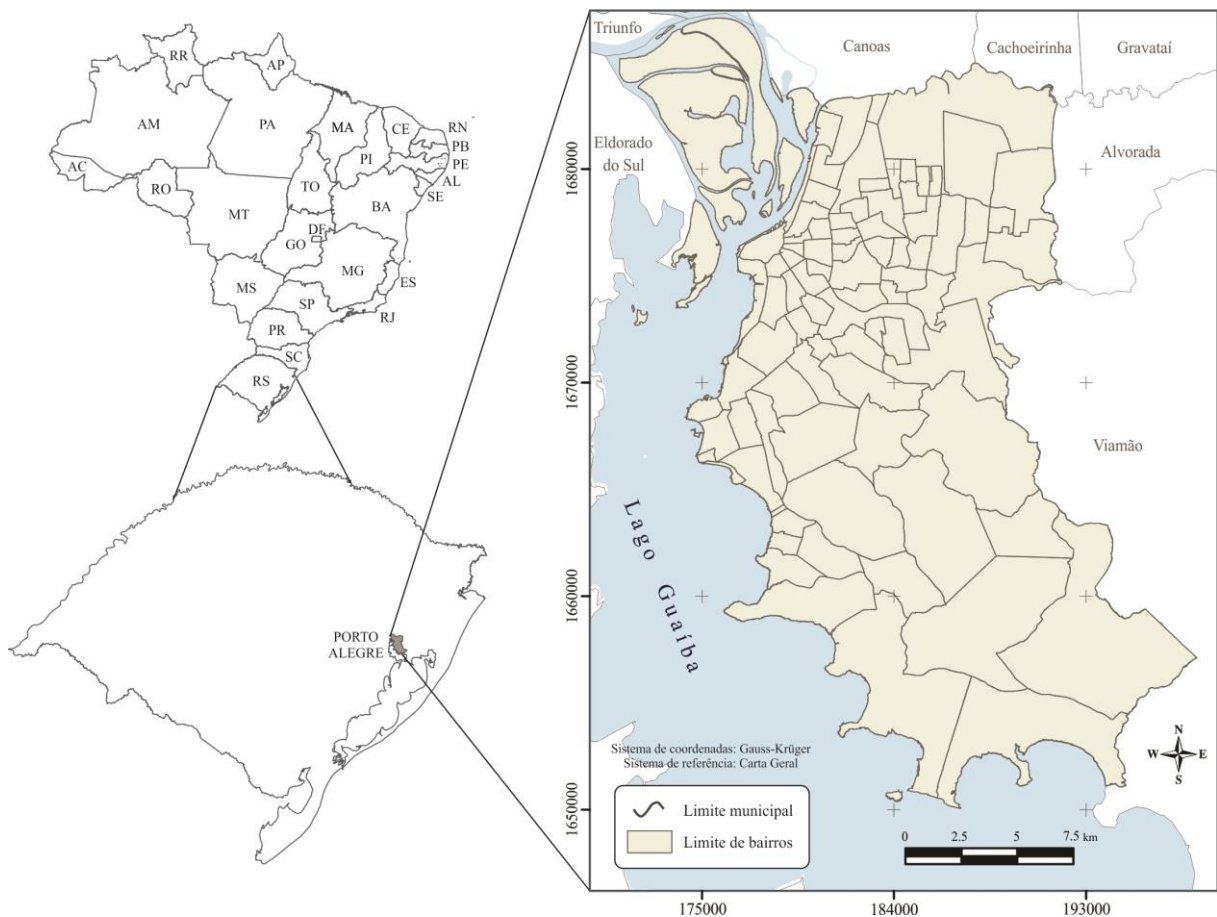


Figura 7: Localização do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

3.2. CLIMA

O clima do município de Porto Alegre enquadra-se, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, como sendo subtropical úmido (Cfa), por registrar valores de temperatura média entre -3°C e 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente (LIVI, 1998).

De acordo com os dados climáticos coletados no 8º Distrito de Meteorologia entre os anos de 1961 e 1990, a precipitação pluvial é distribuída durante o ano, sendo o período com maior acumulado de junho a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.320 mm, com extremos de 1.984 mm em 1972 e 1.052 mm em 1988 (INMET, 2009). A maior precipitação registrada em 24 horas nos últimos 53 anos foi de 165 mm, no dia 3 de maio de 2008 (INMET, 2014). As normais climatológicas para o período de 1961 a 1990 são apresentadas na Figura 8, onde se percebe que Porto Alegre possui forte amplitude térmica anual, com verão e inverno bem definidos, e inexistência de período seco.

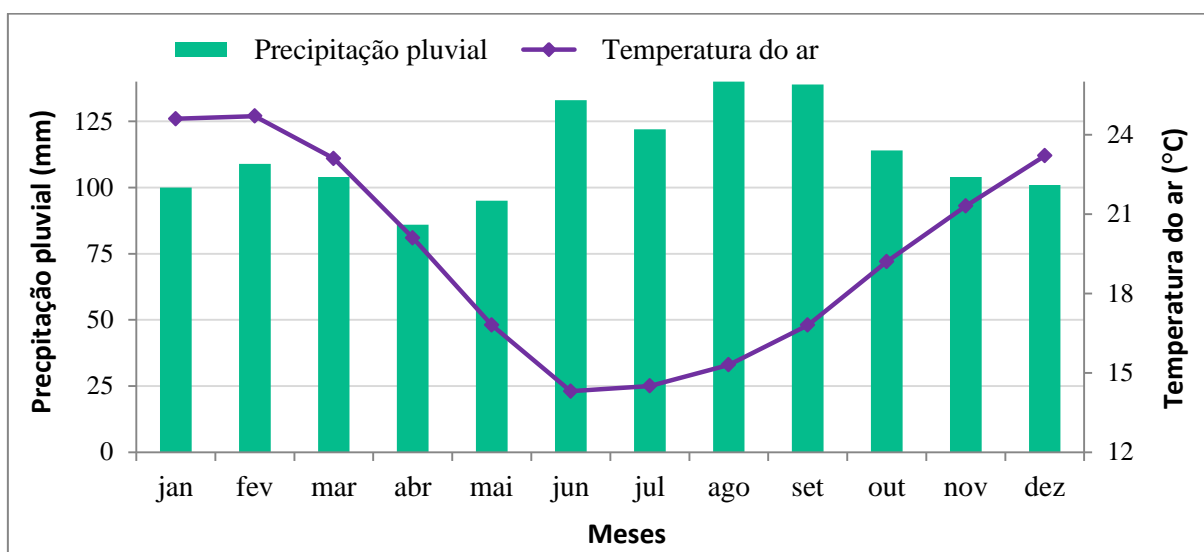


Figura 8: Temperatura média mensal e precipitação pluvial média mensal no município de Porto Alegre (1961 a 1990) (elaborado a partir de INMET, 2009).

Convém salientar que a precipitação pluvial apresenta grande variabilidade espacial, ocorrendo com intensidades distintas nas diferentes regiões de Porto Alegre. Por exemplo, no ano de 2008, as precipitações registradas no pluviômetro da Lomba do Pinheiro, no leste do município, foram 43% superiores do que as coletadas na estação Belém Novo, localizada na zona sul (LIMA, 2010).

O clima da região é controlado, principalmente, por massas de ar de origem tropical marítima e polar marítima. Na primavera-verão, a área de estudo encontra-se sob domínio da massa tropical marítima, responsável por fenômenos meteorológicos de grande relevância, como precipitações intensas e de curta duração. Já no outono-inverno, ocorre a alternância entre as massas de ar marítima e polar, o que acarreta na instabilidade climática, gerando chuvas menos intensas e de duração mais prolongada (FERRARO e HASENACK, 2000). Este período (outono-inverno) coincide com o maior número de ocorrências de movimentos de massa no município (RECKZIEGEL, 2007).

3.3. GEOLOGIA

O município de Porto Alegre está localizado na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense e possui, como substrato, rochas pré-cambrianas, com idades superiores a 570 milhões de anos (PHILIPP, 2008). Estas unidades situam-se na porção nordeste do Batólito Pelotas, no Cinturão Dom Feliciano, e são representadas, principalmente, por rochas graníticas neoproterozoicas, gnaisses paleoproterozoicos e diques de composição ácida (riolitos e dacitos) e básica (diabásios) (PHILIPP, 2008; PHILIPP e CAMPOS, 2004). Recobrimo estas unidades ocorrem depósitos sedimentares mais jovens, de idade cenozoica, representados por depósitos aluviais, eluviais, terraços e cordões arenosos (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995). O mapa com a distribuição das diferentes unidades geológicas existentes no município está ilustrado na Figura 10.

Os corpos graníticos apresentam formas alongadas na direção NE-SW, concordante com as principais estruturas tectônicas regionais (falhas e zonas de cisalhamento) e destacam-se no relevo por constituírem um conjunto de cristas, morros e coxilhas. São individualizados em cinco unidades litológicas: Granito Viamão, Granito Independência, Granito Canta Galo, Granito Ponta Grossa e Granito Santana (PHILIPP, 2008; SCHNEIDER et al., 1974). Apresentam-se bastante afetados pelo intemperismo, principalmente ao longo de descontinuidades, tais como fraturas de alívio de tensão, fraturas tectônicas, diaclases e foliações ígneas ou tectônicas (PHILIPP et al., 1994; ROBAINA et al., 1994). Essas estruturas atuam como caminhos preferenciais de alteração das rochas, permitindo que a frente de intemperismo avance para o interior do maciço de modo mais efetivo. Esta situação, associada à declividade do terreno, tornam estas unidades mais propensas à ocorrência de movimentos de massa, principalmente nas regiões mais fraturadas, nas bordas dos corpos graníticos e próximas aos grandes lineamentos estruturais (ROBAINA et al., 1994). Nesse sentido, Reckziegel (2012) destaca que aproximadamente 75% dos movimentos de massa registrados em Porto Alegre entre os anos de 1995 e 2010 ocorreram nos corpos graníticos.

O **Granito Santana** constitui a feição geomorfológica mais marcante da Crista de Porto Alegre (MENEGAT et al., 2006). Possui forte foliação ígnea e milonítica nas regiões de borda, e é limitado por zonas de cisalhamento rúpteis-dúcteis de orientação NE-SW (PHILIPP et al., 2009). Apresenta uma cobertura centimétrica de rocha alterada e aflora em campos de matações nas encostas dos morros (Figura 9) e em lajeados nos topos de morros (PHILIPP, 2008). Nestes locais, podem ocorrer processos do tipo rolamento de blocos, pela perda do

suporte devido à atuação de processos erosivos. De acordo com o inventário elaborado por Reckziegel (2012) 84 movimentos de massa ocorreram nessa unidade entre 1995 e 2010.



Figura 9: Afloramento em campo de matacões do Granito Santana no Morro da Polícia (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 6672010 m N 482346 m E).

O **Granito Ponta Grossa** distribui-se irregularmente na região centro-oeste de Porto Alegre, com algumas ocorrências no extremo sul do município. Aflora em lajeados e em campos de matacões, com diâmetros variando entre 4 e 20 metros (PHILIPP et al., 2009). Possui um médio grau de intemperismo, com um manto de alteração de 2 a 3 metros nos vales e de 30 centímetros a 1 metro nas encostas e topos de morros (PHILIPP, 2008). Nesta unidade foram mapeados por Reckziegel (2012) 42 registros de movimentos de massa.

O **Granito Viamão** é a unidade plutônica de maior ocorrência em Porto Alegre. Apresenta uma série de características texturais e estruturais, tais como foliação ígnea de fluxo e ocorrência de diversas zonas de falha. Verifica-se, ainda, a presença de zonas de cisalhamento dúcteis próximo ao contato com o Granito Santana. Ocorre geralmente alterado, com um manto de intemperismo de 1 a 3 metros. Apresenta afloramentos em campos de matacões, com diâmetros variando entre 1 e 6 metros (PHILIPP, 2008).

O **Granito Independência** localiza-se em uma área elevada ao norte do município, denominada Crista da Matriz, sendo controlado por fraturas com direção N50°W. Schneider et al. (1974) e Philipp (2008) comentam que a estabilidade de taludes nesta unidade é dificultada em virtude da espessura do manto de alteração, que varia entre 2 e 15 metros, associada à presença de biotita e muscovita. Contudo, não existem registros de movimentos de massa nesta unidade (RECKZIEGEL, 2012). Tal fato pode estar associado ao processo ordenado de uso e ocupação do solo que ocorreu nesta região.

O **Granito Canta Galo** ocorre restrito ao extremo sudeste do município, com raros afloramentos em blocos soltos envolvidos por um espesso manto de alteração, o qual varia de 10 até 40 metros. Esta unidade apresenta intensa alteração intempérica que a transformou em uma das principais fontes de extração de saibro para construção civil em Porto Alegre (PHILIPP et al., 2009). Apesar de possuir um espesso perfil de alteração, ocorre em uma região pouco habitada, sem registros de movimentos de massa (RECKZIEGEL, 2012).

Além das unidades graníticas, ocorrem também rochas mais antigas, de idade paleoproterozóica, agrupadas na unidade **Gnaisses Porto Alegre**. Estas rochas concentram-se na porção norte do município, em uma área intensamente urbanizada e com raros afloramentos. Apresentam característicos bandamentos irregulares e encontram-se bastante afetadas pela alteração intempérica, com um espesso perfil de alteração que pode chegar até 35 metros (PHILIPP e CAMPOS, 2004; PHILIPP, 2008). A orientação destes bandamentos composicionais influencia diretamente a estabilidade das encostas, sendo a situação mais desfavorável aquela onde estas estruturas mergulham para fora da encosta (IPT, 1991; FERNANDES e AMARAL, 2003). Cerca de 20 movimentos de massa foram registrados nessa unidade por Reckziegel (2012).

As últimas manifestações de magmatismo na região de Porto Alegre são representadas por **Diques de Diabásio** e **Diques de Riolito**, direcionados segundo N10°-20°W. Encontram-se distribuídos principalmente nas adjacências do Granito Santana (PHILIPP, 2008). Os diques de diabásio, quando presentes nos maciços graníticos e gnáissicos, influenciam a dinâmica hidrológica de modo semelhante às falhas, podendo condicionar a ocorrência de movimentos de massa (FERNANDES e AMARAL, 2003).

Sobrepostas às unidades do embasamento cristalino pré-cambriano, ocorrem unidades sedimentares cenozoicas, como os **Depósitos Aluviais**, **Depósitos Eluviais**, **Terraços** e **Cordões Arenosos**. Estas unidades formaram-se durante as últimas transgressões e regressões marinhas que deram origem a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995). Concentram-se, sobretudo, nas regiões mais planas e próximas aos corpos d'água, nos extremos norte e sul do município, sendo assim, pouco suscetíveis a movimentos de massa. Apesar disso, um total de 27 movimentos de massa foram registrados por Reckziegel (2012) nestas unidades, principalmente nos depósitos eluviais do escudo. A ocorrência desses processos nestas regiões está associada à ação humana, a qual acelera e até mesmo deflagra os movimentos de massa, principalmente através da realização de cortes com geometrias inadequadas.

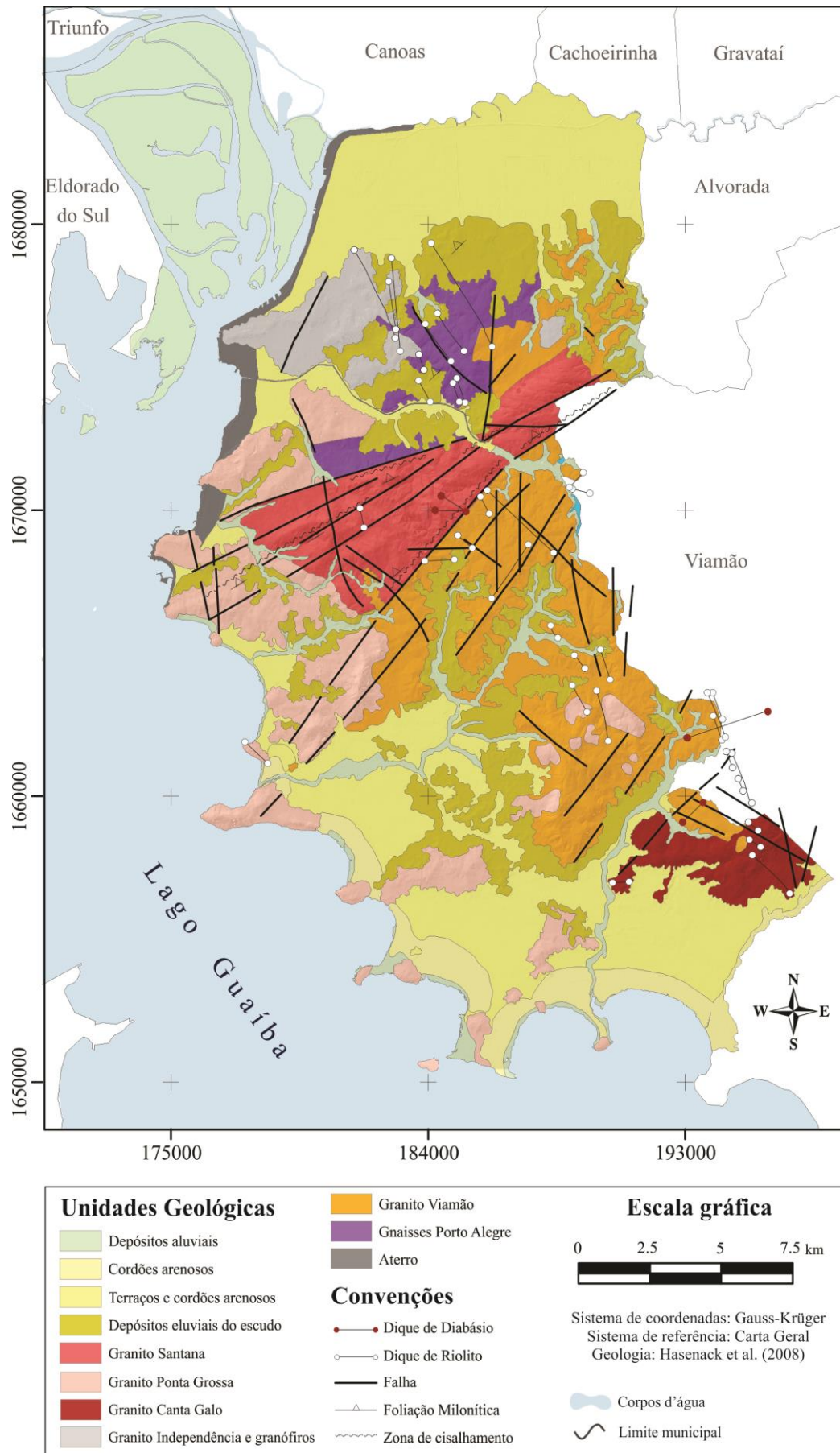


Figura 10: Mapa geológico do município de Porto Alegre (PHILIPP, 2008).

3.4. GEOMORFOLOGIA

O município de Porto Alegre está inserido em duas unidades morfoestruturais, segundo a proposta taxonômica de Ross (1992): o Escudo Uruguaio Sul-Rio-Grandense e a Bacia Sedimentar de Pelotas, representadas pelas morfoesculturas Planalto Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira, respectivamente (MOURA e DIAS, 2010; 2012). A distribuição dos diferentes compartimentos do relevo no município está ilustrada na Figura 13. Dentre esses compartimentos, os mais importantes em termos de desenvolvimento de processos de movimentos de massa são os inseridos no Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense, em virtude de suas elevadas declividades e altitudes. Eles são divididos em quatro tipos de formas de relevo: morros, morros associados com colinas, morros isolados e colinas.

O **padrão em forma de morros** encontra-se distribuído, principalmente, na parte central do município e apresenta as maiores elevações, com altitudes médias entre 210 e 240 m e elevação máxima de 311 m no Morro Santana. As declividades predominantes situam-se entre 10 e 20%, entretanto, em alguns locais é possível observar declividades superiores a 100%. As vertentes apresentam forma retilíneo-côncava, com uma rede de drenagem caracterizada por arroios com vales bem entalhados (DIAS et al., 2009; FUJIMOTO e DIAS, 2009). A maior parte dos movimentos de massa registrada em Porto Alegre ocorre em locais com essa unidade morfológica (RECKZIEGEL, 2012), principalmente na Crista de Porto Alegre (Figura 11), que se estende por 22 km na direção NE-SW (MENEGAT et al., 2006).



Figura 11: Vista parcial da Crista de Porto Alegre (Orientação SE).

O **padrão em forma de morros isolados** concentra-se na porção sul de Porto Alegre. As altitudes são menos elevadas, situando-se predominantemente entre o intervalo de 30 e 60 m, com declividades de 5 a 10%. Os morros isolados apresentam formas arredondadas ou alongadas, com topos convexos e vertentes com segmento retilíneo-côncavo (DIAS et al., 2009; FUJIMOTO e DIAS, 2009; MOURA e DIAS, 2012).

O **padrão em forma de morros associados com colinas** apresenta altitudes médias entre 30 e 90 m e declividades entre 2 e 10%. As vertentes possuem segmento predominantemente convexo-côncavo, sendo possível observar, em alguns locais, significativas rampas coluvionares, as quais se caracterizam por depósitos originados por processos de movimentos de massa (DIAS et al., 2009; FUJIMOTO e DIAS, 2009; MOURA e DIAS, 2012). Devido a estas características, podem ocorrer movimentos lentos de solo nesses locais, como rastejos.

O **padrão em forma de colinas** localiza-se no centro-leste de Porto Alegre, com altitudes predominantes entre 40 e 80 m e declividades variando de 5 a 10%. É encontrado também no norte do município, com altitudes entre 20 e 60 m e declividades entre 0 e 2%. É característico de vertentes com segmento predominantemente convexo-côncavo (DIAS et al., 2009; FUJIMOTO e DIAS, 2009; MOURA e DIAS, 2012). A Figura 12 ilustra o padrão de relevo em forma de colina encontrado na porção leste da área do Bairro Cascata, junto ao limite com o bairro Lomba do Pinheiro.



Figura 12: Padrão de relevo em forma de colina, localizado no extremo leste do bairro Cascata (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 483956 m E 6671542 m N).

O relevo da Planície Costeira, localizado no extremo norte e sul do município, está associado à deposição marinha e lagunar, configurando-se em uma área plana, homogênea e sem dissecação (MOURA e DIAS, 2012). Este relevo está representado pelos seguintes padrões de formas: colinas isoladas, patamares planos, planície flúvio-lagunar, planície flúvio-lagunar com banhados, planície flúvio-lagunar com cordões arenosos, planície fluvial, planície deltaica e superfície plana tecnogênica (Figura 13). Tais compartimentos apresentam como característica marcante baixas altitudes e declividades e, conseqüentemente, baixa suscetibilidade a movimentos de massa. Dessa forma não será dada ênfase a estas unidades neste estudo.

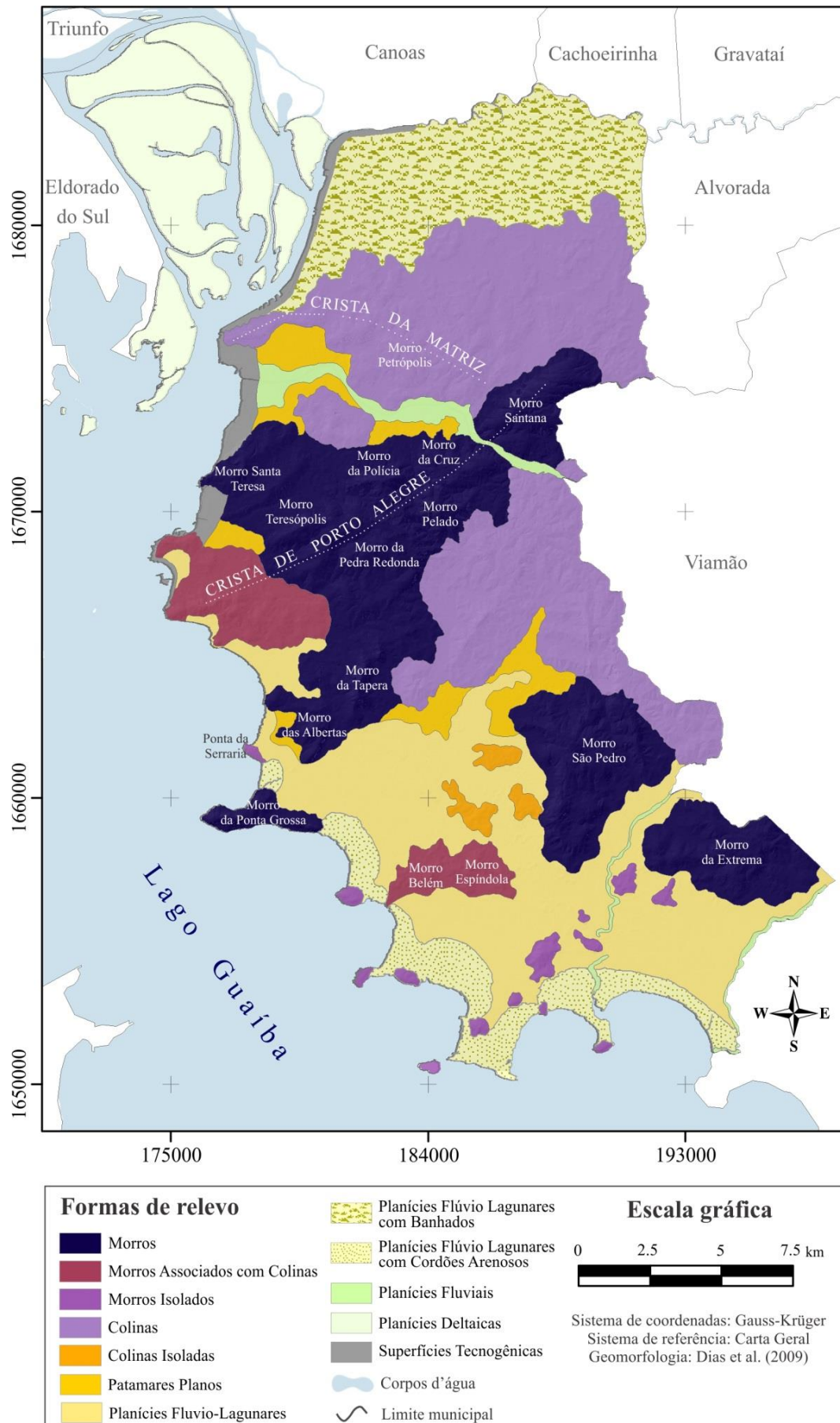


Figura 13: Mapa geomorfológico do município de Porto Alegre (DIAS et al., 2009).

3.5. SOLOS

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (SANTOS et al. 2006), são encontrados no município de Porto Alegre seis classes taxonômicas de solos em nível de ordem: Argissolos, Cambissolos, Neossolos, Planossolos, Gleissolos e Plintossolos. Eles são, de maneira geral, pouco desenvolvidos pedologicamente, apresentando horizontes A e B pouco espessos e horizonte C saprolítico mais espesso e heterogêneo (SCHNEIDER et al., 2008).

A Figura 14 mostra um corte transversal hipotético com a sequência típica dos solos em Porto Alegre. No topo e nas porções superiores das vertentes, onde predominam cristas, morros e colinas, destacam-se os solos não hidromórficos, como os neossolos e argissolos, os quais ocorrem em condições de boa drenagem. Já nas porções inferiores das vertentes, com declividades baixas, formadas pelos terraços lacustres e fluviais, verifica-se a presença de solos hidromórficos como os planossolos e gleissolos (MOURA e RUEDA, 2006).

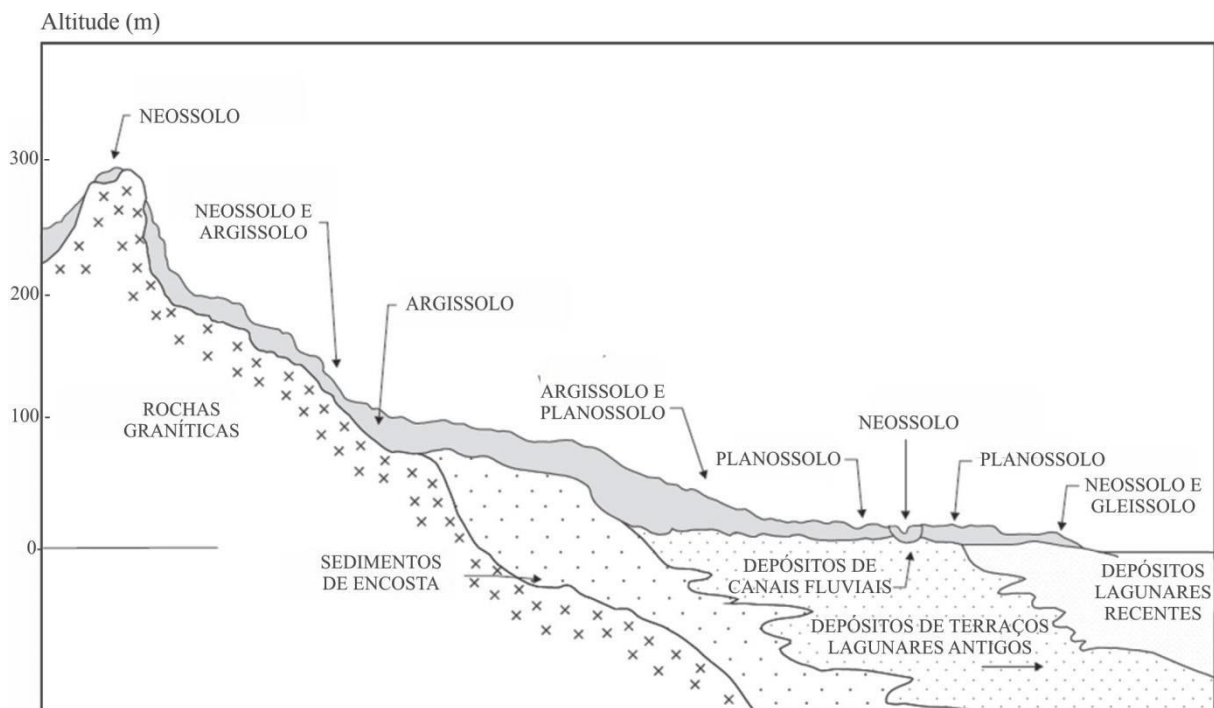


Figura 14: Corte transversal hipotético com a sequência típica dos solos, substratos geológicos e o relevo no município de Porto Alegre (adaptado de VALENTE, 1999).

Em função da complexidade da ocorrência dos solos na região, os mesmos foram agrupados por Schneider et al. (2008) em unidades de mapeamento, as quais podem ser do tipo associação de solos ou grupo indiferenciado de solos. A Tabela 4 relaciona as unidades de mapeamento, unidades geotécnicas, descrição da área de ocorrência e respectiva capacidade

de infiltração dos solos que ocorrem na área de estudo. Já a Figura 15 mostra a distribuição espacial das unidades de mapeamento de solos no município de Porto Alegre.

De acordo com o mapeamento realizado por Reckziegel (2012), não existem registros de movimentos de massa nos solos hidromórficos. Esses processos se desenvolvem predominantemente em associações de solos do tipo Cambissolos (CX), ocorrendo também nos Argissolos (PV1 e PV2). A maior frequência de movimentos de massa nos solos não hidromórficos pode ser explicada, em parte, pelo seu posicionamento nas encostas e, conseqüentemente, ao tipo de relevo associado aos mesmos. Além disso, estes solos, principalmente os mais rasos, tendem a ser mais suscetíveis aos escorregamentos, devido à camada impermeável gerada pelo substrato rochoso, que favorece o encharcamento do solo e a presença de escoamento sub-superficial (MARCELINO, 2003).

A Associação de cambissolos háplicos com neossolos litólicos ou regolíticos (CX) ocorre em topos e encostas de morro com relevo fortemente ondulado a montanhoso. São solos bem drenados, entretanto, quando situados em depressões do relevo, podem apresentar períodos de encharcamento devido à acumulação das águas provenientes das cotas mais elevadas. São rasos, com profundidades inferiores a 1 metro e possuem um perfil com horizontes A-R, A-C-R ou mesmo A-B-C-R (SCHNEIDER et al., 2008). Apresentam uma elevada incidência de afloramentos rochosos e matacões de grandes dimensões, sendo suscetíveis à ocorrência de rolamentos, tombamentos e quedas de blocos. Em decorrência dessas características, Schneider et al. (2008) comentam que essa classe de solo apresenta baixa aptidão a ocupação.

O Grupo indiferenciado de argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos (PV1) ocorre em topos e encostas de elevações com relevo suavemente ondulado e ondulado, associado aos segmentos côncavos dos morros. São solos profundos, com espessuras superiores a 1,50 metros até a rocha alterada, apresentando um perfil com horizontes A-B-C bem definidos. A cor avermelhada no horizonte B é indicativa de solos bem drenados, com ausência de encharcamento prolongado após a incidência de chuvas. Já a cor amarelada é indicativa de solos moderadamente drenados, onde ocorre a remoção mais lenta da água após as chuvas (SCHNEIDER et al., 2008).

A Associação de argissolos vermelho ou vermelho-amarelos com cambissolos háplicos (PV2) ocorre em topos e encostas de morro e nos terços inferiores de encostas com relevo ondulado a montanhoso. Sua distribuição abrange, principalmente, as áreas mais elevadas à oeste. São solos medianamente profundos, com um perfil de horizontes A-B-C bem definido (SCHNEIDER et al., 2008).

Tabela 4: Unidades de mapeamento de solos no município de Porto Alegre.

Sigla	Unidade de Mapeamento	Unidade Geotécnica	Descrição da área de ocorrência	Capacidade de infiltração (mm/h)
PV1	Grupo indiferenciado de argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos	Podzólico vermelho-amarelo	Topo e encosta de elevações, em relevo suavemente ondulado e ondulado	3,8 a 7,6
PV2	Associação de argissolos vermelhos ou argissolos vermelho-amarelos com cambissolos háplicos	Podzólico/Litólico	Topo e encosta de elevações, em relevo suavemente ondulado e ondulado	1,3 a 3,8
CX	Associação de cambissolos háplicos com neossolos litólicos ou regolíticos	Litólico	Topo e encosta dos morros graníticos, em relevo fortemente ondulado a montanhoso, com declividades elevadas; ocorrência de afloramentos rochosos	< 1,3
SG1	Associação de planossolos hidromórficos, gleissolos háplicos e plintossolos argilúvicos	Hidromófico	Planícies aluviais e lagunares com microrelevo	< 1,3
SG2	Associação de planossolos hidromórficos, gleissolos háplicos e neossolos flúvicos	Hidromófico	Áreas marginais ao longo de arroios em relevo plano	< 1,3
GX	Associação de gleissolos háplicos e planossolos hidromórficos	Hidromófico	Planícies aluviais e lagunares	< 1,3
G1	Associação de gleissolos e neossolos flúvicos	Hidromófico	Planícies aluviais situadas nas ilhas do Delta do Jacuí	1,3 a 3,8
G2	Associação de gleissolos, planossolos e tipos de terreno	Hidromófico	Planícies aluviais e lagunares com áreas alteradas pela ação humana	< 1,3
RQ	Associação de neossolos quartzarênicos e gleissolos	Hidromófico	Feixes de restinga ocupando relevo plano e suavemente ondulado	3,8 a 7,6
RU1	Neossolos flúvicos	Hidromófico	Planícies aluviais situadas em ilhas do Delta do Jacuí	1,3 a 3,8
RU2	Associação de neossolos flúvicos e tipos de terreno	Hidromófico	Diques marginais e aterros ocupando relevo plano nas bordas das ilhas do Delta do Jacuí	1,3 a 3,8
TT	Tipos de terreno	Tipo de terreno	Áreas fortemente alteradas pela ação humana (aterros, pedreiras, entulhos de construção)	< 1,3

Fonte: Elaborado a partir de Schneider et al. (2008) e Risso et al. (2008).

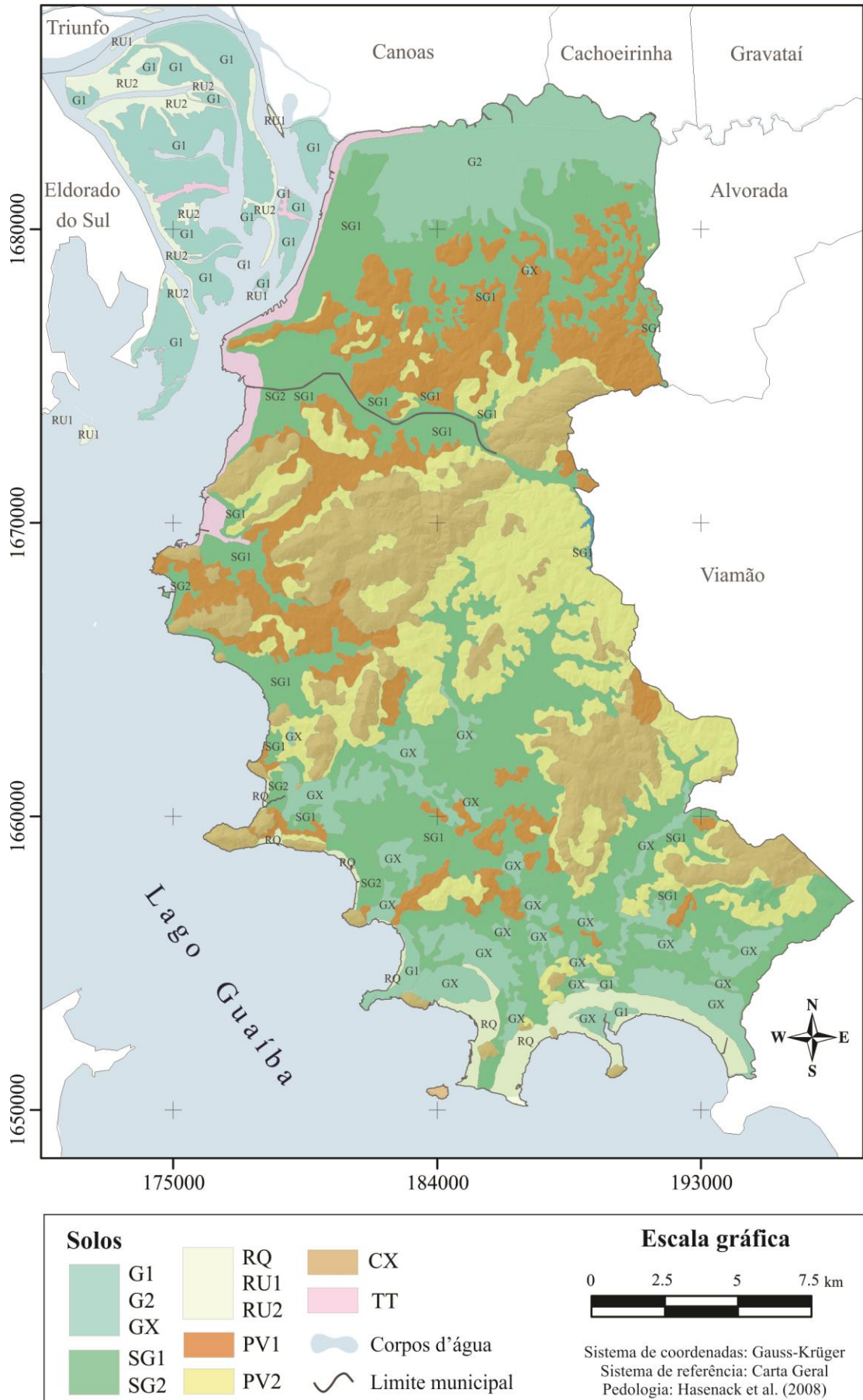


Figura 15: Mapa pedológico do município de Porto Alegre (SCHNEIDER et al., 2008).

3.6. USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

O município de Porto Alegre possui uma população aproximada de 1.409.400 habitantes (IBGE, 2011), sendo que a maior densidade populacional está localizada nos bairros centrais e adjacências. O mapa com o uso do solo e cobertura vegetal do município está ilustrado na Figura 17, onde é possível observar que a zona sul apresenta uma ocupação rarefeita com núcleos residenciais dispersos, já a região norte é caracterizada por uma ocupação intensiva.

Até meados do século XX, a ocupação do município de Porto Alegre era marcada pelas limitações que o relevo impunha. Nesta época, a Crista de Porto Alegre servia como limitador da expansão da mancha urbana no sentido meridional do município, demarcando fisicamente o limite entre a região norte, urbanizada e a região sul, com características rurais. Entretanto, diante do rápido crescimento populacional nas décadas de 1960 e 1970 e da quase total inexistência de uma política de uso e ocupação do solo, a expansão urbana ocorreu, em grande parte, em áreas impróprias a ocupação (FUJIMOTO, 2002).

Lima (2006) comenta que inicialmente, as áreas mais próximas dos sopés dos morros foram ocupadas, entretanto, a necessidade mostrou-se maior que as declividades e hoje a ocupação avança em encostas íngremes. Estas áreas estavam desocupadas justamente por possuírem condicionantes físicos que exigem o uso de obras de engenharia e medidas técnicas para a adequação da moradia. A ocupação desordenada desses locais intensifica ou até mesmo provoca a ocorrência de movimentos de massa, acarretando em consequências negativas à própria população assentada. Por exemplo, nesses locais são executados, frequentemente, cortes sem critérios adequados e as águas servidas são, muitas vezes, lançadas diretamente no terreno. Os aterros são realizados utilizando material de vários tipos, como o lixo, e não apresentam compactação adequada.

Em decorrência da expansão urbana, a maior parte da cobertura vegetal original do município foi desmatada. Praticamente em todo o território, a vegetação natural foi substituída por algum uso antrópico, seja para a urbanização, mineração ou uso agropecuário. Hasenack et al. (2008b) comentam que atualmente restam apenas 24,1% da vegetação nativa, ainda que sob diferentes graus de antropismo. A mata nativa restante concentra-se, principalmente, na porção sul do município, na Crista de Porto Alegre e também junto as Ilhas do Delta do Jacuí, no extremo noroeste do município.

Nos locais mais expostos à insolação e em altas declividades, ocorre a formação de matas baixas, devido à menor oferta hídrica e à espessura do solo. Já nos locais em que predominam

vales sombreados e de solos mais profundos, desenvolve-se uma mata densa e alta, na qual são encontradas espécies de grande porte (PORTO, 1998). A Figura 16 apresenta um perfil típico do uso e cobertura vegetal nos morros de Porto Alegre. De maneira geral, verifica-se a presença de campos rupestres (gramíneas com afloramentos rochosos) nos níveis superiores das encostas, matas arbóreas nos canais de drenagem, que descem ao longo das encostas e constituem as nascentes dos arroios, vegetação arbórea nas encostas mais íngremes e não ocupadas, e áreas desmatadas e urbanizadas nos níveis mais baixos das encostas (LINDAU e ROSA, 2004). A Tabela 5 apresenta uma descrição das principais características das classes de uso do solo e cobertura vegetal em Porto Alegre.



Figura 16: Perfil típico do uso do solo e cobertura vegetal nos morros de Porto Alegre – Bairro Cascata (Coordenadas UTM zona 22 WGS/84: 482578 m E 6671594 m N).

Tabela 5: Descrição das classes de uso do solo e cobertura vegetal em Porto Alegre.

Classe	Subclasses	Descrição geral
vegetação arbórea	mata nativa, mata nativa com exóticas, mata degradada e bosque	formação vegetal caracterizada pela predominância de indivíduos arbóreos adultos e dossel fechado
vegetação arbustiva	transição mata e transição campo	formação vegetal com predomínio do estrato arbustivo e campestre, com a presença de elementos arbóreos isolados. Ocorre em locais originalmente cobertos por mata que foram desmatados
vegetação herbácea	campo nativo, rupestre, manejado e degradado	formação vegetal caracterizada por uma cobertura predominantemente graminóide e herbácea
cultivo	silvicultura e lavoura perene	áreas ocupadas por lavouras perenes e pelo cultivo de espécies lenhosas exóticas (eucalipto, pinus e acácia)
área edificada	edifícios, casas, pavilhões, vias, ocupação espontânea	áreas que correspondem aos núcleos urbanos
solo exposto	solo exposto	áreas que se caracterizam pela ausência de cobertura vegetal, devido a ações antrópicas

Fonte: Hasenack et al. (2008b).

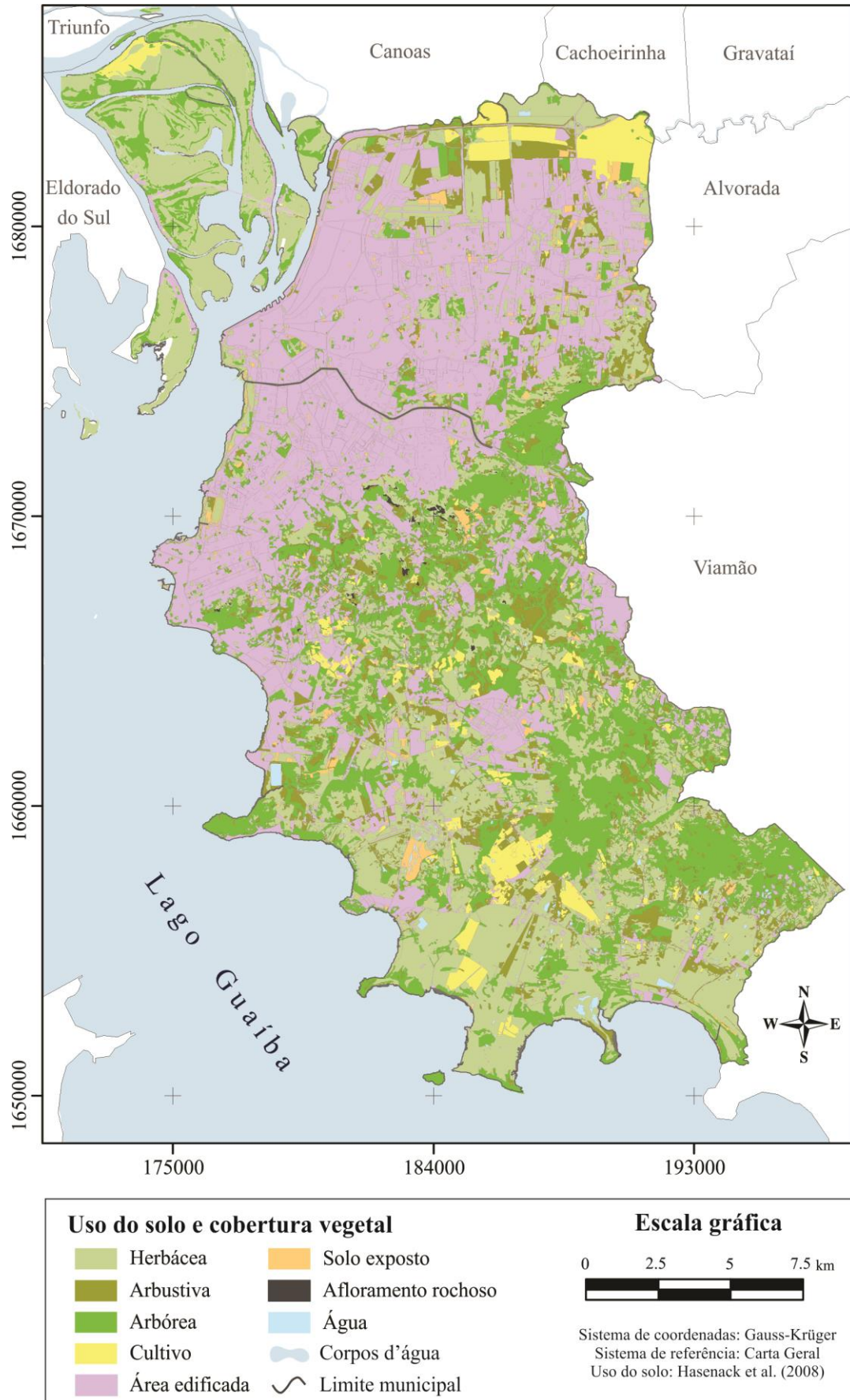


Figura 17: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do município de Porto Alegre (HASENACK et al., 2008b).

3.7. MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

O interesse pela dinâmica das encostas em Porto Alegre é recente, sendo praticamente nulas as referências ao tema anteriores ao ano de 1990. Destacam-se os trabalhos pioneiros de Robaina e Silva (1993) e Robaina et al. (1994; 1995), onde foram realizadas descrições gerais das áreas de risco do município e de seus principais fatores condicionantes. De acordo com esses estudos, os movimentos de massa que se desenvolvem em Porto Alegre estão relacionados, principalmente, à ocorrência de escorregamentos localizados, rastejos, rolamentos de blocos e quedas de blocos.

Destaca-se também o mapa com os indicadores de áreas de risco geológico do Atlas Ambiental de Porto Alegre, mostrado na Figura 18 (OLIVEIRA et al., 2006). Esse mapa foi elaborado com base na declividade, na ocupação urbana, nos sistemas de drenagem e nos locais onde existiam registros de movimentos de massa e inundações. A partir desta análise, os autores constataram a existência de 390 áreas com risco geotécnico alto, com problemas de saneamento ou com risco não imediato, localizadas predominantemente nas encostas da porção central do município, junto a Crista de Porto Alegre.

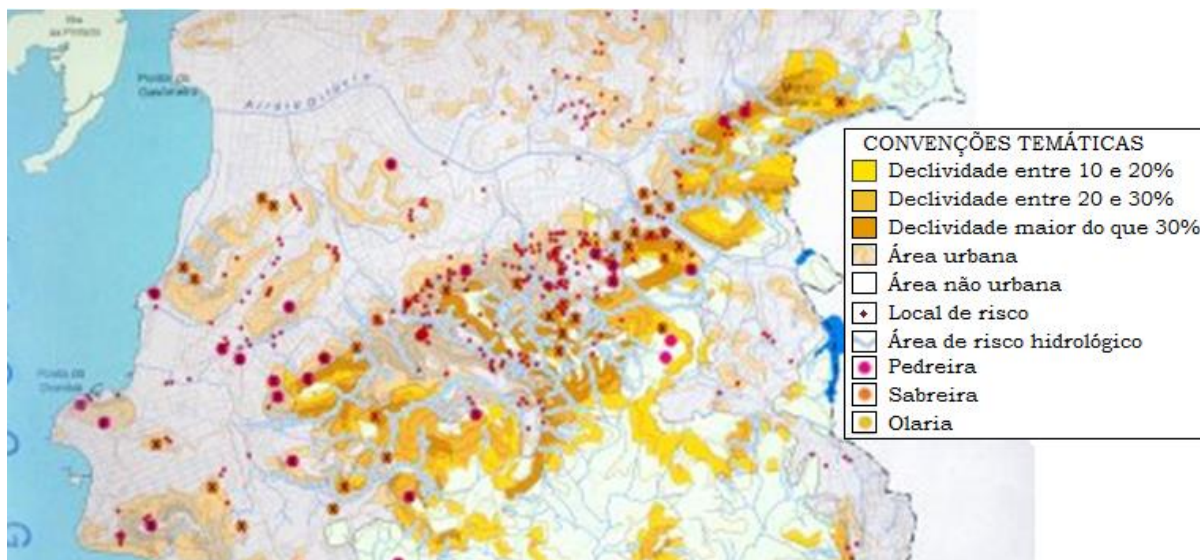


Figura 18: Indicadores de áreas de risco geológico no município de Porto Alegre, *zoom* na Crista de Porto Alegre (adaptado de OLIVEIRA et al., 2006).

Posteriormente, face à importância crescente da temática, foram desenvolvidos diversos estudos relacionados com a análise de riscos geomorfológicos em Porto Alegre. Como exemplo, citam-se os trabalhos realizados nos morros da Polícia e da Cruz (CAMPOS et al., 1996; SCHRECK et al., 1996; LINDAU, 1996; 2000; GUBERT, 2003; GUIMARÃES, 2004; LIMA, 2006; BRITO, 2011; 2012; 2013; GASPARINI, 2011; RIZZON, 2012). Grande parte

destes estudos emprega trabalhos de campo e análises qualitativas, como os métodos de mapeamento desenvolvidos pelo IPT. Além desses estudos localizados, existem alguns dedicados a análise do município como um todo, como os trabalhos de Pretz et al. (2010) e Reckziegel (2012), os quais utilizam ferramentas de geoprocessamento para analisar as áreas propensas à ocorrência de movimentos de massa.

As antigas áreas de extração mineral localizadas no Morro Santana e no Bairro Cristal, também são muito estudadas (por ex. RECKZIEGEL, 2004; RECKZIEGEL e ROBAINA, 2005; LOPES, 2011). O abandono das pedreiras na década de 70 fez com que, além do centro da pedreira, fossem ocupadas também as áreas adjacentes, com substrato constituído por material de rejeito, proporcionando, dessa maneira, risco à população. A Figura 19 mostra uma antiga área de exploração mineral no Morro Santana, onde os taludes de corte da frente de lavra oferecem risco de queda de blocos às moradias localizadas junto à pedreira.



Figura 19: Antiga área de extração mineral na Vila Laranjeiras, localizada no Morro Santana, bairro Protásio Alves (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 487378 m E 6675679 m N).

Entre os estudos mais recentes, é importante mencionar o mapa com as unidades geotécnicas elaborado por Schneider et al. (2008) para o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre. Esse mapa mostra a aptidão do solo à ocupação humana, com as respectivas restrições de cada área. Os autores ressaltam que a inobservância das características geotécnicas pode levar à concepção inadequada de projetos estruturais, o que pode se traduzir em construções com manifestações patológicas severas, acidentes e colapsos com elevados custos materiais e, até mesmo, perda de vidas humanas.

Por fim, destaca-se o trabalho pioneiro de Reckziegel (2012), que apresenta um inventário com os movimentos de massa registrados em Porto Alegre entre o período de 1995 e 2010. Esse inventário foi organizado com base nos registros de ocorrência do Programa de Áreas de

Risco (PAR) da Secretaria de Meio Ambiente (SMAM) e integra um total de 176 eventos, distribuídos em dois tipos de processos: escorregamentos e quedas. A autora também elaborou um mapa com as áreas suscetíveis a movimentos de massa, com base na seleção de áreas com declividades superiores a 15% e com amplitudes superiores a 100 metros, o qual é mostrado na Figura 20.

Com relação à gestão de riscos no município, convém destacar a atuação do PAR, criado em 1994 por meio do Decreto nº 10.898/1994 e alterado pelo Decreto nº 14.840/2005. Esse programa é coordenado pela SMAM e tem a finalidade de prevenir e evitar a ocorrência de acidentes causados por processos geológicos naturais ou artificiais, em áreas inadequadas a urbanização. Além disto, o PAR tem como objetivos evitar a ocupação de locais impróprios, planejar estratégias de reassentamento de populações em risco e encontrar soluções emergenciais para áreas com risco iminente (PORTO ALEGRE, 1994; 2005).

Além deste programa, foi instituído pelo Decreto nº 16.931/2011 o Programa de Fiscalização e Monitoramento Urbano Ambiental do Município de Porto Alegre (PFMUA), o qual atua por meio da SMAM e de outros órgãos da prefeitura. O PFMUA visa evitar, mediante a realização de vistorias periódicas, a ocupação de áreas suscetíveis a processos geológicos ou hidrológicos e de áreas de preservação permanente (PORTO ALEGRE, 2011). Em 2011 o PFMUA elencou 40 áreas como prioritárias para o monitoramento e fiscalização, das quais 26 correspondem a locais com risco de ocorrência de movimentos de massa (PMPA, 2011).

Com o intuito de aumentar a capacidade de resposta do município, foi criado em 2012 o Centro Integrado de Comando da Cidade de Porto Alegre (CEIC), por meio da Lei nº 11.397/2012, o qual funciona 24 horas e 7 dias por semana. Entre as atribuições do CEIC, ressalta-se a responsabilidade pelo monitoramento e a ação em situações de crise decorrentes de fenômenos climáticos extremos (PORTO ALEGRE, 2012).

Finalmente, salienta-se que no ano de 2011, o município de Porto Alegre foi selecionado pelo Governo Federal para participar do programa de Ação Emergencial para reconhecimento de áreas com alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2013). No âmbito desse programa, a CPRM realizou durante os anos de 2012 e 2013, juntamente com a PMPA e a Defesa Civil, o zoneamento de 64 setores com risco alto e muito alto à ocorrência de movimentos de massa em Porto Alegre. A maior parte dos setores de risco se localiza na Vila dos Canudos (Bairro Cascata), na Vila dos Sargentos (Bairro Serraria), na Vila Ideal (Bairro Agronomia), na Vila Ursa Maior (Bairro Cristal) e na Vila Laranjeiras (Bairro Protásio Alves), conforme mostrado na Figura 21.

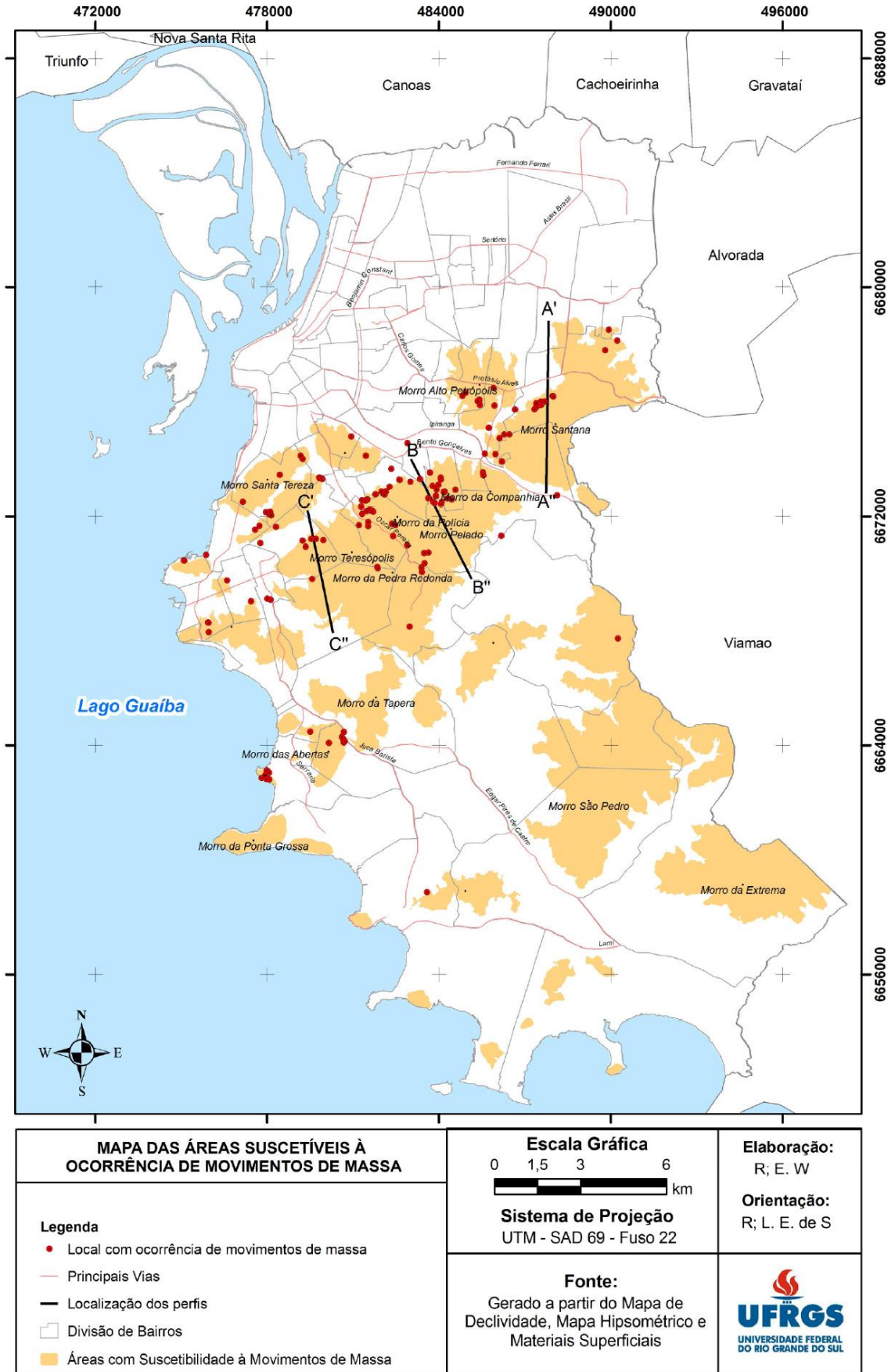


Figura 20: Áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre (RECKZIEGEL, 2012).

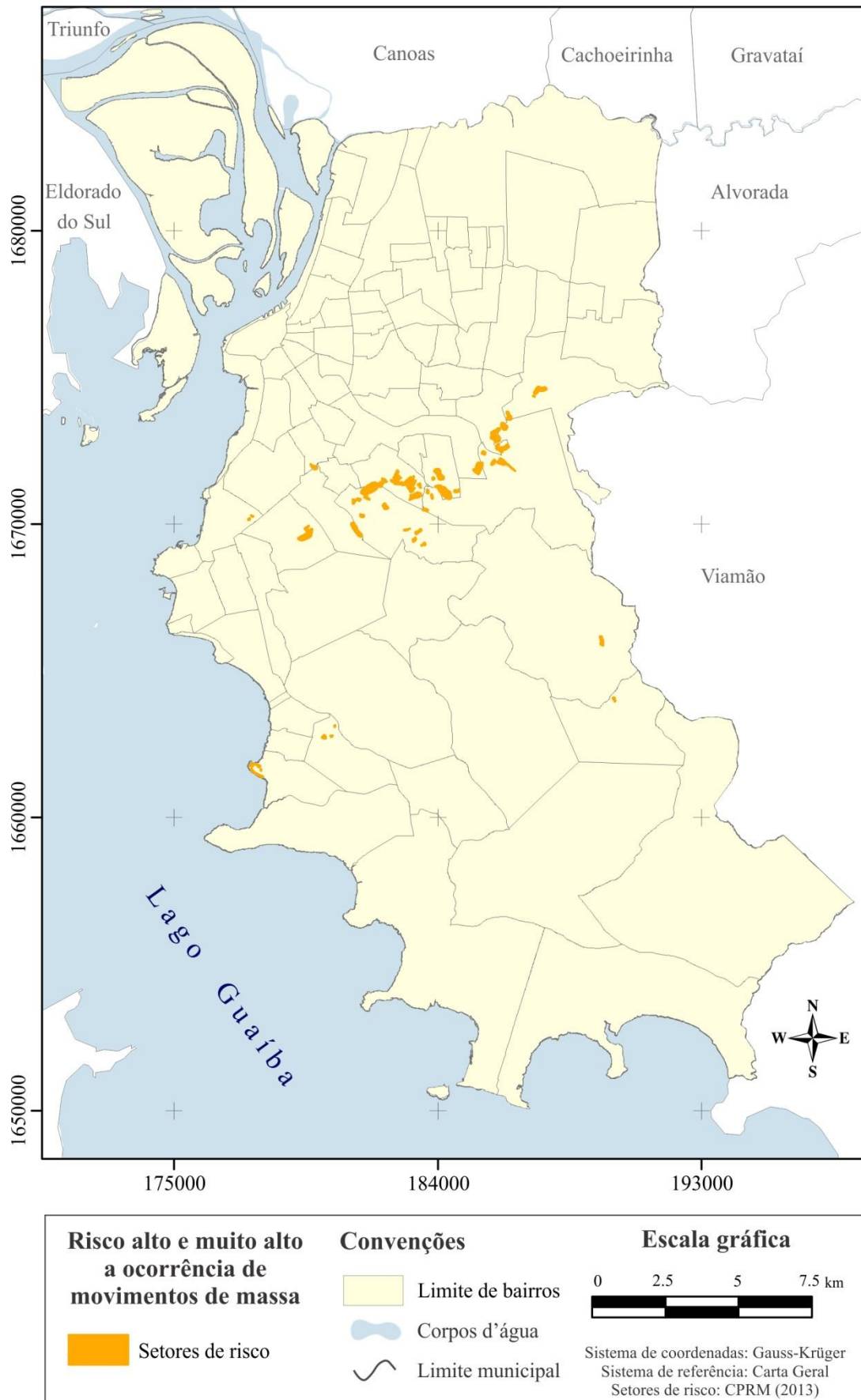


Figura 21: Setores com risco alto e muito alto à ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre (Elaborado a partir de dados cedidos pela CPRM, 2013).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e os procedimentos utilizados para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a escorregamentos. São apresentadas as atividades executadas no que tange o tratamento dos dados pré-existentes, a derivação de novos dados e a interpretação das informações obtidas.

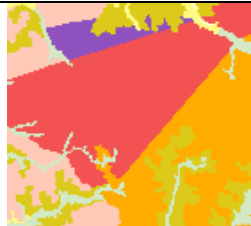

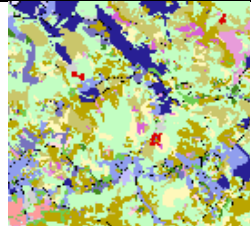
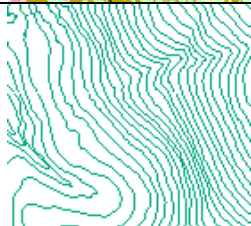

4.1. MATERIAL

4.1.1. Dados cartográficos

Os dados cartográficos utilizados neste estudo foram extraídos, em grande parte, da base cartográfica digital disponível no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, elaborado por Hasenack et al. (2008). Esses dados possuem nível de detalhe compatível com a escala 1:15.000, são representados a partir da projeção de Gauss Krüger e referidos ao *Datum* horizontal do Observatório da Comissão da Carta Geral do Brasil. Além desses dados, foram utilizadas as curvas de nível disponibilizadas digitalmente por Hasenack et al. (2010) e os setores de risco a movimentos de massa delimitados pela CPRM (2013). Todas as informações encontram-se disponíveis no modelo vetorial, no formato *shape file* (.shp). Um resumo dos dados cartográficos utilizados e suas principais características é apresentado no Quadro 5.

Os planos de informação com as unidades geológicas e com os lineamentos estruturais foram produzidos por Philipp (2008) através de levantamentos de campo, tomando como base o mapa geológico da Folha Porto Alegre elaborado por Schneider et al. (1974). O mapa com o uso do solo e cobertura vegetal foi preparado por Hasenack et al. (2008b) por meio da interpretação de imagens orbitais do satélite Quickbird, de dados coletados em campo e de sobrevoos de reconhecimento com avião monomotor. O plano de informação com as curvas de nível foi elaborado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre a partir de um aerolevanteamento realizado em 1982. As curvas apresentam equidistância vertical de 1 metro e foram estruturadas para uso em SIG por Hasenack et al. (2010). O mapa com os setores de risco a movimentos de massa foi produzido pela CPRM (2013), com base na opinião de especialistas durante a execução de trabalhos de campo, auxiliada pela aplicação de fichas cadastrais.

Quadro 5: Planos de informação utilizados e suas respectivas características.

Plano de informação		Tipo de objeto	Escala original	Sistema de referência/ projeção cartográfica	Fonte
Geologia		Polígono	1:50.000	Carta Geral / Gauss Krüger	Philipp (2008)
Lineamentos estruturais		Linha	1:50.000	Carta Geral / Gauss Krüger	Philipp (2008)
Uso do solo e cobertura vegetal		Polígono	1:15.000	Carta Geral / Gauss Krüger	Hasenack et al. (2008b)
Curvas de nível		Linha	1:1.000	Carta Geral / Gauss Krüger	Hasenack et al. (2010)
Setores de risco		Polígono	1:2.000	Universal Transversa de Mercator zona 22/ WGS84	CPRM (2013)

4.1.2. Programas

Foram utilizados diversos programas de análise espacial durante a realização deste estudo, visando, dessa maneira, aproveitar os recursos específicos de cada um. Os programas empregados, bem como a sua respectiva utilização, são detalhados a seguir:

- Cartalinx (©ClarkLabs): correção dos vértices das curvas de nível;
- Google Earth 7 (©Google): elaboração do inventário de movimentos de massa;
- Idrisi Selva (©ClarkLabs): estruturação da base de dados, geração do modelo numérico do terreno, cálculo das variáveis declividade, área de contribuição e

distância de lineamentos, padronização, ponderação e integração dos planos de informação e validação dos resultados;

- ArcMap 10/ArcGIS (©ESRI): edição final dos mapas temáticos e conversão de coordenadas geográficas.

Entre os fatores que justificam a opção pelo Idrisi para realizar a maior parte da análise, está o fato do mesmo possuir um dos mais amplos conjuntos de ferramentas para a execução da avaliação por múltiplos critérios (LONGLEY et al., 2013). Além disso, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) possui uma licença institucional deste programa, com permissão de acesso e uso ilimitado por pesquisadores e estudantes.

Além dos programas de análise espacial citados anteriormente, foram utilizados programas auxiliares, tais como o Corel Draw X6 (© Corel Corporation), utilizado na edição de figuras e mapas e o Microsoft Excel 2010 (©Microsoft), empregado na tabulação, análise e interpretação de dados.

4.2. METODOLOGIA

O mapeamento da suscetibilidade foi realizado por meio da combinação de mapas, adotando-se uma abordagem heurística. Entre as razões para essa escolha estão a sua simplicidade e facilidade de atualização, a grande extensão da área de estudo (496,8 km²), a limitação dos dados existentes e as restrições de tempo e de recursos financeiros para realizar o mapeamento. Além disso, levou-se em consideração o fato de que essa abordagem possibilita desenvolver análises com base no conhecimento de especialistas, não necessitando de registros detalhados sobre os movimentos de massa e de dados geotécnicos, o que seria indispensável para a utilização de métodos estatísticos e/ou determinísticos. A metodologia proposta está representada esquematicamente na Figura 22.

Inicialmente, foi executada uma revisão bibliográfica a fim de obter informações sobre os movimentos de massa e sua relação com diferentes características do meio físico de Porto Alegre. Nessa etapa também se efetuou um levantamento dos registros de ocorrência de movimentos de massa junto à Prefeitura Municipal de Porto Alegre. As informações obtidas permitiram melhor compreender os mecanismos que desencadeiam tais processos e serviram de base para a seleção dos fatores condicionantes e para as análises subsequentes. No segundo passo, os fatores selecionados como preditores da suscetibilidade foram padronizados para uma escala de valores comum com o intuito de possibilitar sua posterior agregação. O terceiro

passo envolveu a definição da importância de cada fator na predisposição do terreno a escorregamentos, empregando-se a técnica de suporte a decisão denominada processo analítico hierárquico (AHP). Optou-se pela geração de dois cenários distintos, um com a suscetibilidade natural e outro com a suscetibilidade induzida, os quais foram elaborados com base na opinião de especialistas da área de geologia, geotecnia e geomorfologia. No quarto, passo os fatores foram integrados por meio da combinação linear ponderada (WLC), de modo a gerar os produtos dos dois cenários de suscetibilidade. O último passo envolveu a validação dos mapas obtidos, através do cruzamento dos escorregamentos existentes no mapa inventário com os cenários de suscetibilidade. Cada uma das etapas é descrita em maior detalhe nos itens subsequentes.

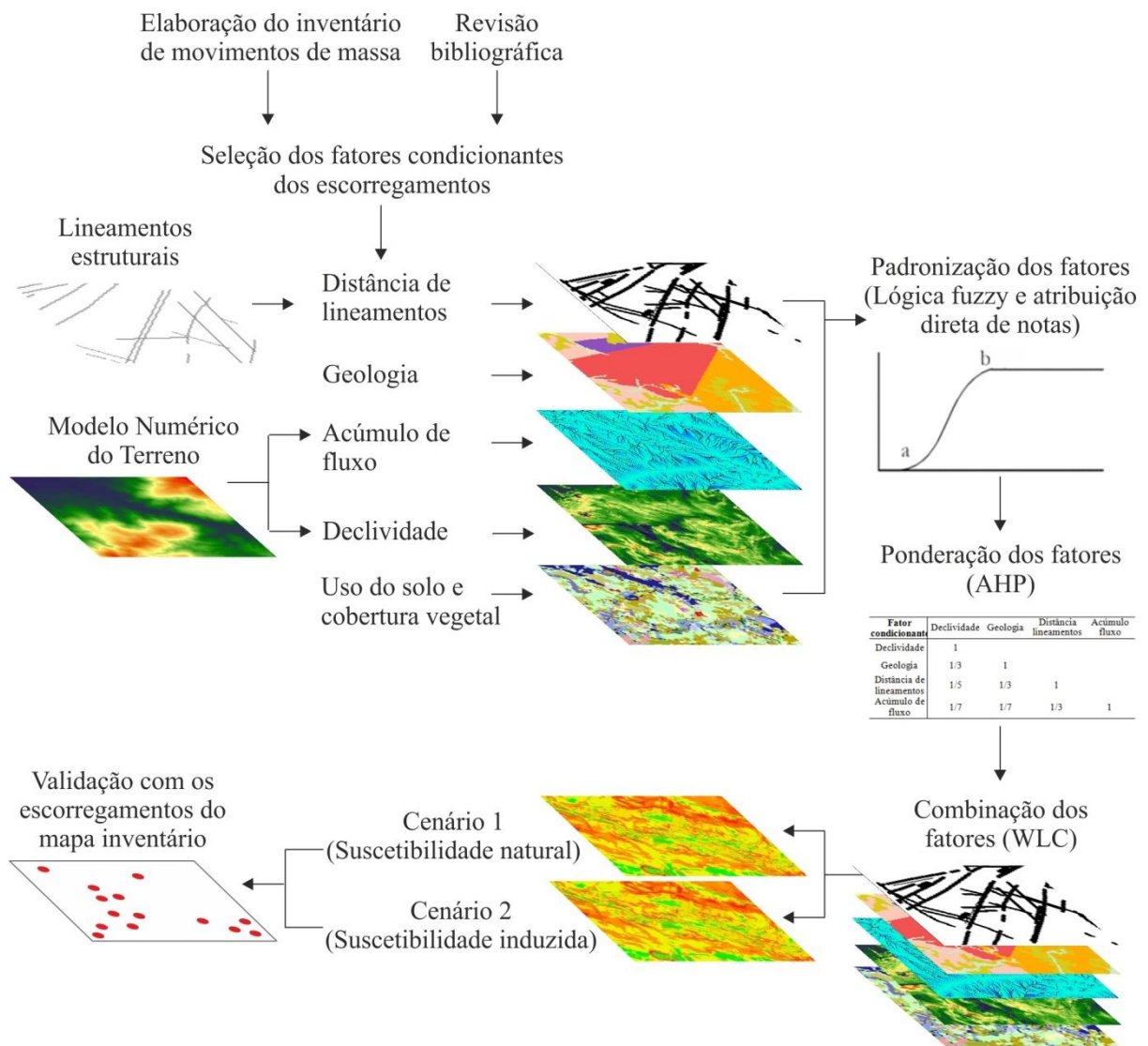


Figura 22: Metodologia aplicada para mapear a suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre.

4.2.1. Inventário de movimentos de massa

O inventário de movimentos de massa foi elaborado com o intuito de caracterizar esses processos no município de Porto Alegre e, dessa forma, fornecer suporte às etapas de seleção e ponderação dos fatores condicionantes, bem como a etapa de validação dos cenários de suscetibilidade gerados. Para tanto, foram consultados os relatórios de vistoria do Programa de Áreas de Risco (PAR) da SMAM dos anos de 2007 a 2013, os quais foram interpretados com o auxílio da Engenheira Vania Krigger e da Geóloga Juliana Dubois. Essas vistorias são realizadas em atendimento a solicitações da Defesa Civil, do Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB) e da população, devido à ocorrência ou alta probabilidade de ocorrência de acidentes. Os movimentos de massa anteriores ao ano de 2007 foram desconsiderados, visto que, em virtude da ausência de um procedimento de coleta sistêmica e armazenamento desses dados, existem diversas lacunas de informações, as quais dificultam o georreferenciamento desses processos.

Todos os movimentos de massa identificados foram cadastrados em uma planilha eletrônica, independentemente dos mesmos terem resultado em perdas e danos. Para cada registro considerou-se as seguintes informações: localização, ano, tipo de processo, tipo de ocupação (regular ou irregular), ocorrência ou possibilidade de ocorrência, descrição e fotografias quando existentes. O termo “ocorrência” foi empregado quando efetivamente houve deflagração do movimento de massa. Já o termo “possibilidade de ocorrência” foi utilizado para situações onde existe um alto potencial de que esses processos aconteçam.

Os movimentos de massa passíveis de serem espacializados foram georreferenciados no *software* Google Earth com o auxílio dos profissionais do PAR. Posteriormente esses dados foram exportados para o programa de geoprocessamento Idrisi, de forma a possibilitar a sua análise espacial.

4.2.2. Seleção dos fatores condicionantes dos escorregamentos

A seleção dos fatores a serem incorporados na análise é uma das questões mais críticas na avaliação por múltiplos critérios. A utilização de poucas variáveis pode levar à desconsideração de aspectos importantes e, até mesmo, fundamentais. Por outro lado, um número grande de fatores pode desviar a atenção de aspectos relevantes e aumentar desnecessariamente o tempo de processamento, bem como o esforço na análise e interpretação de resultados. Portanto, para tornar o modelo de suscetibilidade mais compacto e eficiente, é necessário considerar a disponibilidade, a eficácia e a independência de cada fator.

Nesse estudo, foram selecionados os fatores condicionantes mais utilizados na literatura (Apêndice A) e que, em tese, afetam significativamente a predisposição a escorregamentos na área de estudo. Adotaram-se também as recomendações de Van Westen et al. (2008) com relação à aplicação de cada fator em função da escala do trabalho (Tabela 1). Além disso, conforme sugerido por Ayalew et al. (2005), procurou-se avaliar se o fator selecionado é operacional (tem uma grande afinidade com o acontecimento de escorregamentos), não é uniforme (varia espacialmente na área) e não é redundante.

Foi realizada ainda a análise sensitiva do modelo de suscetibilidade, com o intuito de identificar as variáveis mais eficazes para delimitar as áreas suscetíveis a escorregamentos em Porto Alegre. A partir disso, fatores inicialmente incluídos, como o escoamento superficial, a curvatura horizontal e a curvatura vertical, foram desconsiderados, visto que a inclusão dos mesmos diminuía a capacidade preditiva do modelo. A variável pedologia também foi desconsiderada, visto que seu uso demonstrou ser redundante, pelo fato de que, nesta escala (1:50.000), a mesma possui uma relação intrínseca com o fator geologia.

Dessa forma, as variáveis selecionadas para a elaboração dos cenários de suscetibilidade foram a declividade, o acúmulo de fluxo, a geologia, o uso do solo e cobertura vegetal e a distância de lineamentos. Cada um desses fatores, bem como sua importância para a predisposição do terreno à ocorrência de escorregamentos, são descritos resumidamente a seguir:

- Declividade: determina as tensões tangenciais existentes nas encostas. É diretamente proporcional à capacidade de transporte de massas sólidas e fluídas, sendo que quanto maior for o ângulo de inclinação da encosta, maior será o componente vertical da gravidade e, conseqüentemente, maior a velocidade de deslocamento de solo;
- Acúmulo de fluxo: tem uma relação direta com a orientação e a forma da encosta no perfil e no plano. Com essa variável é possível mensurar o fluxo superficial e subsuperficial das águas, a direção do escoamento e, de maneira indireta, a umidade do solo;
- Geologia: é um dos fatores mais importantes na análise da suscetibilidade, uma vez que as variações litológicas condicionam a formação de solos com diferentes coesões, resistências, texturas e permeabilidades e, portanto, com comportamentos distintos frente à ocorrência de instabilidades;

- Uso do solo e cobertura vegetal: os diferentes tipos de ocupação do solo podem condicionar ou mesmo desencadear os movimentos de massa. Além disso, a presença ou ausência e o tipo de cobertura vegetal nas encostas influencia na propensão do terreno a instabilidades;
- Distância de lineamentos: as zonas de falha e de cisalhamento constituem-se em importantes planos de fraqueza, uma vez que apresentam maior facilidade de infiltração da água, o que implica na redução da resistência da rocha e, portanto, do solo formado.

4.2.3. Estruturação da base de dados espaciais

4.2.3.1. Importação e conversão dos planos de informação disponíveis

Essa etapa teve por objetivo uniformizar o sistema de referência, projeção cartográfica e o formato de representação dos dados disponíveis, para que os mesmos pudessem ser integrados em ambiente SIG. Para tanto, os planos de informação que estavam no sistema UTM/WGS84 foram convertidos para a projeção Gauss Krüger e referidos ao *Datum* horizontal do Observatório da Comissão da Carta Geral do Brasil. Posteriormente, todos os planos de informação foram importados para o programa de geoprocessamento Idrisi e convertidos do modelo vetorial para o modelo *raster*. A rasterização dos arquivos foi determinada pelo limite da área de estudo, que compreende um retângulo definido pelas coordenadas Gauss-Krüger 172.355 e 198.555 m E e 1.650.450 e 1.687.015 m N, com uma resolução espacial de 5 metros.

Ao final desta etapa, todos os arquivos encontravam-se prontos para a execução da análise, contabilizando 5.240 colunas e 7.313 linhas, com um tamanho de *pixel* de 5 x 5 metros, ou seja, uma área de 25 m² na superfície terrestre.

4.2.3.2. Elaboração do modelo numérico do terreno

A primeira etapa para a geração do Modelo Numérico do Terreno (MNT) consistiu na interpolação das curvas de nível disponibilizadas por Hasenack et al. (2010), o que permitiu estimar os valores de altitude nos locais não amostrados. Optou-se por utilizar uma interpolação linear baseada em uma rede triangular irregular (TIN - *Triangular Irregular Network*), devido a sua precisão e maior realismo na representação de áreas com relevo complexo (CÂMARA e MEDEIROS, 1996). Essas estruturas são eficientes para representar

as discontinuidades do terreno porque a densidade dos triângulos pode variar para se ajustar à sua rugosidade (MOORE et al., 1991), conforme ilustrado na Figura 23.

Na interpolação TIN supõe-se que a altitude de um local depende dos valores dos locais vizinhos e da distância de cada local ao ponto a ser interpolado. Para melhorar a qualidade da triangulação, foi utilizada uma função parabólica, que permite ajustar as quebras de relevo e eliminar os efeitos de ponte e túnel. Esta opção permite estimar a altitude no fundo dos vales e no topo de elevações. Utilizou-se também a opção de restrição, o que assegura que as bordas dos triângulos não cruzem as isolinhas, de forma a preservar as características topográficas da superfície como pontos de pico ou depressão, linhas divisoras de água e linhas de drenagem (EASTMAN, 2009).

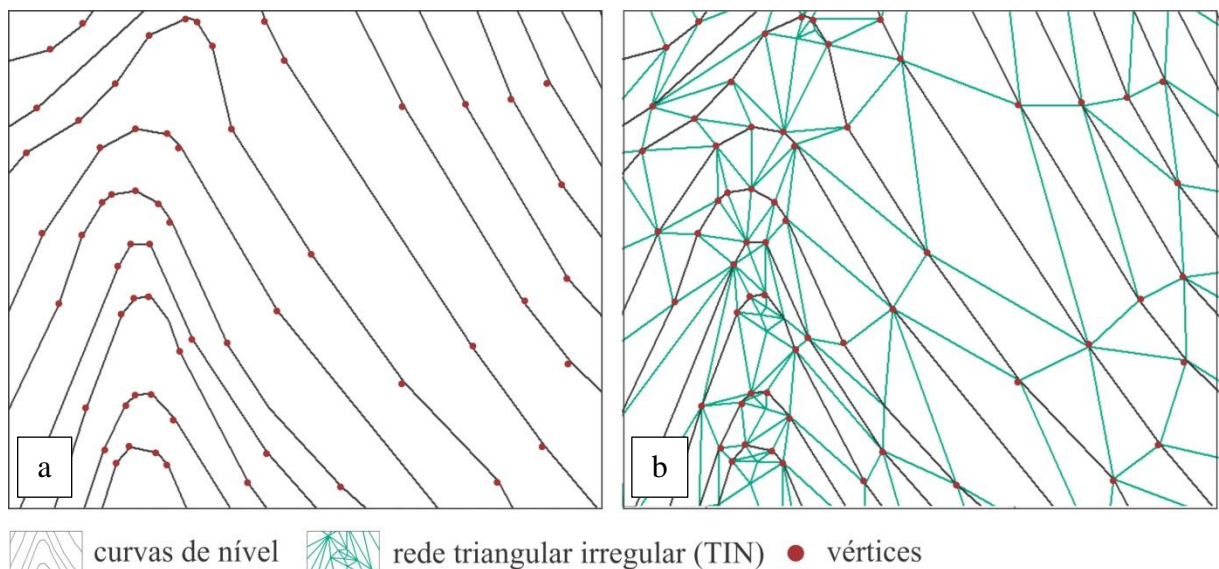


Figura 23: Triangulação de Delaunay: (a) Curvas de nível; (b) TIN gerado.

O MNT gerado apresenta-se de forma contínua para toda a área de estudo, onde o valor armazenado em cada *pixel* representa a altitude do terreno, conforme mostra a Figura 24. De acordo com este modelo, as altitudes em Porto Alegre variam de 1 a 309 metros. As áreas mais baixas situam-se na porção norte, sul e oeste do município. Já as áreas mais altas localizam-se principalmente na porção central e em alguns morros isolados na zona sul. Como a altitude expressa a energia potencial do relevo, pode-se dizer que os locais com maiores elevações tem uma maior propensão à ocorrência de movimentos de massa. Neste sentido, destacam-se os morros Santana (309 m), Pelado (298 m), Polícia (291 m), São Pedro (289 m) e Pedra Redonda (282 m).

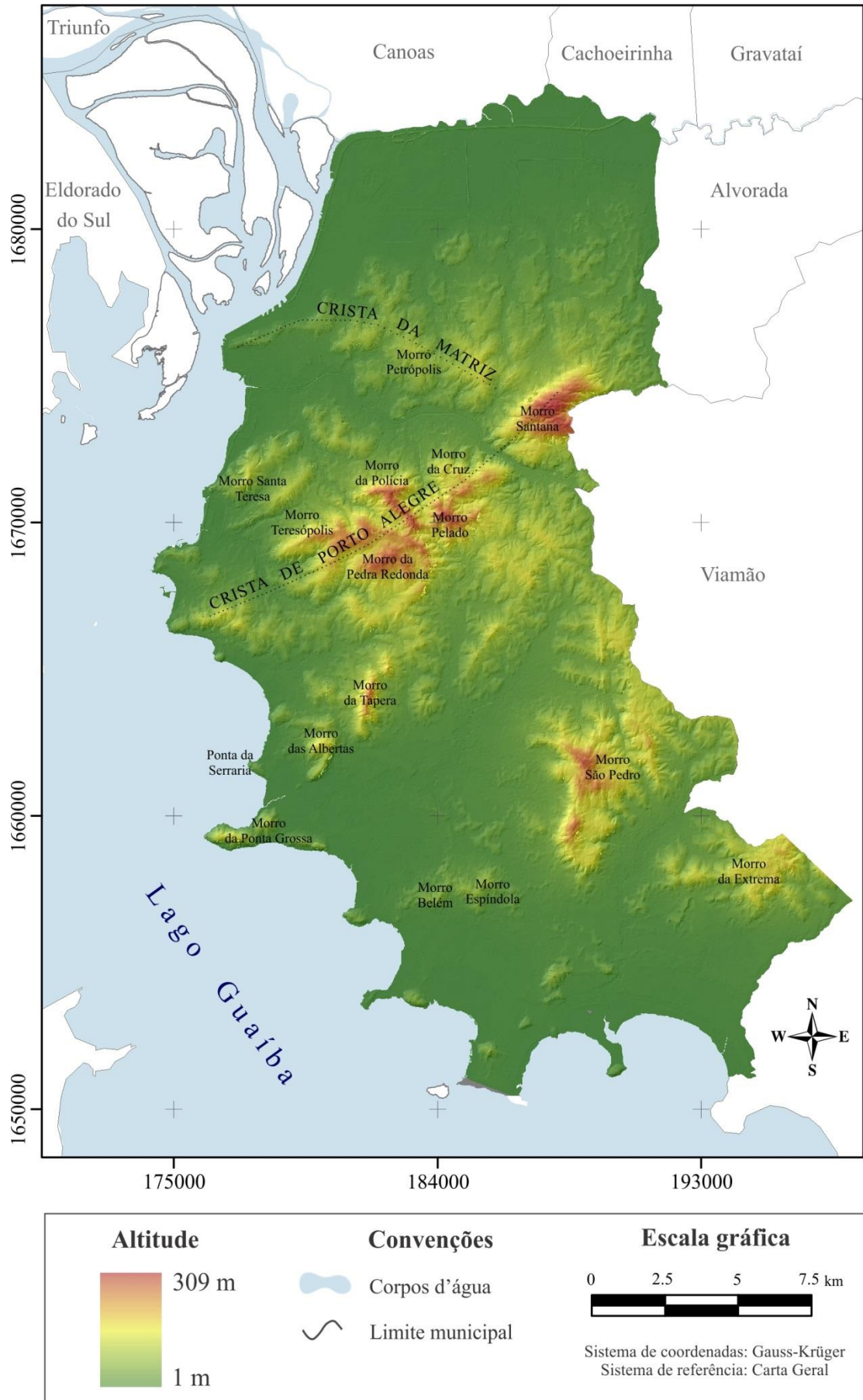


Figura 24: Modelo Numérico do Terreno do município de Porto Alegre.

4.2.3.3. Derivação de novos planos de informação

4.2.3.3.1. Distância de lineamentos

A distância de lineamentos foi determinada a partir das zonas de falha e cisalhamento constantes no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK et al., 2008). Utilizou-se um algoritmo que calcula a distância euclidiana, ou seja, em linha reta no plano horizontal, conforme mostra a Equação 1. A Figura 25 apresenta um esquema de como a distância de lineamentos foi determinada, considerando um *pixel* com resolução de 5 metros.

$$\text{Distância} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: x_1 é a coordenada em x do ponto 1; x_2 é a coordenada em x do ponto 2; y_1 é a coordenada em y do ponto 1; y_2 é a coordenada em y do ponto 2.

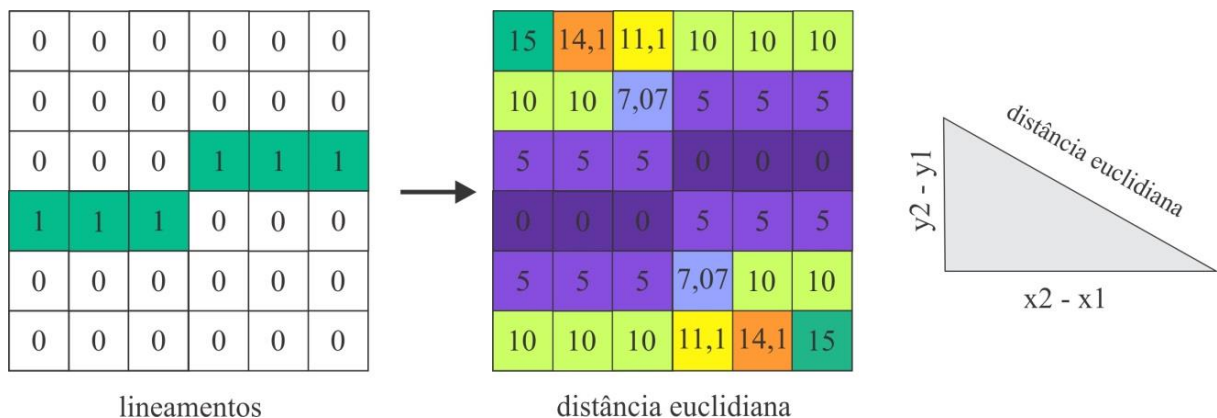


Figura 25: Determinação da distância euclidiana.

O mapa de distâncias de lineamentos obtido pode ser visualizado na Figura 26, onde cada *pixel* possui o valor da sua distância linear em metros até o lineamento mais próximo. Nota-se que a maior densidade destas estruturas está concentrada na porção central e sudeste do município, junto aos morros graníticos. O local mais afastado dos lineamentos dentro da área de estudo encontra-se a uma distância de 11.066 metros, entretanto a legenda do mapa foi escalonada até 5.000 metros para permitir uma melhor visualização.

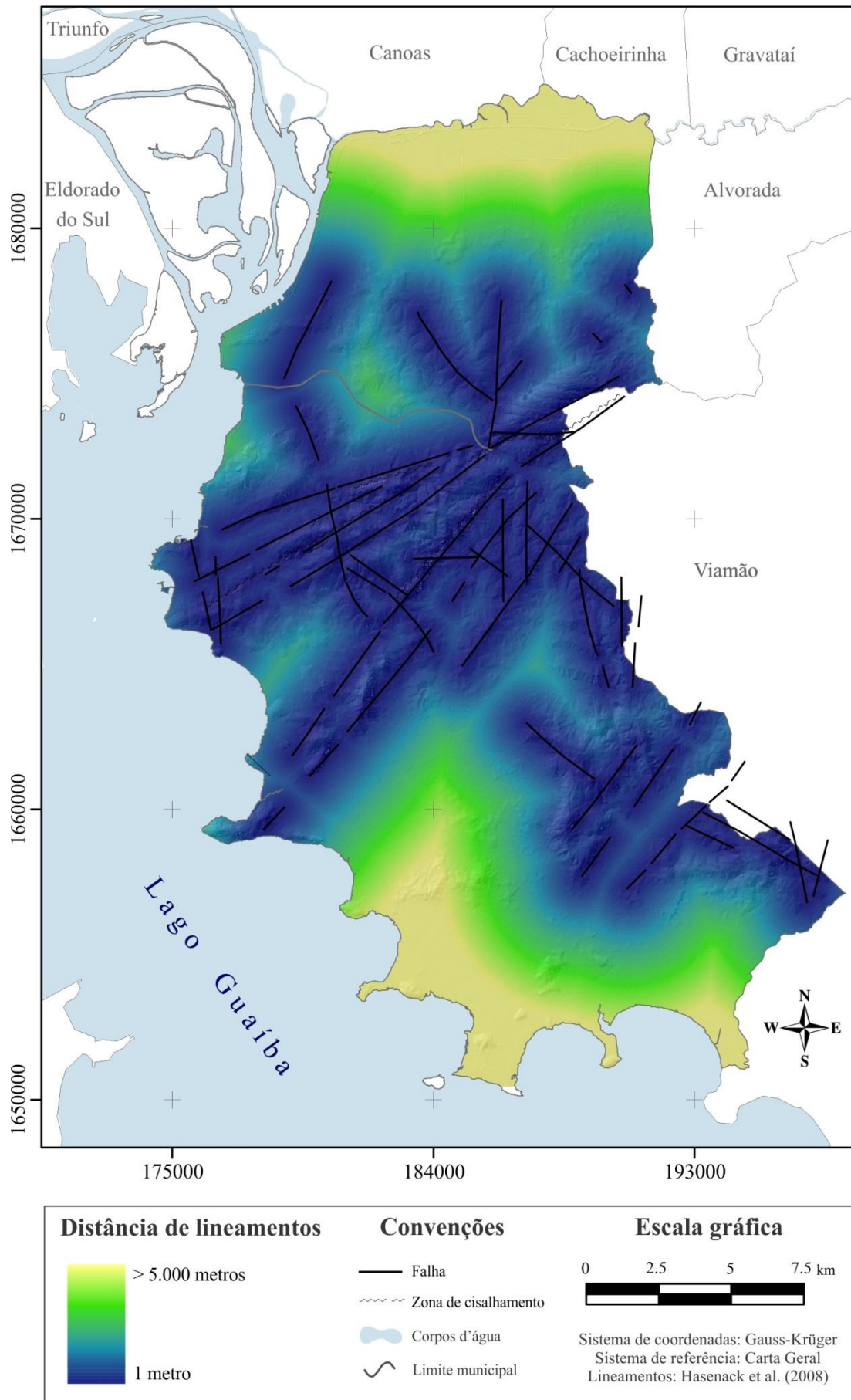


Figura 26: Mapa de distância de lineamentos do município de Porto Alegre.

4.2.3.3.2. Declividade

A declividade representa a primeira derivada da altitude e corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Ela foi determinada a partir de uma janela móvel de 3 x 3 *pixels* (3 linhas x 3 colunas), na qual a altitude do *pixel* central foi comparada com as altitudes dos *pixels* adjacentes à mesma: nos lados esquerdo, direito, superior e inferior. O vetor resultante da declividade ao longo dos eixos X e Y ilustra o gradiente de inclinação ao longo de certa distância, que, neste caso, é do tamanho de um *pixel* (WEBER 2011; CLARK LABS, [20--]). A Equação 2 mostra a fórmula utilizada pelo *software* Idrisi para estimar a declividade em cada *pixel*, já a Figura 27 apresenta um esquema da estimativa da declividade em graus, utilizando uma janela móvel de 3 x 3 *pixels*.

$$\tan_D = \sqrt{\left(\frac{\text{esquerda}-\text{direita}}{\text{resolução} \times 2}\right)^2 + \left(\frac{\text{superior}-\text{inferior}}{\text{resolução} \times 2}\right)^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: \tan_D é a tangente do ângulo que apresenta a máxima inclinação no sentido da pendente; *esquerda*, *direita*, *superior*, *inferior* são as altitudes dos *pixels* imediatamente adjacentes; e *resolução* é o tamanho do *pixel* (5 metros neste estudo). O resultado pode ser expresso em percentagem (de 0% a infinito), multiplicando-se \tan_D por 100. Também pode ser expresso em graus (de 0° a 90°) através do arco tangente de \tan_D .

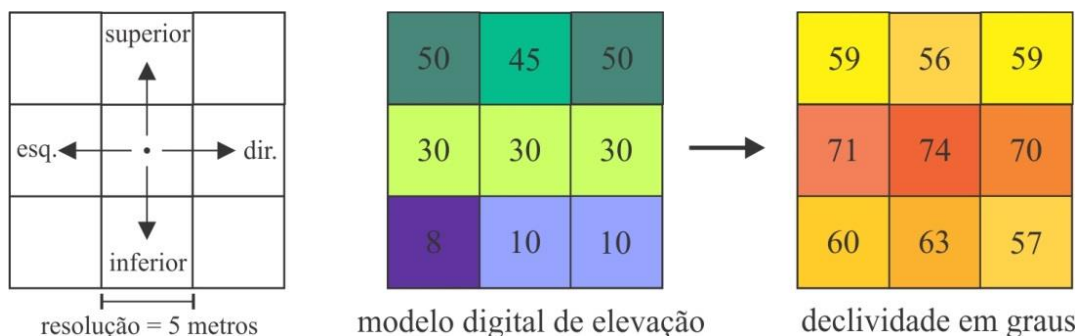


Figura 27: Estimativa da declividade do *pixel* central a partir de uma janela móvel de 3 x 3 *pixels* (adaptado de: ARCGIS, 2012).

Neste estudo, a declividade foi calculada em percentagem, conforme mostra a Figura 28. Ela varia de 0% até 745%, sendo que predominam declividades abaixo de 15%, principalmente no norte, junto à planície do Rio Gravataí, e ao sul, junto ao Lago Guaíba. As declividades superiores a 15% concentram-se nos morros graníticos da porção central do município, e de acordo com Reckziegel (2012), são os locais com maior suscetibilidade a movimentos de massa. As áreas com declividades superiores a 100% correspondem às frentes de lavra encontradas em áreas de mineração, sujeitas ao desprendimento e tombamento de blocos.

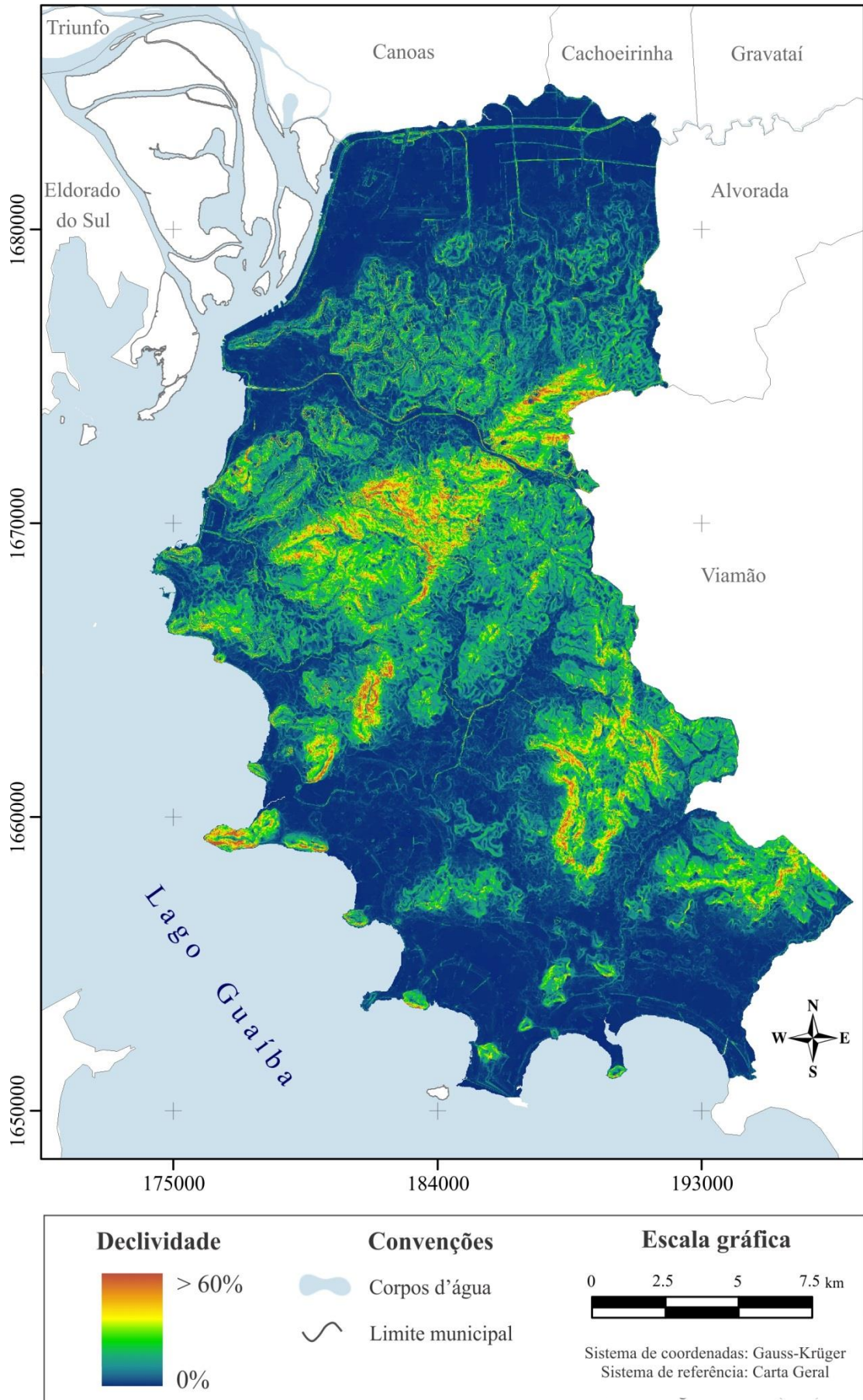


Figura 28: Mapa de declividades do município de Porto Alegre.

4.2.3.3.3. Acúmulo de fluxo

O acúmulo de fluxo, também chamado de área de contribuição ou área de captação, é expresso como o número de *pixels* à montante que contribuem com o fluxo para um determinado *pixel*. Essa variável foi calculada com a utilização do algoritmo descrito por Jenson e Domingue (1988). Neste estudo, foi realizada uma análise simplificada, considerando que a precipitação pluvial é uniforme sobre toda a área de estudo. Além disso, considerou-se que toda precipitação que cai em um determinado *pixel*, escoar para o *pixel* situado imediatamente abaixo na encosta. A Figura 29 apresenta um esquema de como o acúmulo de fluxo foi determinado. Tomando como exemplo o *pixel* com 22 metros de altitude, percebe-se que, devido à direção de fluxo dos *pixels* à montante, um total de 20 *pixels* drena para o mesmo. Considerando que o *pixel* tem uma resolução de 5 metros, pode-se concluir que a área de contribuição desse *pixel* é de 500 m².

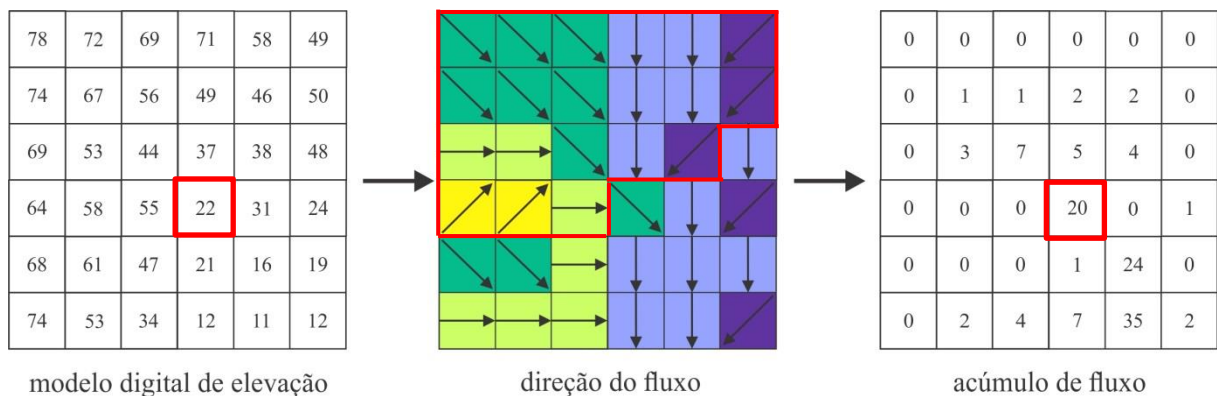


Figura 29: Estimativa do acúmulo de fluxo a partir do MDE e da direção de fluxo (adaptado de ARCGIS, 2012).

A Figura 30 mostra o mapa de acúmulo de fluxo obtido para o município de Porto Alegre, onde cada *pixel* possui o valor equivalente ao número de *pixels* dos quais ele recebe fluxo. Os *pixels* com os maiores valores constituem as linhas de fluxo, que formam os corpos d'água, e estão representados por cores mais escuras no mapa. O *pixel* com o maior acúmulo de fluxo da área de estudo recebe a contribuição de 31.298 *pixels*, o equivalente a 782.450 m², mas a legenda do mapa foi escalonada até 100 *pixels* para possibilitar uma melhor visualização. Os *pixels* com valor zero representam os locais em que nenhum outro *pixel* escoar para ele, de forma que constituem um máximo local, e correspondem a picos ou a linhas do divisor de águas (LI et al., 2005). Estes locais são representados por cores claras no mapa.

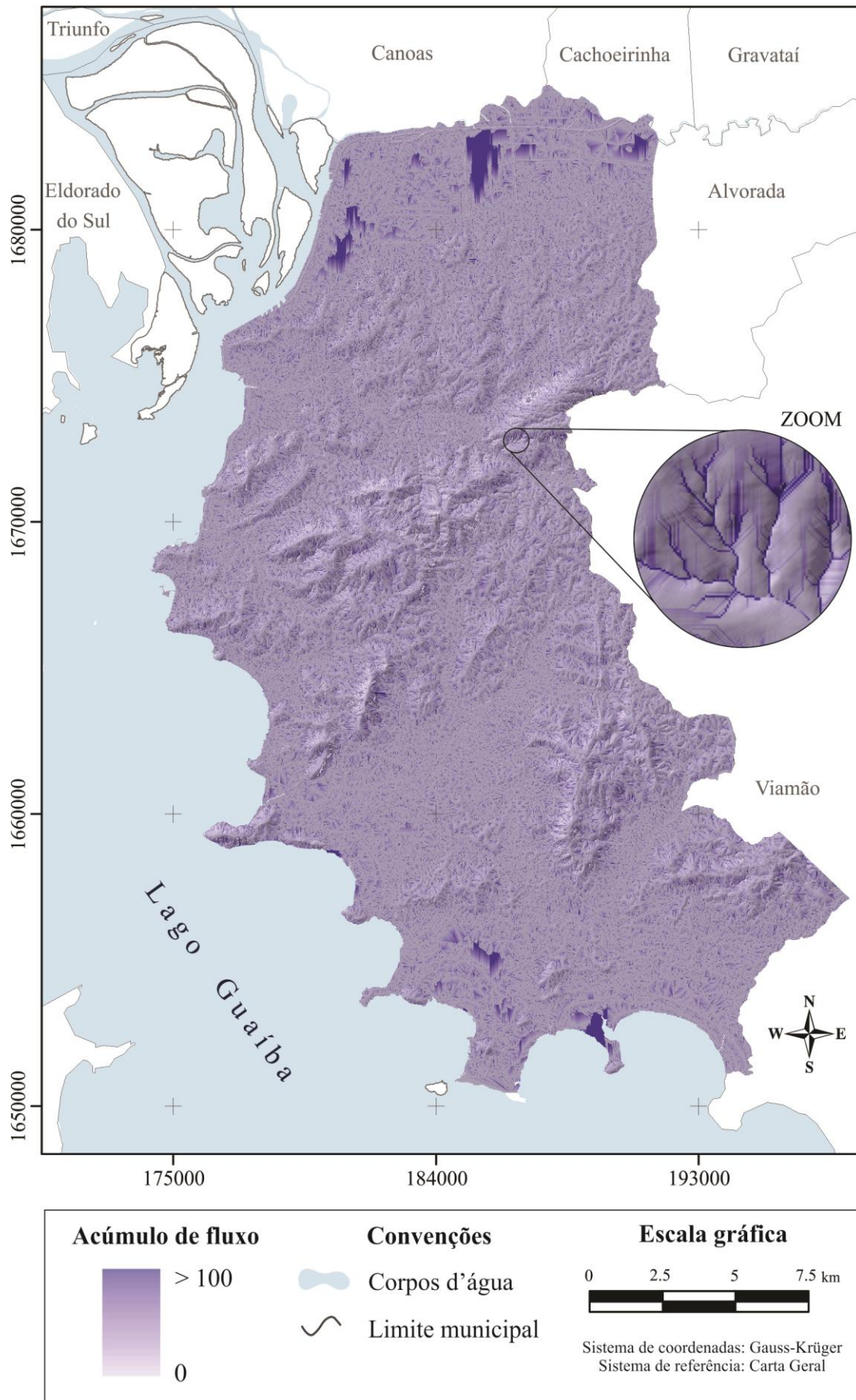


Figura 30: Mapa de acúmulo de fluxo do município de Porto Alegre.

4.2.4. Relação entre os escorregamentos e os fatores condicionantes

O cruzamento entre os escorregamentos mapeados e as variáveis selecionadas foi realizado com o intuito de compreender melhor a ocorrência desses processos na área de estudo e, dessa forma, fundamentar a atribuição de notas aos planos de informação para a avaliação da suscetibilidade. A partir disso, determinou-se a frequência absoluta e a densidade de escorregamentos em cada classe dos fatores condicionantes, ou seja, o número de registros por km² de cada classe. Determinaram-se também os parâmetros estatísticos básicos de cada fator condicionante, tais como moda, média, desvio padrão, mínimo e máximo.

É importante ressaltar que essa relação possui limitações, tendo em vista que o inventário utilizado para sua elaboração é incompleto. Por esta razão essa informação foi utilizada com precaução durante o curso deste estudo, já que a mesma não fornece uma visão integral dos escorregamentos que ocorrem em Porto Alegre.

4.2.5. Padronização dos fatores condicionantes

Para tornar possível a integração dos diferentes fatores condicionantes, foi realizada a sua padronização, ou seja, os mesmos foram reescalados para uma escala de valores comum. Este processo é imprescindível porque os fatores selecionados não são comparáveis entre si, o que inviabiliza a sua agregação imediata. Por exemplo, é impossível combinar o mapa de distância de lineamentos, quantitativo (unidade de medida em metros) com o mapa de geologia, que é qualitativo (em unidades geológicas).

A padronização foi realizada por meio de abordagens discreta e contínua, dependendo do tipo de variável em cada plano de informação. A abordagem discreta foi aplicada aos fatores geologia e uso do solo e cobertura vegetal, onde os limites entre as classes são claramente definidos. A mudança de escala foi realizada através da aplicação direta de notas, conforme os valores mostrados na Tabela 6. A escala de padronização adotada varia de 0 a 1, onde os menores valores representam locais com menor contribuição para a predisposição do terreno à ocorrência de escorregamentos, enquanto os maiores valores estão relacionados aos locais que possuem maior suscetibilidade a esses processos Figura 31.



Figura 31: Escala utilizada na padronização dos fatores condicionantes dos escorregamentos.

Tabela 6: Notas atribuídas às classes temáticas dos planos de informação geologia e uso do solo e cobertura vegetal.

Plano de informação	Classes	Notas
<i>Unidade geológica</i>	Depósitos aluviais	0,1
	Cordões arenosos	0,1
	Terraços e cordões arenosos	0,1
	Aterro	0,1
	Depósitos eluviais do escudo	0,4
	Gnaisses Porto Alegre	0,4
	Granito Santana	0,7
	Granito Ponta Grossa	0,7
	Granito Canta Galo	0,7
	Granito Independência	0,7
	Granito Viamão	0,7
<i>Uso do solo e cobertura vegetal</i>	Água	0,0
	Ocupação regular	0,1
	Arbóreo	0,1
	Arbustivo	0,1
	Herbáceo	0,2
	Cultivo	0,3
	Afloramento rochoso	0,3
	Ocupação irregular	0,8
	Solo exposto	0,8

As notas atribuídas às unidades geológicas foram definidas com base na opinião de especialistas em geologia. Foram considerados o grau de intemperismo, a composição litológica e o arcabouço estrutural das diferentes unidades. Analisou-se também a distribuição dos escorregamentos em cada classe, os quais se concentram no Granito Santana e Granito Ponta Grossa. Acredita-se que a maior frequência desses processos no Granito Santana esteja relacionada ao fato de que essa litologia é a mais ocupada entre todos os tipos de granito, e não porque o seu grau de alteração, mineralogia ou textura seja diferente dos demais. Dessa forma, adotou-se a premissa de que os corpos graníticos que ocorrem na área de estudo são similares em termos de desenvolvimento de escorregamentos e, portanto, todos receberam a mesma nota. Os depósitos sedimentares, por outro lado, receberam as menores notas, tendo em vista que os mesmos ocorrem em regiões topograficamente mais baixas, o que dificulta a ocorrência natural de escorregamentos.

As notas atribuídas ao fator uso do solo e cobertura vegetal se basearam na ocorrência de escorregamentos pretéritos e na revisão da literatura. Considerou-se que, de maneira geral, a vegetação é benéfica para a estabilidade, uma vez que a mesma tende a reduzir a quantidade de água das camadas superficiais do solo, o que aumenta a sua resistência e reduz o incremento de poropressão (LEMES, 2001). Os sistemas radiculares de grande densidade,

com raízes que se espalham horizontalmente e em profundidade, como árvores de grande porte, auxiliam a reduzir as forças que induzem ao cisalhamento do solo (SUAREZ, 1997). Portanto, as classes arbórea e arbustiva receberam notas inferiores de suscetibilidade em comparação às classes herbácea e cultivo. Já os locais com solo exposto foram considerados como desfavoráveis à estabilidade, pois o terreno está sujeito à ação direta da chuva e, conseqüentemente, à atuação dos processos erosivos. Com relação ao tipo de ocupação do solo, considerou-se que as áreas ocupadas regularmente normalmente possuem sistemas de drenagem adequados, respeitam os parâmetros geotécnicos do terreno e, desta forma, dificilmente irão condicionar os escorregamentos. Já os locais com ocupação irregular, onde é frequente o lançamento de lixo e de águas servidas nas encostas, a execução inadequada de cortes e aterros, foram avaliados como os mais críticos para a predisposição do terreno a esses processos.

A padronização contínua foi aplicada aos fatores declividade, acúmulo de fluxo e distância de lineamentos através da lógica *fuzzy*. A opção por essa abordagem deve-se ao fato destas variáveis apresentarem valores que variam continuamente na superfície, sendo desejável manter a variabilidade espacial desses dados. Além disso, a padronização *fuzzy* possui uma melhor aproximação da realidade quando comparada com a discreta (*booleana*), que é mais rígida (BURROUGHT e McDONNELL, 1998), conforme exemplificado na Figura 32. Nota-se que na padronização *booleana* as declividades entre 20 e 30% receberam a mesma nota de suscetibilidade, enquanto que na baseada na lógica *fuzzy* as notas variaram continuamente.

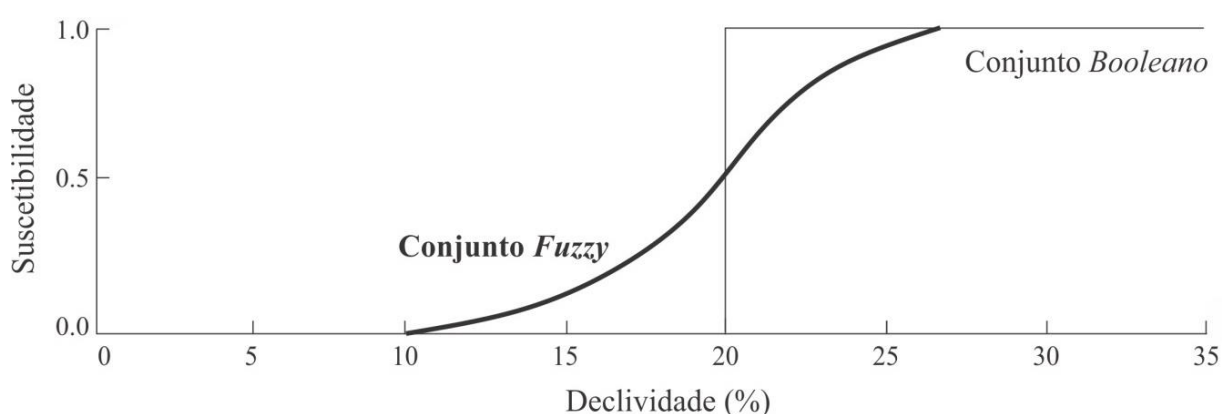


Figura 32: Comparação entre o processo de padronização da declividade baseado em conjuntos *fuzzy* e em conjuntos *booleanos*.

Os pontos de inflexão da curva, forma e sentido da função de pertinência *fuzzy* adotados para cada fator condicionante são apresentados na Tabela 7 e ilustrados na Figura 33. Os pontos de inflexão, também chamados pontos de controle, determinam os valores de x em que a curva

começa a crescer, decrescer ou estabilizar. A forma da função indica como se comporta a suscetibilidade do fator considerado. Já o sentido da função indica se a suscetibilidade tende a crescer ou decrescer. Os valores adotados foram definidos com base na consulta a especialistas e apoiados pela revisão da literatura realizada. Além disso, levou-se em consideração a frequência dos escorregamentos, buscando, desta forma, reduzir a subjetividade.

Tabela 7: Funções de pertinência *fuzzy* e pontos de inflexão utilizados na padronização dos fatores condicionantes.

Fator	Função de padronização	Pontos de inflexão			
		a	b	c	d
Declividade (%)	Sigmoidal crescente	15	35	-	-
Distância de lineamentos (m)	Linear decrescente	-	-	0	400
Acúmulo de fluxo (<i>pixels</i>)	Sigmoidal simétrica	1	15	30	60

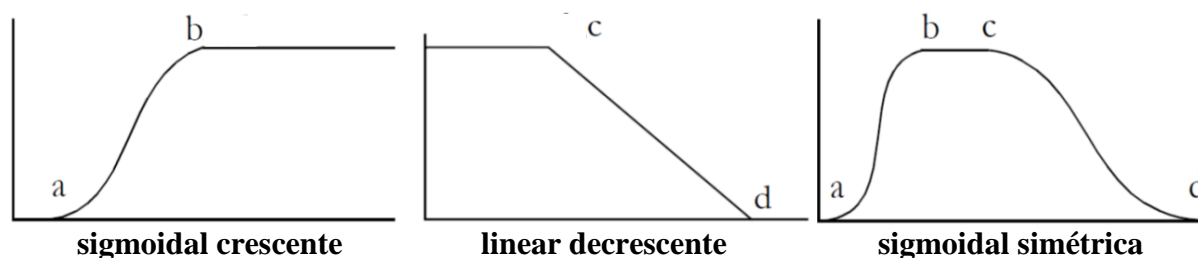


Figura 33: Funções de pertinência *fuzzy* (EASTMAN, 2009).

No reescalonamento do fator declividade considerou-se que, quanto maior a declividade, maior será a suscetibilidade a escorregamentos. Essa hipótese baseia-se no fato de que o aumento do ângulo da encosta implica em uma redução do fator de segurança (LEE e MIN, 2001; FERNANDES et al. 2001; VANACÔR e ROLIM, 2012). Áreas com declividades inferiores a 15% representam, de maneira geral, uma condição favorável à estabilidade, devido às baixas tensões de cisalhamento. Considerou-se esse valor como um marco a partir do qual os efeitos da declividade são mais significativos para a predisposição do terreno a esses processos. Adicionalmente, consideraram-se as declividades de 35% também como um limite, o que significa que não importa que a declividade tenha valores iguais a 35%, 40% ou mais, ou seja, a suscetibilidade é igualmente alta. O motivo para isso é que, se por um lado declividades acentuadas favorecem a ruptura, por outro não propiciam a infiltração de água no solo, o que é decisivo para sua movimentação (OLIVEIRA e AUGUSTO FILHO, 2005). Para reescalonar esse fator foi utilizada uma função sigmoidal crescente, com pontos de inflexão da curva em 15% (a função de pertinência começa a subir) e 35% (a função atinge o valor 1).

Para realizar a padronização do fator distância de lineamentos adotou-se a premissa de que quanto mais próximo dessas estruturas, maior será a suscetibilidade a escorregamentos (POURGHASEMI et al. 2012). A relação entre a ocorrência de escorregamentos e a proximidade de lineamentos é mencionada em vários estudos (RUFF e CZURDA, 2008; KOULI et al., 2010), entretanto, não há um consenso sobre o raio de influência que deve ser considerado. Em áreas tectonicamente ativas a influência dos lineamentos na ocorrência de movimentos de massa é elevada, podendo chegar até quilômetros (VAHIDNIA et al., 2009; CHAUHAN et al., 2010). No entanto, de acordo com os geólogos consultados, a maior influência dos lineamentos em Porto Alegre se dá através da formação de caminhos preferenciais para a percolação de água e alteração do maciço, não sendo necessária tamanha distância. Dessa forma, considerou-se que essas estruturas influenciam na predisposição do terreno a escorregamentos até uma distância de 400 metros, o que é coerente com outras avaliações de suscetibilidade realizadas (POURGHASEMI et al., 2012; AKGÜN, 2012). A partir desta distância a influência dos lineamentos foi considerada desprezível. A função de padronização adotada foi a linear decrescente, com pontos de inflexão em 0 metro (a função de pertinência começa a decrescer) e em 400 metros (a função atinge o valor 0).

Na padronização do fator acúmulo de fluxo, considerou-se que os pontos de inflexão da curva tratam-se justamente das posições inversas de uma encosta, isto é, o topo e a base da mesma. Estas últimas correspondem às porções mais basais, ou seja, os canais de drenagem e o seu entorno imediato. Apesar de esses locais apresentarem maior saturação dos solos, a declividade é muito baixa, o que não favorece a ocorrência de escorregamentos. Já o topo corresponde aos locais com acúmulo de fluxo igual ou próximos a zero, ou seja, na linha do divisor de águas, pouco suscetíveis a esses processos (MONDAL e MAITI, 2012). Para reescalonar esse fator foi utilizada uma função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 1 *pixel* ou 25 m² (a função de pertinência começa a subir), 15 *pixels* ou 375 m² (a função atinge o valor máximo de suscetibilidade, ou seja 1), 30 *pixels* ou 750 m² (a função começa a diminuir) e 60 *pixels* ou 1.500 m² (a função retorna a 0).

4.2.6. Ponderação dos fatores condicionantes

Após a padronização dos fatores condicionantes, foi necessário definir a importância relativa de cada um na predisposição do terreno a escorregamentos. Nesta etapa existe a possibilidade de ocorrerem conflitos, pois a subjetividade é inerente à definição dos pesos. Neste contexto, os métodos de atribuição de pesos podem auxiliar os tomadores de decisão a reduzir a

subjetividade. Dessa forma, optou-se pela utilização do processo analítico hierárquico (AHP), devido à sua simplicidade e facilidade de compreensão pelo decisor.

Nessa técnica, os fatores que condicionam os escorregamentos são comparados relativamente uns aos outros, sempre dois a dois, a partir de uma escala pré-definida. Desta forma, problemas complexos são decompostos em comparações mais simples. A escala de intensidade de importância adotada neste estudo está ilustrada na Figura 34. Ela varia de 1/9 a 9, sendo que 1/9 significa que uma variável é extremamente menos importante em relação a outra, 1 indica a indiferença de importância entre as mesmas, e 9 significa a extrema importância de um critério sobre outro. A realização desses julgamentos é uma etapa de debates e discussões, onde deve ser solicitado o conhecimento específico de vários profissionais, de modo a contemplar adequadamente todos os fatores do maior número de pontos de vista.

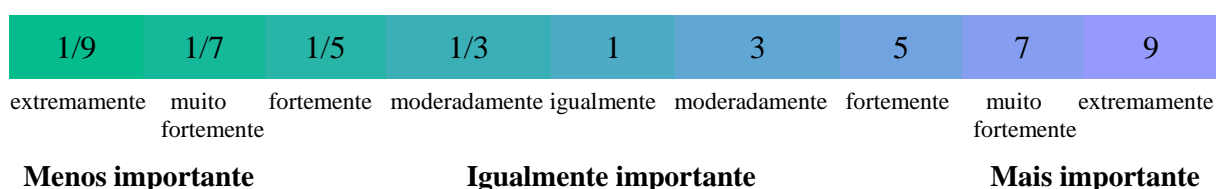


Figura 34: Escala de intensidade de importância relativa entre os fatores (adaptado de EASTMAN, 2009).

A partir do julgamento da importância relativa entre os fatores condicionantes elabora-se uma matriz de comparação pareada, como a ilustrada na Tabela 8. Os elementos desta tabela correspondem aos pesos atribuídos à comparação entre dois fatores, sendo que cada valor representa a importância do critério da linha em relação ao critério da coluna. Por exemplo, na Tabela 8 o fator 3 foi considerado como sendo fortemente mais importante que o fator 2. Como essa matriz é recíproca, apenas a metade triangular inferior necessita ser preenchida.

Tabela 8: Exemplo de uma matriz de comparação pareada.

Fator condicionante	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Fator 1	1				
Fator 2	1/3	1			
Fator 3	1	5	1		
Fator 4	1/7	2	1/7	1	
Fator 5	1/2	2	1/2	1/3	1

Uma vez montada a matriz de comparação pareada, o peso de cada um dos fatores é calculado a partir do autovetor principal da matriz, conforme mostra a Equação 3. Devido à sua complexidade, problemas de autovetor e autovalor, só são possíveis de serem resolvidos, de maneira geral, por meio de matemática computacional. Neste estudo a resolução dessa expressão foi realizada no *software* Idrisi. Entretanto, uma boa aproximação do valor do autovetor pode ser obtida a partir da soma dos valores de cada coluna da matriz A, seguida pela divisão de cada elemento da matriz pelo somatório da coluna a que pertence, obtendo-se assim uma matriz de comparação par a par normalizada. Por fim, realiza-se a divisão do somatório dos valores de cada linha da matriz normalizada pelo número de fatores avaliados, obtendo-se o peso aproximado de cada fator. O resultado será bastante similar ao obtido calculando-se o autovetor principal (SAATY, 1980).

$$Aw = \lambda_{m\acute{a}x} \quad \text{Equação 3}$$

Onde: A é a matriz de comparação par a par; w é o vetor de pesos pretendidos; e $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o máximo autovalor da matriz A.

A última etapa da técnica AHP consiste na verificação do grau de consistência (*Consistency Ratio* - CR) dos julgamentos realizados, com o uso da Equação 4. Esta razão indica a probabilidade dos valores da matriz terem sido gerados ao acaso. Quanto mais próximos os resultados forem de zero, mais coerentes foram os pesos de compensação adotados e maior é a confiabilidade do julgamento dos especialistas. Caso esse valor seja superior a 0,10, ou seja, 10% de inconsistência, é necessário descartar os resultados e refazer os julgamentos para que a inconsistência seja minimizada (SAATY, 2008).

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 = 10\% \quad \text{Equação 4}$$

Onde: CR é o grau de consistência; CI é o índice de consistência; e RI é o índice de aleatoriedade.

O índice de consistência (CI) é obtido a partir da Equação 5. Saaty (2008) comenta que para uma matriz consistente, o autovalor máximo deve ser igual ao número de fatores selecionados (n). O índice de aleatoriedade (RI), por sua vez, é obtido a partir do número de fatores utilizados na análise, conforme mostrado na Tabela 9.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 5}$$

Onde: n é o número de critérios utilizados; e $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o máximo autovalor da matriz.

Tabela 9: Índice de aleatoriedade (RI) conforme o número de fatores (n) utilizados.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Neste trabalho, foram gerados dezessete cenários de suscetibilidade com o apoio da técnica AHP. Contudo, são apresentados e discutidos apenas dois cenários, os quais obtiveram uma maior acurácia na etapa de validação. Os valores atribuídos ao relacionamento entre cada par de fatores basearam-se no grau de importância de cada um no condicionamento dos escorregamentos no contexto do município de Porto Alegre, na revisão da literatura e na consulta a especialistas com experiência prática na temática. Os pesos de compensação atribuídos podem ser alterados em qualquer momento do estudo, dependendo da análise que se deseja fazer, permitindo, deste modo, uma fácil atualização e a elaboração de cenários alternativos.

4.2.6.1. Cenário 1: Suscetibilidade natural a escorregamentos

No primeiro cenário foram consideradas quatro variáveis: declividade, geologia, distância de lineamentos e acúmulo de fluxo. Dessa forma, pretende-se avaliar a suscetibilidade natural do terreno, ou seja, sem analisar a intervenção humana. É importante salientar que essa avaliação trata-se de uma estimativa, pois é impossível desconsiderar completamente a ação antrópica em áreas já ocupadas, tendo em vista que o próprio mapa de declividades reflete as modificações realizadas pelo homem por meio da execução de cortes e aterros.

A matriz de comparação pareada e os pesos de compensação obtidos para cada fator condicionante no o Cenário 1 são ilustrados na Tabela 10. A razão de consistência obtida foi de 0,05, o que indica que o julgamento apresentou consistência aceitável, ou seja, foi menor que 0,10. Desta forma, os pesos são considerados apropriados e podem ser utilizados na modelagem da suscetibilidade a escorregamentos.

Tabela 10: Matriz de comparação pareada dos fatores condicionantes dos escorregamentos e seus respectivos pesos de compensação (Cenário 1 - suscetibilidade natural).

Fator condicionante	Declividade	Geologia	Distância de lineamentos	Acúmulo de fluxo	Pesos
Declividade	1				0,5581
Geologia	1/3	1			0,2789
Distância de lineamentos	1/5	1/3	1		0,1130
Acúmulo de fluxo	1/7	1/7	1/3	1	0,0501

Neste cenário, o fator condicionante com maior importância para a predisposição do terreno à ocorrência de escorregamentos foi a declividade, com um peso de 0,5581, o que significa que esse fator tem 55,81% de influência sobre o valor final de suscetibilidade. Esse elevado peso é coerente com outros estudos, onde a declividade é considerada como o fator mais importante para mapear a suscetibilidade a escorregamentos (AYALEW et al., 2004; ABELLA e VAN WESTEN, 2007; REIS et al., 2012; GÜNTHER, 2012).

O segundo fator com maior importância foi a geologia, com um peso de 0,2789. Esse fator é considerado por alguns especialistas como a variável mais relevante (ZHOU et al.; 2006, AKGÜN e BULUT, 2007; LADAS et al., 2007; KAMP et al., 2008), e por outros como a segunda mais relevante na análise da suscetibilidade (ABELLA e VAN WESTEN, 2007; GÜNTHER, 2012; REIS et al., 2012). A alta valoração da geologia teve como base o fato de que os escorregamentos são fortemente controlados pelas unidades geológicas, já que estas possuem diferentes estruturas, mineralogias, graus de intemperismo, e, portanto, suscetibilidades distintas. Dessa forma, o tipo de rocha explica, em muitos casos, o fato de alguns locais serem mais suscetíveis do que outros, mesmo estando expostos as mesmas condições.

O fator distância de lineamentos obteve um peso de 0,1130, análogo aos valores adotados por outros pesquisadores (SUH et al., 2011; FEIZIZADEH et al., 2011; ROZOS et al., 2011; TEIMOURI e GRAEE, 2012). Essa variável não é considerada tão significativa quando comparada com as demais no município de Porto Alegre. Isso ocorre devido à baixa probabilidade de que ocorra uma reativação destas zonas por tectônica recente, já que as mesmas encontram-se localizadas dentro de uma plataforma continental estável, onde ocorrem somente os processos superficiais de intemperismo e erosão.

O fator acúmulo de fluxo foi considerado como o de menor influência na suscetibilidade, com um peso de 0,0501, valor similar ao adotado por outros autores (GHOSH et al., 2011;

MONDAL e MAITI, 2012). Essa variável não contribui diretamente para a ocorrência de escorregamentos, mas ela está relacionada com a concentração dos fluxos de água e consequente saturação dos solos, a qual resulta no aumento da poropressão e redução do fator de segurança das encostas (DIETRICH et al., 1995).

4.2.6.2. Cenário 2: Suscetibilidade induzida a escorregamentos

No segundo cenário, os julgamentos adotados foram idênticos ao do Cenário 1, com exceção da variável uso do solo e cobertura vegetal que foi incorporada na análise com o intuito de avaliar a suscetibilidade induzida pela ação antrópica. Alguns autores (ZÊZERE, 2005; DEMOULIN e CHUNG, 2007) questionam a utilização da variável atividade humana na avaliação da suscetibilidade, uma vez que esta não seria um fator condicionante, mas sim um fator preparatório ou desencadeante dos escorregamentos, que os inicia, assim como a chuva, devendo a mesma ser incorporada em avaliações de perigo. Entretanto, a consideração dessa variável se justifica pelo fato de que a mesma é determinante nas áreas urbanizadas de Porto Alegre, onde as condições naturais de ocorrência de processos geomorfológicos de evolução de vertentes são agravadas pelo homem. Além disso, a maior parte dos trabalhos analisados (Apêndice A) considera o uso do solo e cobertura vegetal na avaliação da suscetibilidade, sendo que Bateira (2001) ressalta que dificilmente se poderá proceder a cartografia de suscetibilidade a nível urbano sem considerar a importância do fator antrópico sobre a dinâmica do meio físico.

A matriz de comparação pareada e os pesos obtidos para cada fator condicionante no Cenário 2 estão ilustrados na Tabela 11. A razão de consistência obtida foi de 0,08, o que indica que os julgamentos são consistentes, não havendo a necessidade de reorganizar a matriz.

Tabela 11: Matriz de comparação pareada dos fatores condicionantes escorregamentos e seus respectivos pesos de compensação (Cenário 2 - suscetibilidade induzida).

Fator condicionante	Declividade	Geologia	Distância de lineamentos	Acúmulo de fluxo	Uso do solo e cobertura veg.	Pesos
Declividade	1					0,4883
Geologia	1/3	1				0,2525
Distância de lineamentos	1/5	1/3	1			0,0777
Acúmulo de fluxo	1/7	1/7	1/3	1		0,0409
Uso do solo e cobertura veg.	1/3	1	5	7	1	0,1407

Assim como no cenário anterior, o fator com o maior peso foi a declividade (0,4883), seguido da geologia (0,2525) e uso do solo e cobertura vegetal (0,1407), distância de lineamentos (0,0777) e, finalmente, acúmulo de fluxo (0,0409). A variável uso do solo e cobertura vegetal recebeu um peso relativamente alto, visto que em Porto Alegre as ações antrópicas alteram significativamente a suscetibilidade natural do terreno, condicionando assim, os escorregamentos. Os pesos adotados para essa variável são coerentes com os utilizados por Vahidnia et al. (2009), Ghosh et al. (2011), Reis et al. (2012), entre outros.

4.2.7. Geração dos cenários de suscetibilidade

A última etapa para a elaboração do mapa de suscetibilidade consistiu na agregação dos fatores condicionantes através do método da combinação linear ponderada (WLC). Para tanto, os fatores padronizados dentro do intervalo de 0 a 1 foram multiplicados pelo seu respectivo peso, obtido através da técnica AHP, conforme apresentado na Equação 6. A seguir, os resultados foram somados e multiplicados pela restrição *booleana* imposta pelo limite do município de Porto Alegre, desconsiderando-se as Ilhas do Delta do Jacuí a fim de racionalizar o tempo de processamento. Esse cálculo foi realizado *pixel a pixel*, como ilustrado na Figura 35.

$$S = (f_d * w_d + f_g * w_g + f_{dl} * w_{dl} + f_{ac} * w_{ac} + f_{us} * w_{us}) * r_{poa} \quad \text{Equação 6}$$

Onde: S é a suscetibilidade; f_d é a declividade; f_g é a geologia; f_{ac} é o acúmulo de fluxo; f_{dl} é a distância de lineamentos; f_{us} é o uso do solo e cobertura vegetal; r_{poa} é o valor (0 ou 1) da restrição limite do município de Porto Alegre, desconsiderando-se as ilhas do Delta do Jacuí; w é o peso de cada um dos fatores obtido através da técnica AHP.

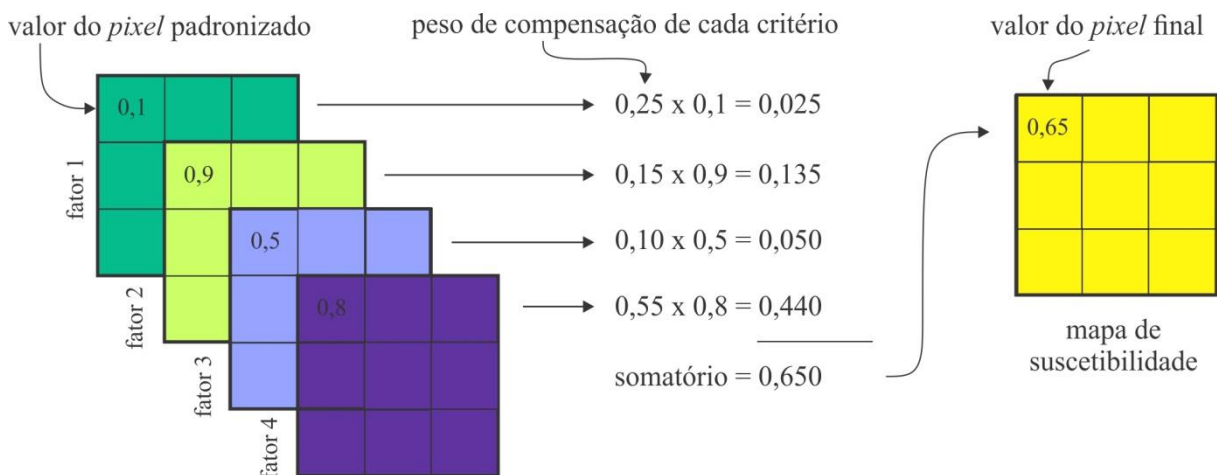


Figura 35: Ilustração do processo de agregação dos fatores através do método da combinação linear ponderada.

Essa rotina foi aplicada às duas hipóteses formuladas, fornecendo dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos. Nestes mapas, os valores de suscetibilidade variam de maneira contínua entre o intervalo de 0 a 1, sendo 0 o valor de suscetibilidade mais baixo, aumentando gradativamente até 1, valor máximo de suscetibilidade.

De forma a hierarquizar os graus suscetibilidade, efetuou-se a classificação dos mapas elaborados em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Foram testadas as seguintes funções: intervalo equivalente, quantil e quebra natural. Devido à não linearidade dos histogramas e com intuito de evitar a superestimação das áreas classificadas com suscetibilidade muito alta, optou-se pela classificação baseada no método do intervalo equivalente, recomendado por Dai et al. (2001) e Kanungo et al. (2006), onde cada classe possui o mesmo intervalo. Desta forma, o fatiamento foi definido quantitativamente. Os valores dos intervalos utilizados para a classificação dos mapas são apontados na Tabela 12.

Tabela 12: Intervalos utilizados para a classificação dos mapas de suscetibilidade.

Classes de suscetibilidade	Valores dos intervalos de suscetibilidade	
	Cenário 1	Cenário 2
Muito baixa	0,0000 – 0,1832	0,0000 – 0,1792
Baixa	0,1832 – 0,3664	0,1792 – 0,3584
Média	0,3664 – 0,5496	0,3584 – 0,5376
Alta	0,5496 – 0,7328	0,5376 – 0,7168
Muito alta	0,7328 – 0,9160	0,7168 – 0,8960

4.2.8. Comparação entre os mapas de suscetibilidade

A comparação entre os dois mapas de suscetibilidade elaborados foi realizada com o intuito de verificar as diferenças e similaridades existentes entre os mesmos. Para tanto, empregou-se a técnica da tabulação cruzada, onde os mapas de suscetibilidade foram cruzados de forma a elaborar uma matriz de similaridade, também chamada de matriz de erro ou de confusão. Essa matriz permite calcular e comparar a área das intersecções entre as classes de suscetibilidade dos dois mapas, sendo que os seus valores expressam a proporção de *pixels* associada a cada classe de suscetibilidade em cada mapa.

4.2.9. Validação dos mapas de suscetibilidade

A validação dos mapas de suscetibilidade é fundamental para determinar sua capacidade de previsão e, desta forma, orientar a tomada de decisões sobre a sua utilização. Nesse estudo, a qualidade dos cenários foi aferida a partir da contraposição entre os mapas de suscetibilidade classificados e o mapa com os escorregamentos registrados, procedendo-se a respectiva

análise de concordância de ambos. Quanto maior a coincidência entre os escorregamentos e a área designada como sendo de muita alta suscetibilidade, melhor é considerado o desempenho do cenário. Guzzetti (2006) ressalta que para que um modelo seja avaliado como adequado, o resultado da validação deve ser igual ou superior a 75%. Caso contrário, deve-se proceder à sua calibragem.

Determinou-se também a taxa de sucesso, por meio da construção da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) no *software* Idrisi. Essa curva consiste na representação bidimensional da performance de um modelo. Ela permite avaliar o desempenho dos cenários de maneira contínua, evitando a inclusão de erros devido o fatiamento dos mapas em classes de suscetibilidade. Para tanto, todos os escorregamentos mapeados foram cruzados com os mapas contínuos de suscetibilidade. A partir dessa operação, foi possível calcular a Área Abaixo da Curva (AUC – *Area under the curve*), conforme a Equação 7 (CLARK LABS, [20-]) aferindo-se o desempenho numa escala que varia entre 0 (performance mínima) e 1 (performance máxima).

$$AUC = \sum_{i=1}^n \left[(L_{S_i} - L_i) \times \frac{a_i + b_i}{2} \right] \quad \text{Equação 7}$$

Onde: $L_{S_i} - L_i$ é a amplitude de cada classe; a_i é o valor da ordenada correspondente a L_i ; e b_i é o valor da ordenada correspondente a L_{S_i} .

A Figura 36 mostra dois exemplos de curvas ROC: A e B. Neste caso, o cenário B possui uma área maior abaixo da curva e, portanto, tem uma melhor exatidão média. Contudo, nota-se que com 60% da área de estudo a curva A apresenta um desempenho superior a B.

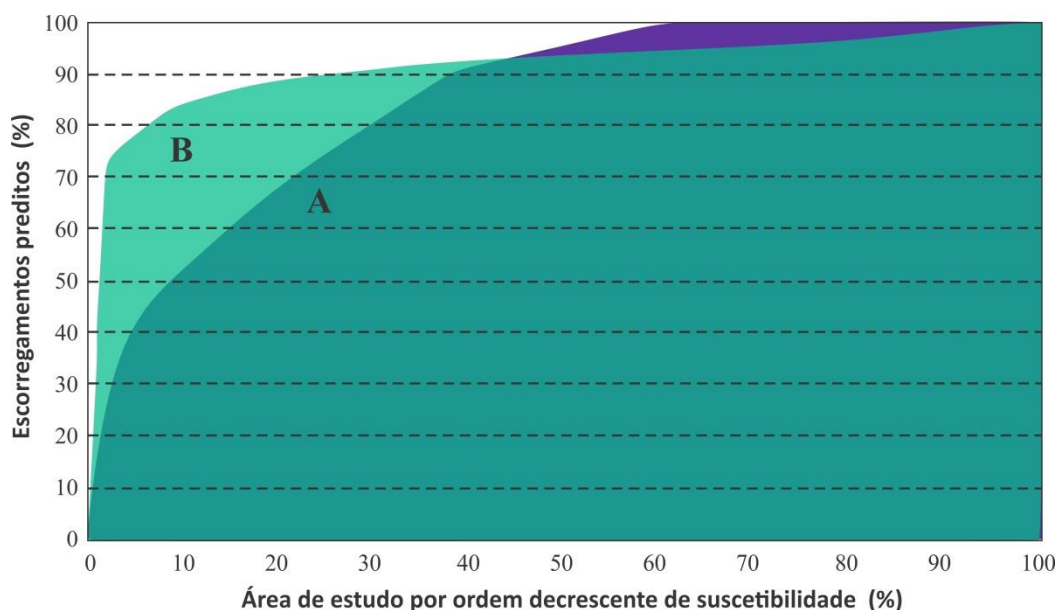


Figura 36: Exemplo ilustrativo de duas curvas ROC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia proposta. Primeiramente, são relatados os dados do inventário de movimentos de massa. A seguir, apresentam-se os resultados do cruzamento entre os escorregamentos mapeados e os fatores condicionantes utilizados na modelagem da suscetibilidade. Por fim, são analisados os dois cenários de suscetibilidade elaborados, os quais foram validados por meio de seu cruzamento com os escorregamentos pretéritos.

5.1. ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA

Os relatórios de vistoria do Programa de Áreas de Risco (PAR/SMAM) contabilizam 247 registros relacionados a movimentos de massa no município de Porto Alegre no período de 2007 a 2013. Desse total, 132 são ocorrências efetivamente deflagradas, das quais 114 foram movimentos do tipo escorregamento e 18 correspondem a quedas de blocos. Os demais casos se referem a locais suscetíveis a movimentos de massa, sendo 84 com predisposição à ocorrência de escorregamentos e 31 à ocorrência de quedas de blocos (Figura 37). Uma síntese dos processos cadastrados é apresentada no Apêndice B, onde são informadas as coordenadas UTM, o tipo de processo, a localização e o ano de cada registro.

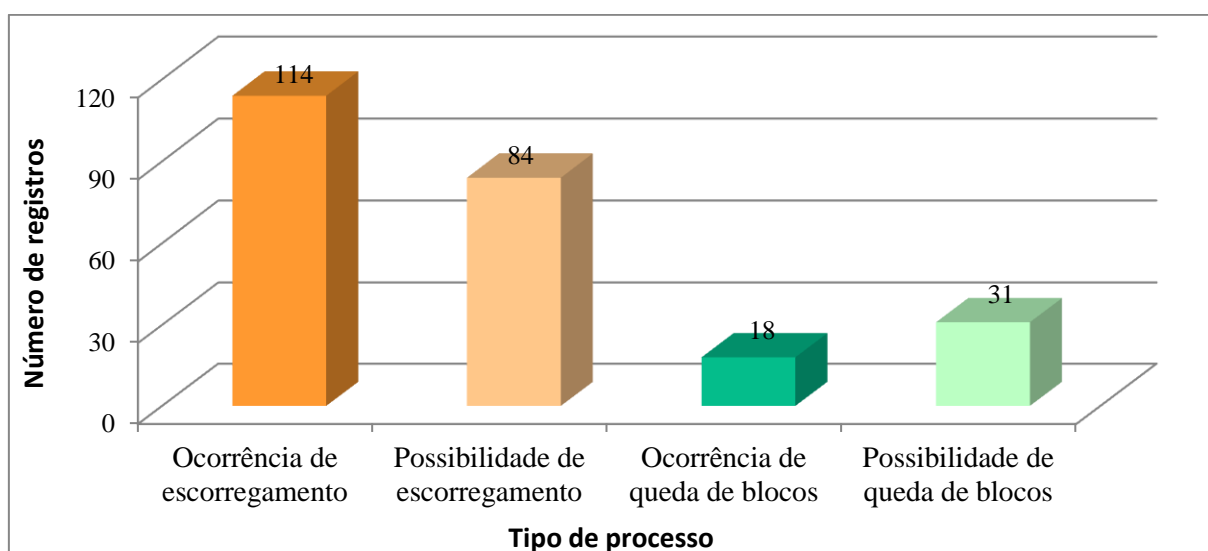


Figura 37: Registros relacionados à ocorrência e possibilidade de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013 (PAR, 2013).

Os anos com maior número de registros nesse período foram, em ordem decrescente, 2008, 2009 e 2013, respectivamente com 53, 47 e 47 casos (Figura 38). Nesses anos ocorreram,

alguns dos maiores valores de precipitação pluviométrica acumulada, o que assinala a sua influência na deflagração dos movimentos de massa, como esperado. Destaca-se o pico de escorregamentos no ano de 2008, o qual pode ser explicado por um evento de precipitação extrema no dia 03/05/2008, com um total de 165 mm em 24 horas, o maior volume registrado nos últimos 53 anos (INMET, 2014). Os anos com menores valores de precipitação, por sua vez, possuem menos registros. O ano de 2011 foi o que apresentou menos casos, compreendendo 16 registros, o que não deixa de ser notável, visto que equivale a uma média de 1,33 registros por mês. A média geral no período é de 35 registros por ano, enquanto a média de casos em que houve a deflagração do movimento de massa é de 19 ocorrências por ano. Contudo, para uma análise detalhada dos fatores que levaram a deflagração dos movimentos de massa, seria necessário avaliar a precipitação acumulada nos dias anteriores à ocorrência desses processos, o que não foi objeto de estudo da presente dissertação.

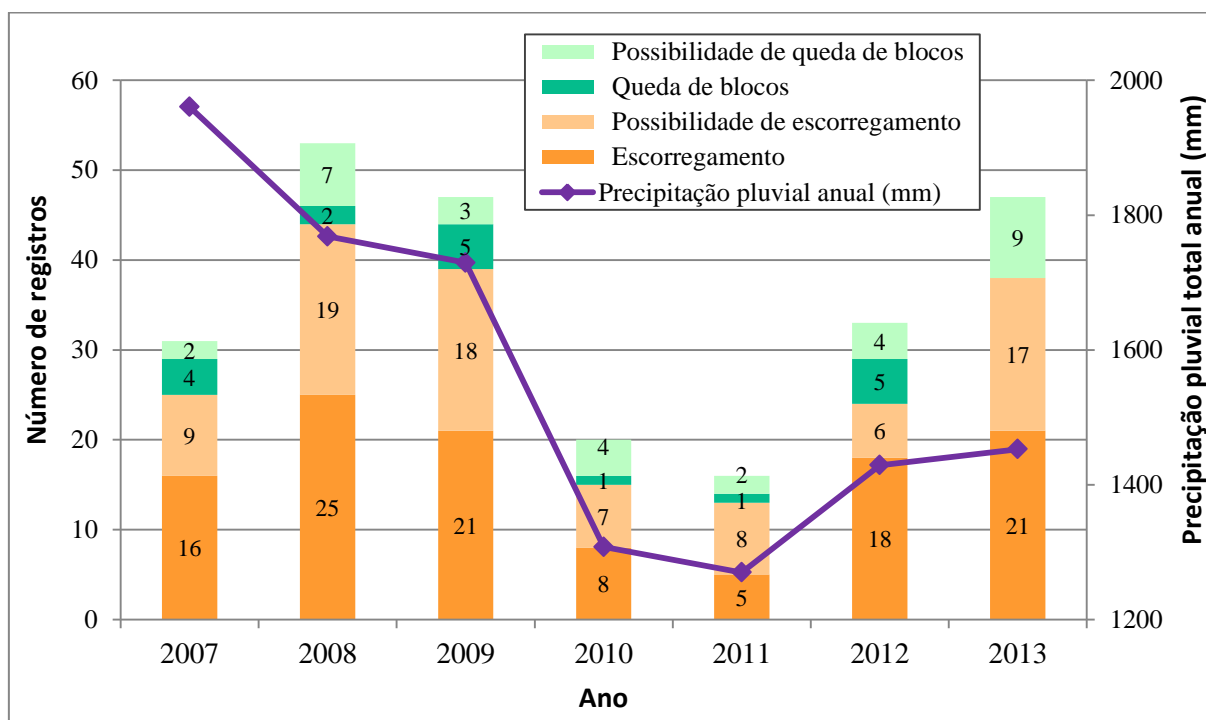


Figura 38: Registros relacionados a movimentos de massa e precipitação pluviométrica total (mm) em Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013 (PAR, 2013; INMET, 2014).

Do total de 247 registros do PAR, 222 foram georreferenciados satisfatoriamente, conforme apresentado no mapa da Figura 39. Os 25 casos restantes possuem lacunas na descrição de sua localização nos relatórios de vistoria do PAR, o que impossibilitou o seu georreferenciamento de forma inequívoca. Destes, 7 correspondem a escorregamentos, 14 são locais com possibilidade de ocorrência desse tipo de evento, 1 se refere a processos do tipo de queda de blocos, enquanto 3 são locais com possibilidade de ocorrência de quedas.

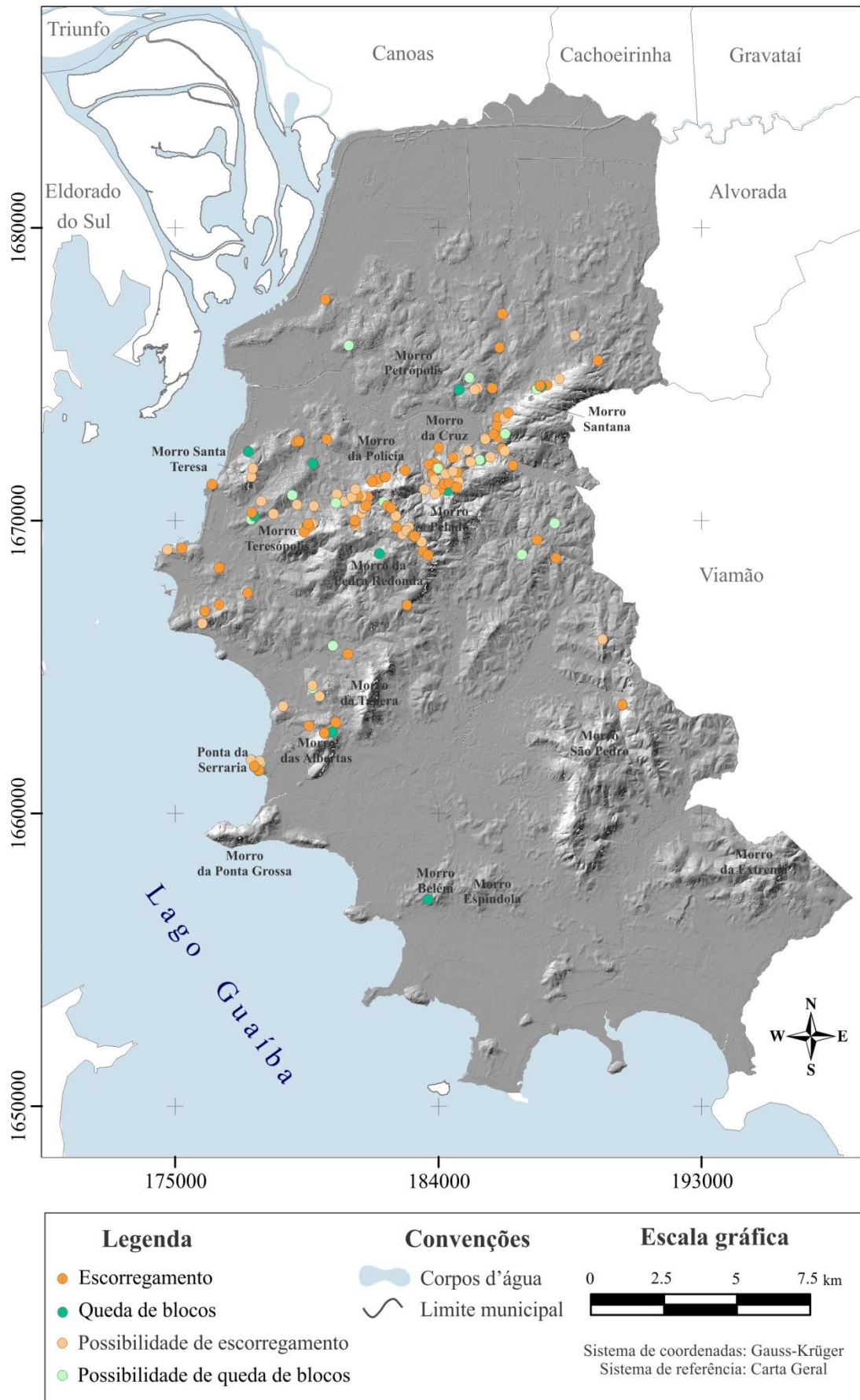


Figura 39: Espacialização dos registros relacionados a movimentos de massa no município de Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013 (PAR, 2013).

O mapa com o inventário de movimentos de massa (Figura 39) mostra que a maior parte dos registros encontra-se alinhada no sentido SO-NE, a mesma orientação da cadeia de morros graníticos denominada Crista de Porto Alegre. No restante do município os registros aparecem pontualmente nas encostas dos morros Santa Tereza, Alto Petrópolis e da Tapera. Os escorregamentos concentram-se junto às vertentes dos morros da Polícia, Pelado e Santana. As quedas de bloco, por outro lado, encontram-se dispersas no território, sendo mais frequentes nas antigas pedreiras de granito, localizadas na Ponta da Serraria, no Morro Santana e no Morro da Polícia. Robaina e Silva (1993) já haviam constatado que as pedreiras desativadas, as quais foram mapeadas por Philipp et al. (2009), potencializam a ocorrência de quedas em Porto Alegre, devido a presença de descontinuidades, que facilitam o desprendimento de blocos de rocha.

Todos os movimentos de massa mapeados estão associados a áreas ocupadas, sendo que a intervenção antrópica no território tem sido a principal responsável pela deflagração desses processos. Entre as situações que favorecem as instabilidades em Porto Alegre, destaca-se a execução de cortes com inclinação excessiva na base do talude, a construção de aterros com materiais inadequados, o lançamento de águas servidas nas encostas e a construção em áreas de alta declividade. A Figura 40 ilustra alguns exemplos de escorregamentos que ocorreram em Porto Alegre, onde é possível observar alguns desses fatores agravantes.

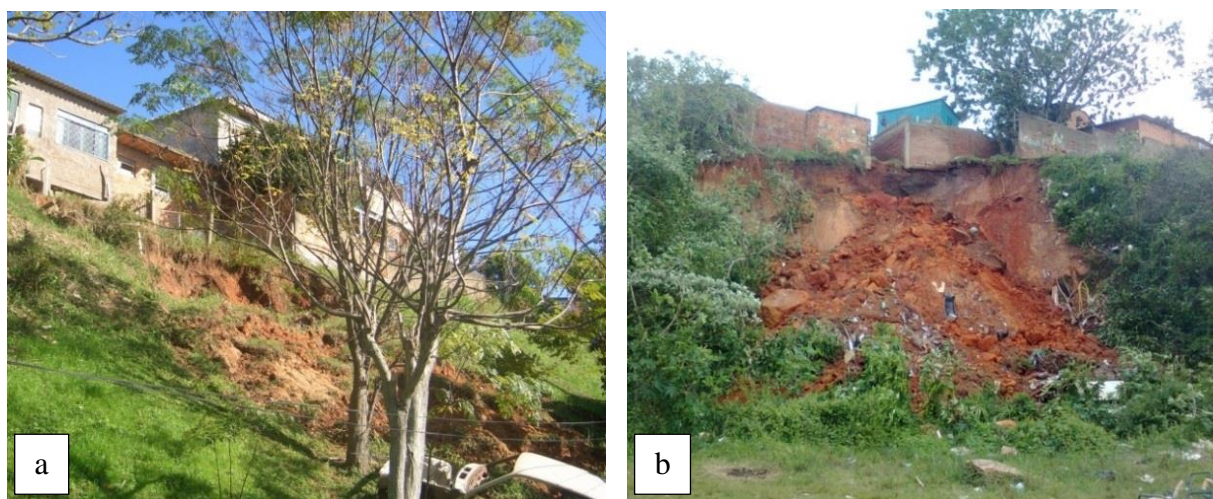


Figura 40: Escorregamentos em Porto Alegre associados a áreas com declividades acentuadas, onde o esgoto era lançado diretamente nas encostas: (a) Rua João Pitta Pinheiro em 2008; (b) Rua São Guilherme em 2012 (imagens cedidas pelo PAR, 2013).

Com relação ao tipo de ocupação, verificou-se que, apesar de grande parte dos movimentos de massa ocorrer em locais com ocupação irregular, muitas ocorrências estão associadas a locais considerados regulares, tais como os exemplos mostrados na Figura 41. Supõe-se que em

áreas implantadas legalmente exista a adoção de técnicas para o controle da suscetibilidade e vulnerabilidade, como por exemplo, a construção de muros de contenção com sistemas de drenagem apropriados e a execução de cortes e aterros com geometrias adequadas, mas a realidade nem sempre é essa. Isso ocorre porque o conhecimento do comportamento do meio físico ainda não foi adequadamente incorporado aos planos diretores, leis de uso e ocupação do solo ou ao processo de licenciamento dos novos parcelamentos de solo. Portanto, a possibilidade de ocorrência de escorregamentos em áreas regulares não deve ser menosprezada.



Figura 41: Escorregamentos em áreas de ocupação regular em Porto Alegre (a) Rua Professor Antônio José Remião, bairro Espírito Santo no ano de 2008; (b) Rua Engenheiro Álvaro Nunes Pereira, bairro Moinhos de Vento no ano de 2013 (imagens cedidas pelo PAR, 2013).

A recorrência de movimentos de massa é comum na Vila Laranjeiras, localizada no morro Santana; na Vila dos Sargentos, localizada na Ponta da Serraria; na Vila Mestre Macedinho, localizada no bairro Nonoai; e no Beco do Adelar, localizado no morro das Abertas. Em alguns casos, foram realizadas vistorias pelo PAR alertando sobre a possibilidade de ocorrência de escorregamentos, os quais foram deflagrados em anos posteriores. A título de exemplo cita-se a Travessa E, na Vila do Sargentos, onde no ano de 2008 a equipe do PAR solicitou a remoção dos moradores devido ao elevado risco de movimentos de massa. Não obstante o alerta, ocorreram escorregamentos neste local nos anos de 2010 e 2013, os quais causaram danos às moradias.

Do total de 81 bairros de Porto Alegre, 28 contabilizaram registros de movimentos de massa no período analisado, conforme apresentado na Figura 42. Os bairros com mais registros foram: Cascata, São José, Protásio Alves e Agronomia, respectivamente com 42, 28, 18 e 18 registros. A maior frequência de processos nesses bairros se justifica pela existência de fatores

naturais que favorecem a instabilidade, como declividades acentuadas e presença de granitos altamente fraturados, aliada à intervenção antrópica, sem a devida consideração das questões de estabilidade de encostas.

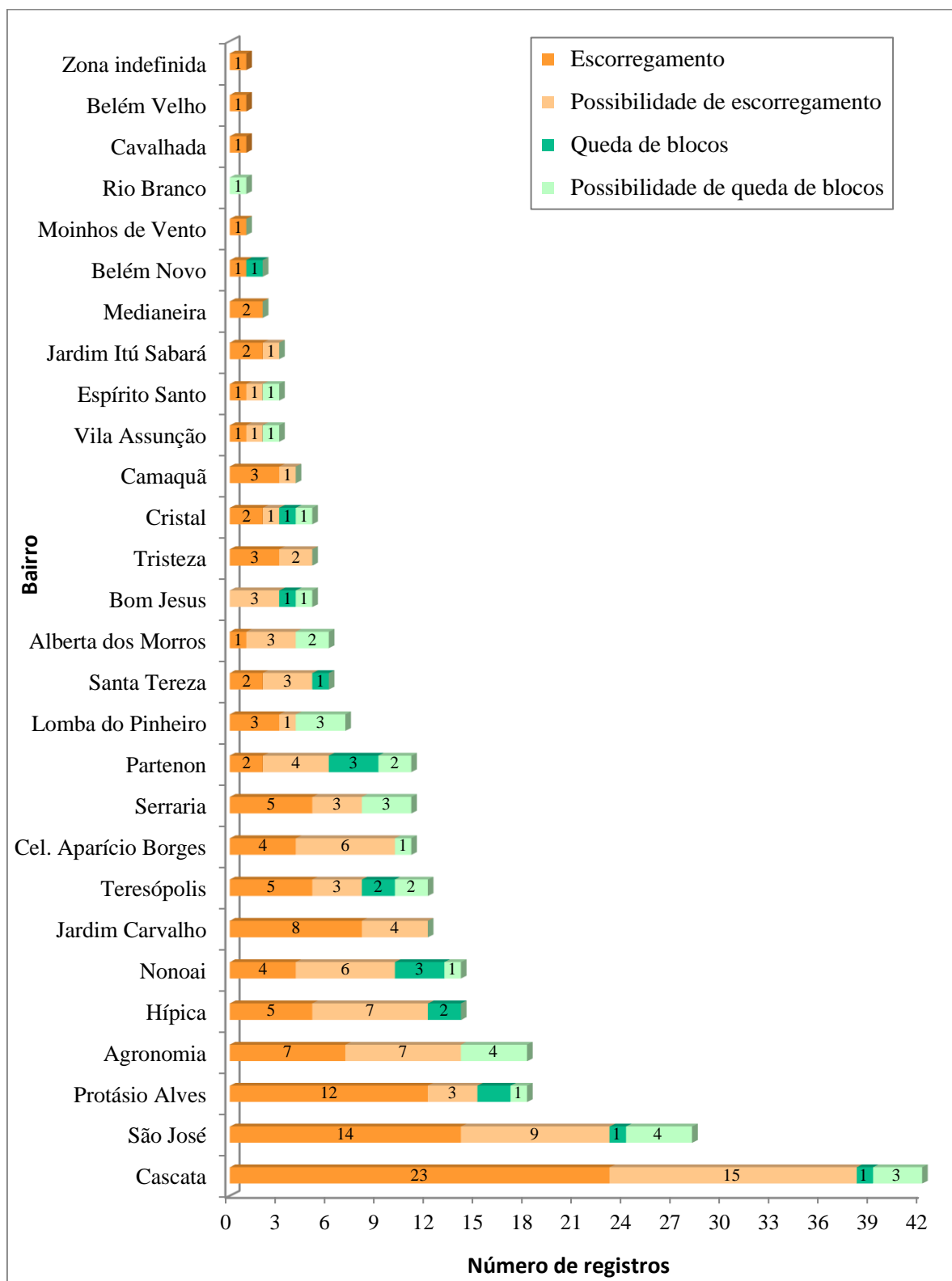


Figura 42: Registros relacionados a movimentos de massa nos bairros do município de Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2013.

A ausência de registros nos morros graníticos no Sul do município, como nos morros da Extrema e São Pedro, é explicada, em parte, pela sua baixa densidade populacional. Eventuais ocorrências muitas vezes não são registradas, pois não têm consequências diretas para a população ou para os elementos de infraestrutura. No entanto, a ocorrência de escorregamentos nessas áreas não pode ser desconsiderada, visto que a declividade acentuada pode favorecer a instabilidade das encostas e desencadear esses processos, especialmente sob ocupação inadequada.

Convém ressaltar que os resultados obtidos no inventário de movimentos de massa apresentam limitações, visto que foram contabilizados apenas os processos que causaram impactos a população e/ou suas atividades. Isso se deve ao fato de que o PAR tem como enfoque as áreas ocupadas, desconsiderando eventuais movimentos ocorridos em locais não ocupados, de forma que o número real de casos pode ser muito superior ao registrado. Além disso, o período de tempo dos registros é relativamente curto, contabilizando apenas 7 anos de análise, o que limita a capacidade para realizar projeções e destacar tendências futuras. Nesse sentido, Fell et al. (2008) destaca que, para esse propósito, os inventários devem incluir, pelo menos, os processos ocorridos nos últimos 10 ou 20 anos.

No entanto, apesar das limitações, acredita-se que os resultados do inventário de movimentos de massa apresentam, aparentemente, alguns aprimoramentos no que se refere à quantidade de registros quando comparado com o inventário elaborado por Reckziegel (2012) (vide Figura 20). Por exemplo, no ano de 2008 a autora mapeou 15 processos relacionados à ocorrência de quedas de blocos e escorregamentos, enquanto que nesse estudo foram cadastradas 27 ocorrências no mesmo ano. Apesar dessas diferenças, em ambos os estudos os bairros com maior frequência de movimentos de massa foram os mesmos e os registros se concentraram basicamente nas mesmas zonas do município.

5.2. RELAÇÃO ENTRE OS FATORES CONDICIONANTES E OS ESCORREGAMENTOS

Os resultados obtidos através do cruzamento dos fatores condicionantes (declividade, geologia, distância de lineamentos, uso do solo e cobertura vegetal e acúmulo de fluxo) com os 107 escorregamentos mapeados entre os anos de 2007 e 2013 são mostrados na Tabela 13. São apresentadas a área em km² de cada classe, a quantidade e a densidade de escorregamentos em cada classe.

Tabela 13: Área, quantidade e densidade de escorregamentos ocorridos entre 2007 e 2013 em cada classe dos fatores condicionantes.

Fator condicionante	Classe	Área da classe (km ²)	Quantidade de escorregamentos	Densidade (nº de escorregam./km ²)
Declividade	0 a 5%	214,70	0 (0,0%)	0,00
	5 a 10%	65,21	1 (0,9%)	0,02
	10 a 15%	49,15	1 (0,9%)	0,02
	15 a 20%	36,61	0 (0,0%)	0,00
	20 a 25%	23,21	5 (4,6%)	0,22
	25 a 30%	14,79	11 (10,2%)	0,74
	30 a 35%	9,63	19 (17,7%)	1,97
	35 a 40%	6,35	13 (12,1%)	2,05
	40 a 45%	4,24	13 (12,1%)	3,07
	45 a 50%	2,83	12 (11,2%)	4,25
	50 a 55%	1,80	7 (6,5%)	3,90
	55 a 60%	1,10	8 (7,4%)	7,29
	60 a 65%	0,67	5 (4,6%)	7,51
	65 a 70%	0,40	3 (2,8%)	7,45
	> 70%	0,75	9 (8,4%)	12,01
	Mínimo	10,48	Média	46,07
	Máximo	129,63	Desvio Padrão	18,55
Geologia	Aterro	7,09	0 (0,0%)	0,00
	Cordões arenosos	18,74	0 (0,0%)	0,00
	Depósitos aluviais	23,58	0 (0,0%)	0,00
	Depósitos eluviais do escudo	68,11	11 (11,2%)	0,16
	Gnaisses Porto Alegre	13,96	1 (0,9%)	0,07
	Granito Canta Galo	12,15	0 (0,0%)	0,00
	Granito Independência	15,07	1 (0,9%)	0,07
	Granito Ponta Grossa	48,68	26 (24,3%)	0,53
	Granito Santana	34,21	62 (57,9%)	1,81
	Granito Viamão	69,23	5 (4,6%)	0,07
	Terraços e cordões arenosos	120,38	1 (0,9%)	0,01
	Moda	Granito Santana		
Distância de lineamentos	0 a 100 metros	32,06	36 (33,6%)	1,12
	100 a 200 metros	30,24	23 (21,5%)	0,76
	200 a 300 metros	27,98	7 (6,5%)	0,25
	300 a 400 metros	24,65	9 (8,4%)	0,37
	400 a 500 metros	21,34	3 (2,8%)	0,14
	500 a 600 metros	18,94	2 (1,8%)	0,11
	600 a 700 metros	16,39	8 (7,4%)	0,49
	700 a 800 metros	14,74	1 (0,9%)	0,07
	800 a 900 metros	13,40	6 (5,6%)	0,45
	900 a 1.000 metros	12,98	3 (2,8%)	0,23
	> 1.000 metros	218,69	9 (8,4%)	0,04
		Mínimo	5,00	Média
	Máximo	5.521,00	Desvio Padrão	669,11
Acúmulo de fluxo	0 a 250 m ²	291,29	75 (70,0%)	0,26
	250 a 500 m ²	62,16	16 (14,9%)	0,26

Continua...

Fator condicionante	Classe	Área da classe (km ²)	Quantidade de escorregamentos	Densidade (nº de escorregam./km ²)
Acúmulo de fluxo	500 a 750 m ²	23,55	7 (6,5%)	0,30
	750 a 1.000 m ²	11,93	3 (2,8%)	0,25
	1.000 a 1.250 m ²	7,21	0 (0,0%)	0,00
	1.250 a 1.500 m ²	4,92	2 (1,8%)	0,41
	1.500 a 1.750 m ²	3,58	0 (0,0%)	0,00
	1.750 a 2.000 m ²	2,76	1 (0,9%)	0,36
	2.000 a 2.250 m ²	2,20	1 (0,9%)	0,45
	2.250 a 2.500 m ²	1,80	1 (0,9%)	0,56
	> 2.500 m ²	20,32	1 (0,9%)	0,05
	Mínimo	25,00	Média	544,25
	Máximo	18.700,00	Desvio Padrão	2.152,25
Uso do solo e cobertura vegetal	Afloramento rochoso	0,43	0 (0,0%)	0,00
	Água	2,90	0 (0,0%)	0,00
	Arbóreo	96,19	5 (4,6%)	0,05
	Arbustivo	37,21	0 (0,0%)	0,00
	Cultivo	17,61	0 (0,0%)	0,00
	Herbáceo	115,05	5 (4,6%)	0,04
	Ocupação irregular	15,21	59 (55,4%)	3,88
	Ocupação regular	140,58	38 (35,5%)	0,27
	Solo exposto	6,24	0 (0,0%)	0,00
	Moda	Ocupação irregular		

A maior parte dos escorregamentos (53,1% do total) ocorreu em encostas com declividades entre 30 e 50%, em um relevo fortemente ondulado. Esses valores são coerentes com os encontrados por Marcelino (2003) e Vanacôr e Rolim (2012) para outras regiões do território brasileiro. Ao considerar a densidade de registros é possível observar que, quanto maior a declividade, maior tende a ser a densidade de escorregamentos, o que indica que essa variável é diretamente proporcional a ocorrência de escorregamentos em Porto Alegre. Sendo assim, constata-se que esses processos concentram-se espacialmente em encostas com declividades superiores a 70%, com uma densidade de 12,01 escorregamentos por km². Acredita-se que o número de escorregamentos em locais com relevo escarpado seja superior ao encontrado, uma vez que eventuais ocorrências não se tornam de conhecimento do PAR, já que essas áreas possuem baixa densidade populacional, devido às restrições à ocupação. Nos locais com declividades variando de 5 a 30% ocorreram 18 escorregamentos, o equivalente a 16,6% do total. A partir disso, constata-se que, apesar da declividade ser o principal fator predisponente dos escorregamentos, ela não é o único fator determinante da instabilidade em Porto Alegre.

No que diz respeito à geologia, nota-se que há um predomínio de escorregamentos no Granito Santana, fato também constatado por Reckziegel (2012). As 62 ocorrências registradas nessa litologia correspondem a 57,9% do total e se concentram, principalmente, ao longo das zonas

de falha e nas porções marginais dos corpos graníticos, onde a rocha é bastante fraturada. Ocorreu também, uma elevada frequência de escorregamentos no Granito Ponta Grossa e nos Depósitos Eluviais do Escudo, com 26 e 11 registros, respectivamente. Nos granitos Canta Galo e Viamão foi registrado um número reduzido desses processos, o que pode ter ocorrido em virtude dessas litologias se localizarem em áreas de baixa densidade populacional. Ou seja, os eventos que por acaso tenham ocorrido nesses locais não foram registrados, pois não causaram danos diretos à população. Além disso, nesses locais os fatores desencadeantes dos escorregamentos associados à ação antrópica não estão presentes.

Com relação à distância de lineamentos, 70% dos escorregamentos se situam até 400 metros dessas estruturas, o que indica que esse fator tem uma grande importância para a predisposição do terreno a escorregamentos. Além disso, a maior densidade de ocorrências está na classe de 0 a 100 metros, com um valor de 1,12 escorregamentos por km². Um total de 9 escorregamentos ocorreu em locais distantes mais de 1.000 metros dos lineamentos, contudo, a densidade de ocorrências nesse intervalo é reduzida, com apenas 0,04 escorregamentos por km². Destaca-se que parte dos escorregamentos que ocorreram a mais de 400 metros de lineamentos está associada a antigas áreas de extração mineral, o que possivelmente atuou como principal agente deflagrador desses processos. Deve-se considerar ainda que alguns lineamentos podem não ter sido identificados, devido à escala reduzida de seu mapeamento, a qual é de 1:50.000.

Para o fator acúmulo de fluxo, a maior quantidade de escorregamentos ocorreu na classe que varia de 0 a 250 m², com 75 escorregamentos, o equivalente a 70% do total. Já a maior densidade ocorreu no intervalo que varia de 2.250 a 2.500 m², com um valor de 0,56 registros por km², contudo, a frequência de escorregamentos nessa classe é inexpressiva, com apenas 1 registro. Os locais que possuem acúmulo de fluxo superior a 2.500 m² apresentam baixa frequência de escorregamentos, em virtude das declividades reduzidas, embora tenham elevados níveis de umidade.

Aproximadamente 55,0% dos escorregamentos ocorreram em locais de ocupação irregular e 35,5% em áreas de ocupação regular. Contudo, a análise visual do tipo de ocupação associado a cada escorregamento, revelou que pelo menos três quartos dos escorregamentos ocorreram em locais irregulares. Isso se deve ao fato de que ocupações espontâneas inseridas em áreas regulares não constam no mapa de uso do solo e cobertura vegetal utilizado, em função de serem muito pequenas para a escala de mapeamento, a qual é de 1:15.000, conforme mostra o exemplo da Figura 43. Além disso, a evolução da ocupação é dinâmica, enquanto este mapa

foi elaborado com base em imagens orbitais de alta resolução do ano de 2003. Recomenda-se, portanto, cautela ao utilizar esta relação.



Figura 43: Escorregamento ocorrido em área considerada regular segundo o mapa de uso do solo e cobertura vegetal. (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 6673258 m N 479716 m E). (Elaborado a partir de uma imagem de 12/10/12 do Google Earth®).

5.3. ANÁLISE DOS MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

A partir da avaliação por múltiplos critérios obtiveram-se dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos, cujos mapas são apresentados nas Figuras 44 e 45. Nesses mapas, as notas de suscetibilidade variam de maneira contínua no intervalo de 0 a 1, com o valor 0 correspondendo à suscetibilidade mais baixa, e o valor 1 à suscetibilidade máxima. Nota-se que os mapas dos dois cenários são muito similares, sendo que as classes mais suscetíveis se localizam, aparentemente, nas mesmas áreas. Entretanto, no Cenário 1 (Figura 44), a suscetibilidade varia de 0,000 a um máximo de 0,916, enquanto que no Cenário 2 (Figura 45), a variação vai de 0,000 a 0,896. Esses valores indicam que, em ambos os casos, devido à compensação entre os fatores considerados e as notas adotadas, nenhum local do município apresenta grau de suscetibilidade máxima, na qual todas as variáveis apresentassem plena contribuição para a predisposição do terreno a escorregamentos.

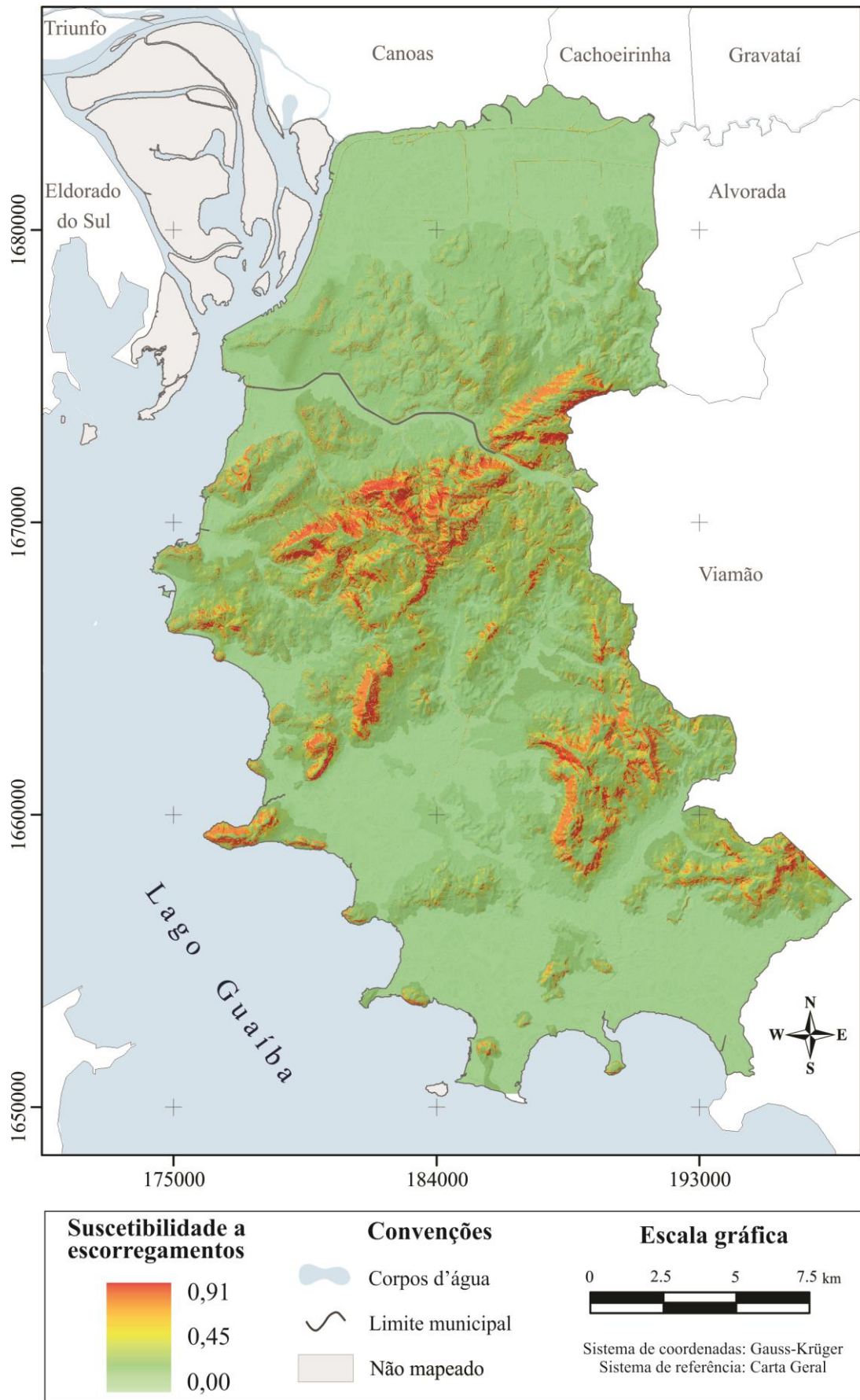


Figura 44: Mapa contínuo da suscetibilidade natural à ocorrência de escorregamentos no município de Porto Alegre – Cenário 1.

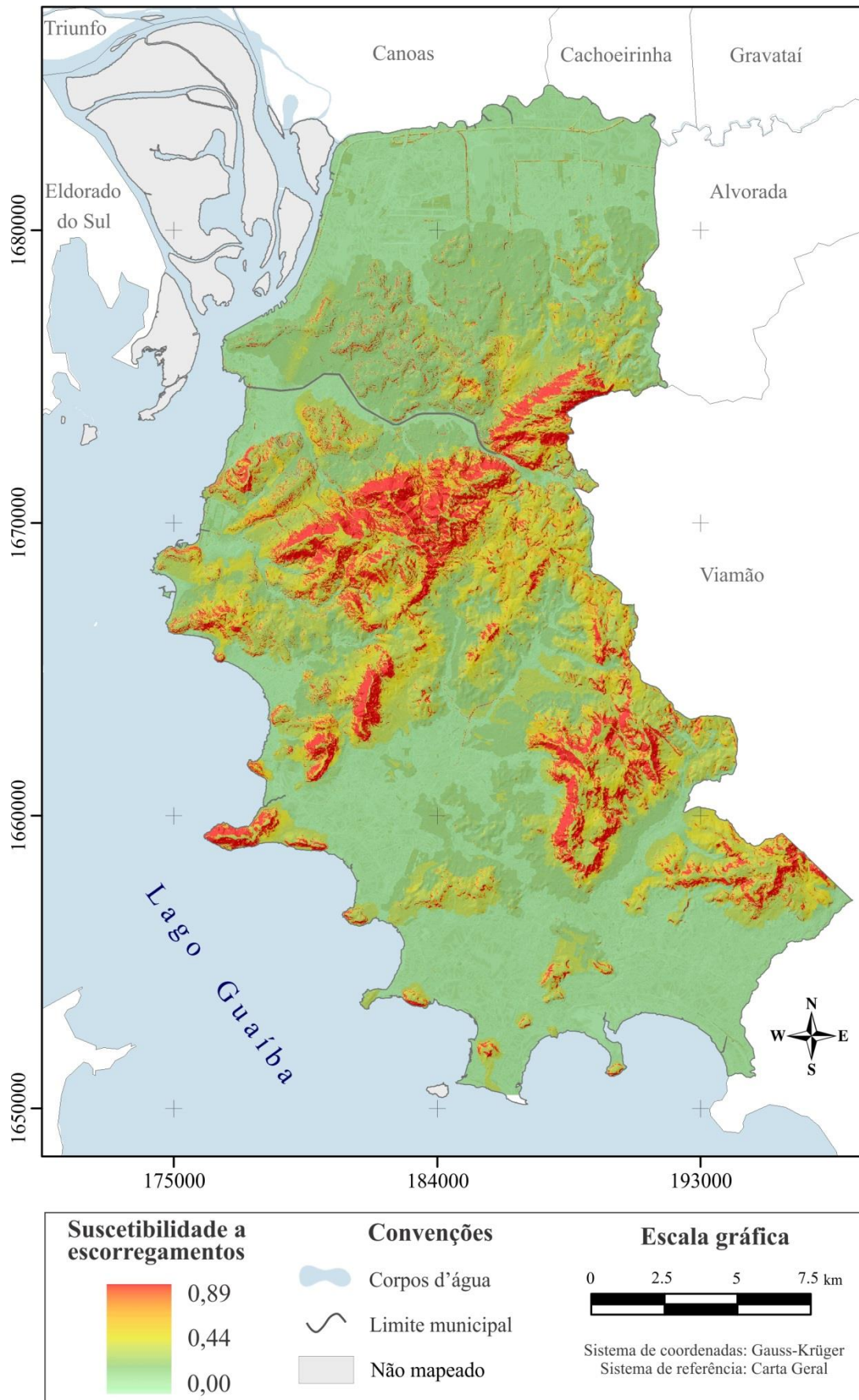


Figura 45: Mapa contínuo da suscetibilidade induzida à ocorrência de deslizamentos no município de Porto Alegre – Cenário 2.

A distribuição dos valores de suscetibilidade dos dois mapas é ilustrada nos histogramas das Figuras 46 e 47, onde o eixo horizontal corresponde ao grau de suscetibilidade e na vertical está representada a quantidade de *pixels*. Nota-se que, em ambos os cenários, existe uma concentração de *pixels* no intervalo de 0,03 a 0,30 de suscetibilidade. Entretanto, no Cenário 2, os valores de suscetibilidade encontram-se mais distribuídos quando comparados com o Cenário 1.

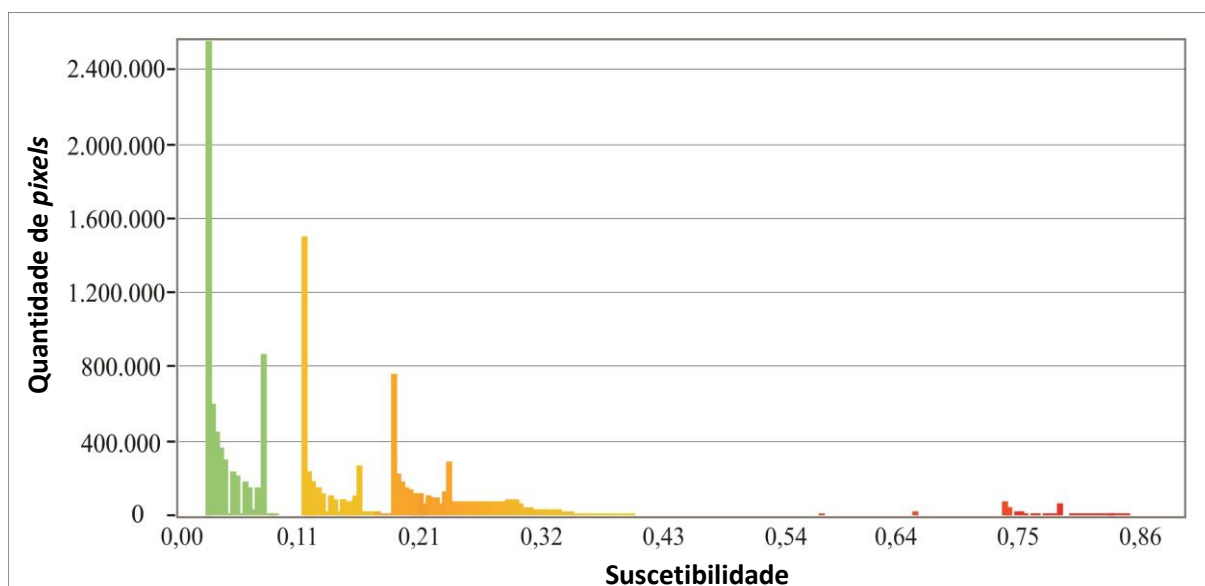


Figura 46: Histograma do mapa contínuo de suscetibilidade - Cenário 1.

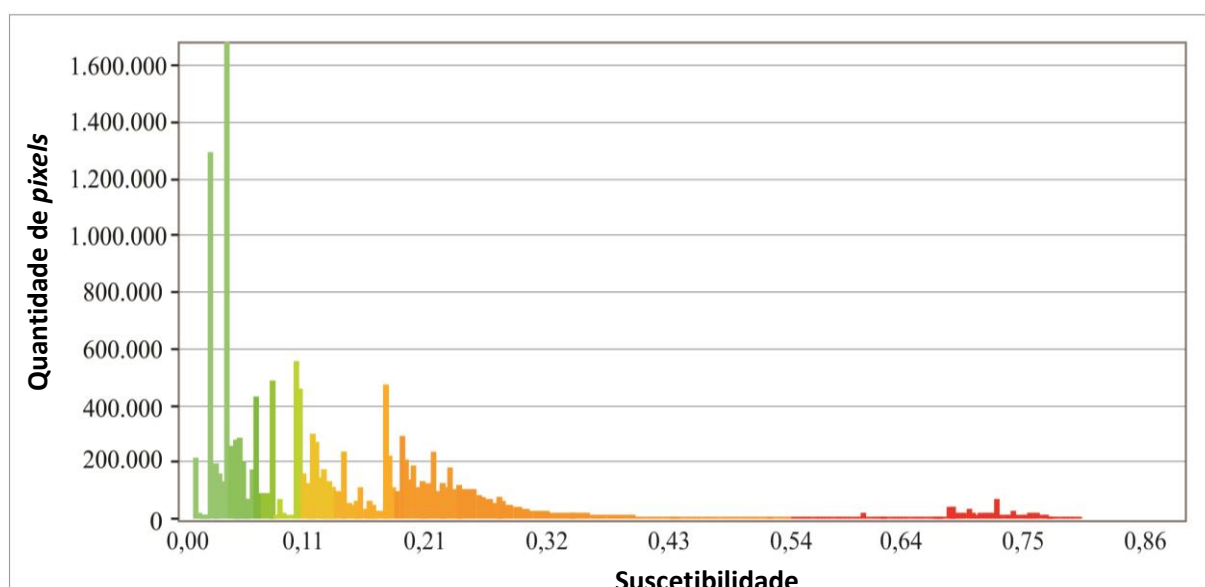


Figura 47: Histograma do mapa contínuo de suscetibilidade - Cenário 2.

Para tornar possível a hierarquização da suscetibilidade realizou-se, a partir da grade numérica contínua, a classificação dos mapas em cinco classes de suscetibilidade, conforme apresentado nas Figuras 48 e 49.

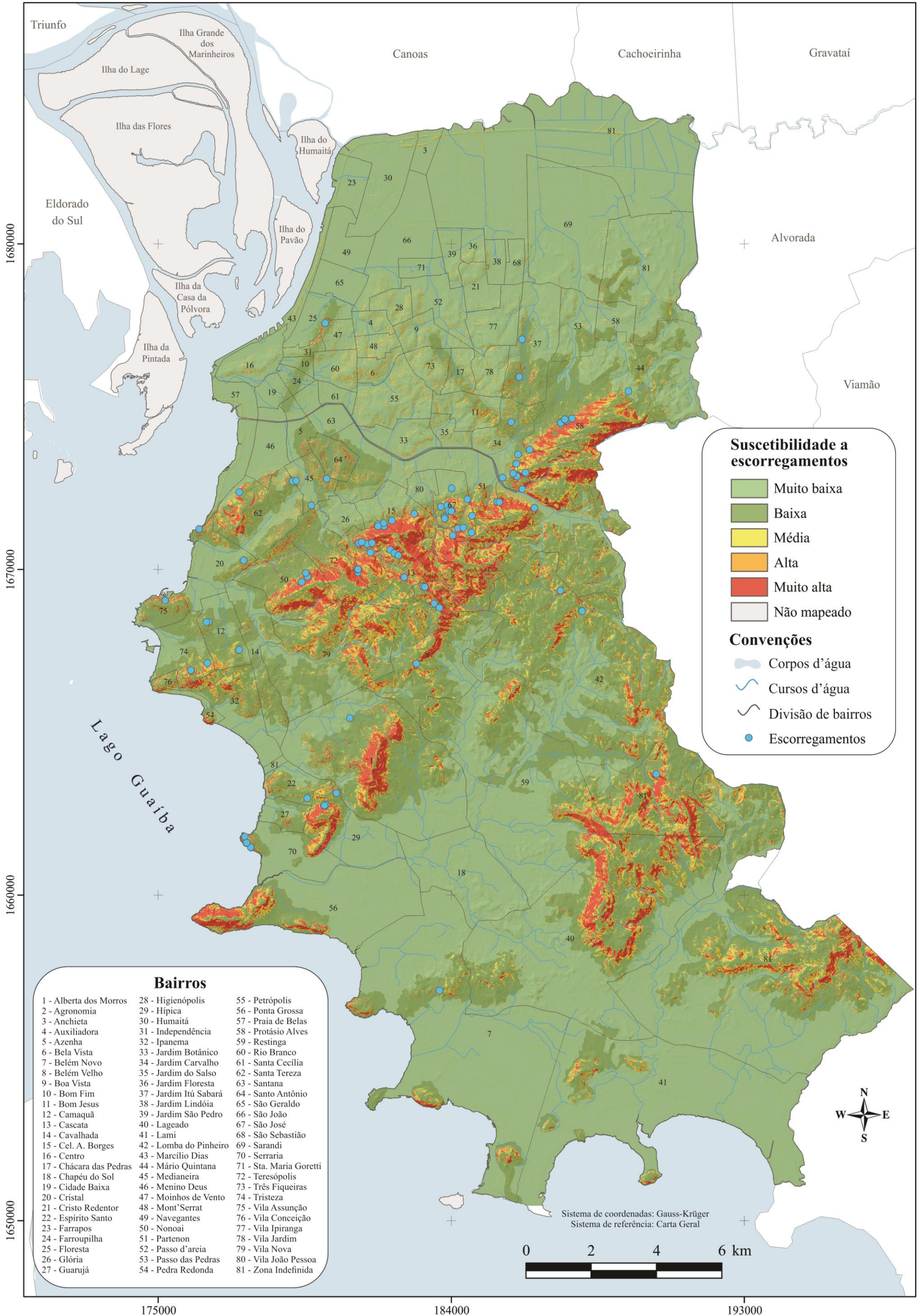


Figura 48: Mapa de suscetibilidade natural à ocorrência de escorregamentos no município de Porto Alegre - Cenário 1

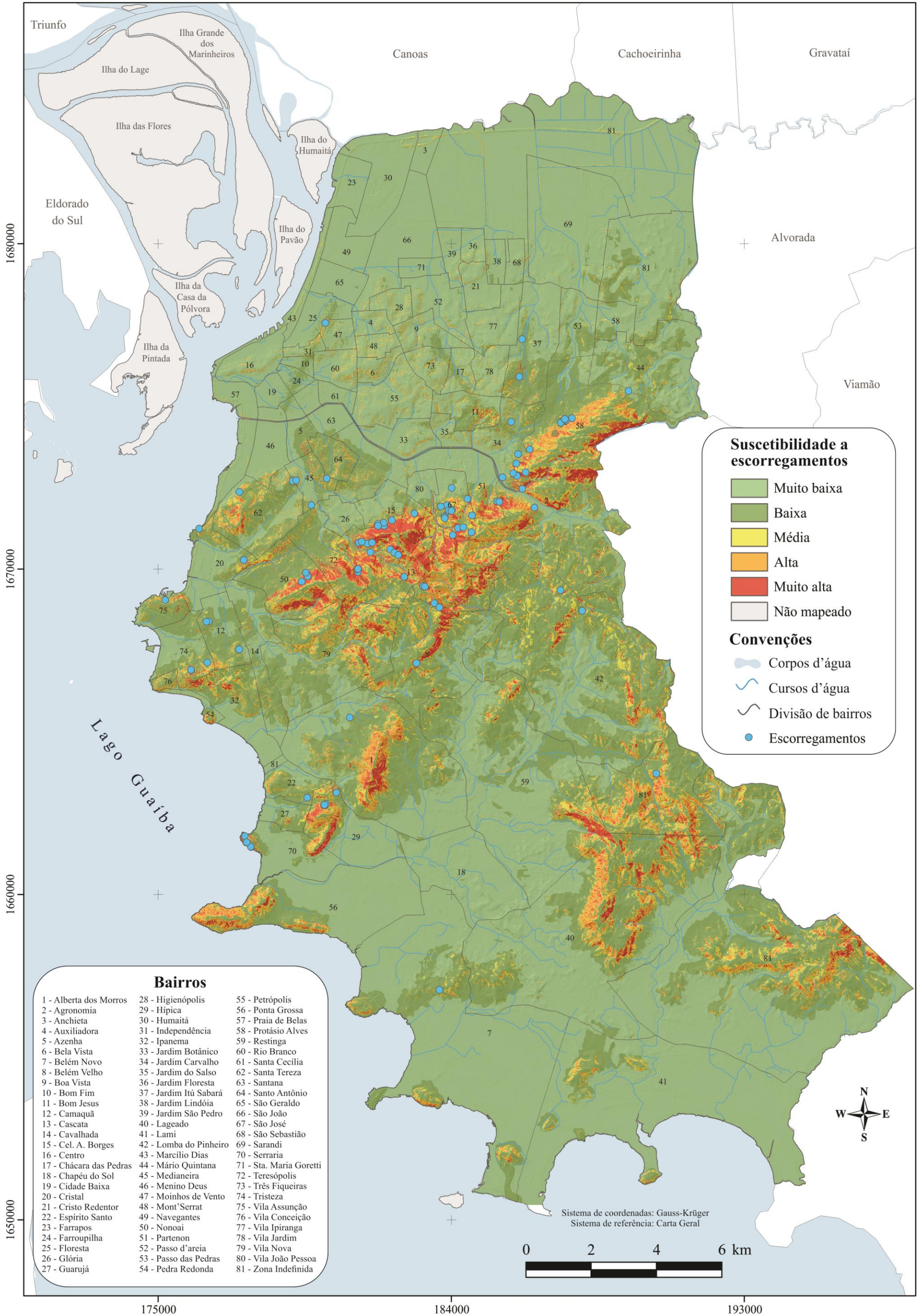


Figura 49: Mapa de suscetibilidade induzida à ocorrência de escorregamentos no município de Porto Alegre – Cenário 2.

A área (em km² e em porcentagem) de cada classe de suscetibilidade está ilustrada na Figura 50, onde se observa a grande semelhança nos valores obtidos para os dois cenários, principalmente para as classes de suscetibilidade muito baixa e baixa. Algumas diferenças entre os mesmos, entretanto, podem ser destacadas. No Cenário 1, por exemplo, 5,1% (24,58 km²) da área foi inserida na classe de suscetibilidade muito alta, enquanto que, no Cenário 2, essa classe ocupa apenas 2,9% (14,04 km²). No Cenário 2, por outro lado, a classe de suscetibilidade alta foi estimada em maior proporção do que o Cenário 1, com 4,6% (22,23 km²). Essas diferenças ocorreram em decorrência do acréscimo da variável uso do solo e cobertura vegetal no Cenário 2, que provocou uma redução dos valores de suscetibilidade, conforme mostrado anteriormente no histograma da Figura 47. Isso reflete as baixas notas dadas às classes de vegetação arbórea, arbustiva e herbácea e às áreas de ocupação regular (vide Tabela 6), as quais ocupam a maior parte do município.

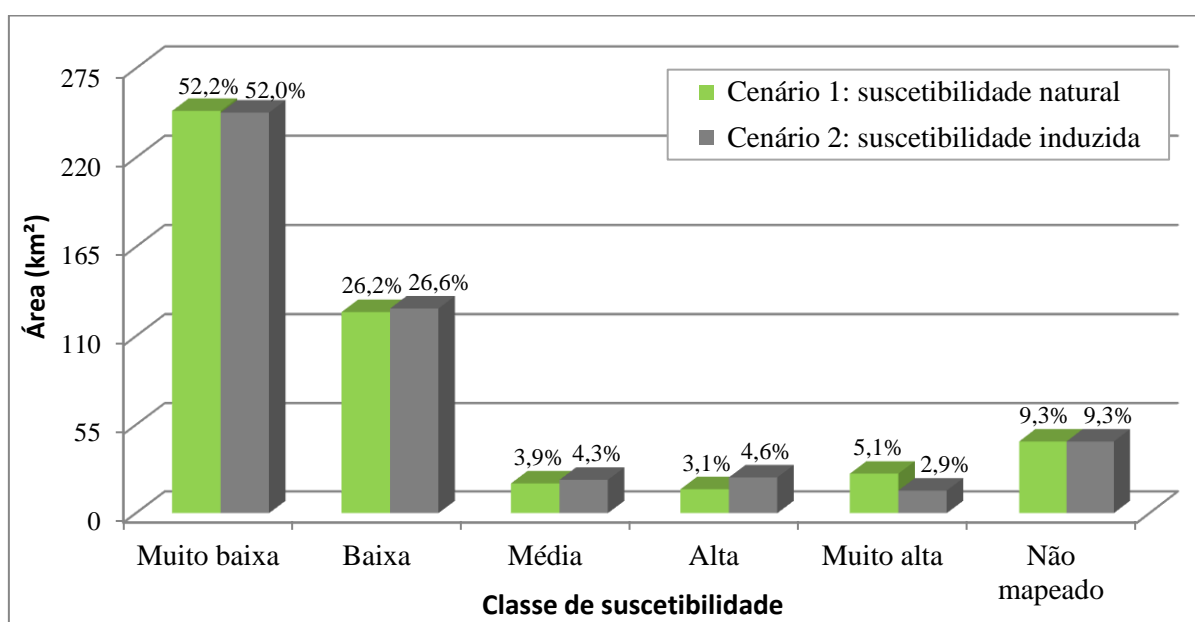


Figura 50: Área de estudo por classe de suscetibilidade, em km² e em porcentagem, de acordo com os Cenários 1 e 2.

Em ambos os cenários, aproximadamente 52% da área de Porto Alegre, o que equivale a 247 km², possui **suscetibilidade muito baixa** à ocorrência de escorregamentos. Essa classe localiza-se bem distribuída ao longo de todo o município, principalmente nas extremidades norte e sul. Essas áreas correspondem, em alguns locais, às planícies de inundação e reúnem condicionantes naturais pouco propícios à ocorrência de escorregamentos. A declividade é muito baixa, geralmente inferior a 5%, o que não permite o fluxo rápido de massas de solo ou rocha pelo efeito da gravidade. A geologia é composta predominantemente por depósitos sedimentares, compreendendo as unidades Terraços e Cordões Arenosos, Depósitos Eluviais

do Escudo e Depósitos Aluviais. Devido a essas características, não se espera que ocorram escorregamentos nas áreas de muita baixa suscetibilidade.

A classe de **suscetibilidade baixa** foi a segunda maior em termos de área nos dois cenários, ocupando aproximadamente 26% de todo o município, o que equivale a 125 km². Essa classe apresenta uma distribuição regular na porção central e sudeste de Porto Alegre, concentrando-se junto aos sopés e topos dos morros e colinas. No restante do município, aparece com menor frequência, em pequenos fragmentos situados na zona norte. Localiza-se predominantemente em locais com relevo suave a ondulado, com declividades que variam entre 6 e 15%. É representada, basicamente, pelas unidades geológicas Granito Viamão e Granito Ponta Grossa. Esses locais dificilmente serão afetados por escorregamentos, entretanto, a ocorrência desses processos não pode ser desconsiderada, pois mesmo em locais onde os fatores de ordem natural não são favoráveis aos escorregamentos, a intervenção do homem pode desencadear tais processos.

As regiões com **suscetibilidade média** aparecem em menor proporção, ocupando apenas 4% ou 19 km² da área de Porto Alegre, em ambos os cenários. Apresentam-se de forma pontual por todo o município, estando concentradas nas encostas dos morros da Crista de Porto Alegre e nos morros localizados da zona sudeste. Correspondem a terrenos com relevo predominantemente ondulado, com declividades variando de 21 a 25%. No que se refere à geologia, essa classe é constituída basicamente pelos granitos Viamão, Santana e Ponta Grossa. A probabilidade de ocorrência de escorregamentos nesta classe é reduzida, entretanto os riscos porventura existentes relacionam-se com situações pontuais induzidas por intervenções antrópicas, como a execução de cortes e aterros, sem considerar as normas técnicas de engenharia. Nos locais de suscetibilidade média é essencial distinguir as áreas aptas à ocupação sem nenhum tipo de restrição, daquelas que requerem a adoção de medidas de redução de risco para a sua ocupação.

A classe de **suscetibilidade alta** abrange uma área de 3,1% no Cenário 1 e de 4,6% no Cenário 2, o que corresponde a 14,8 km² e 22,2 km², respectivamente. Essa classe é observada, principalmente, no terço superior dos morros da Crista de Porto Alegre e na porção sudeste do município, onde se encontra entremeadada com as classes de suscetibilidade muito alta e média. As declividades mais expressivas, em termos de área, compreendem o intervalo de 25 a 35%, em um relevo classificado como fortemente ondulado. Essa classe é composta majoritariamente pelas litologias Granito Santana e Granito Viamão. A ocupação desses locais é desaconselhável, devido à alta predisposição à ocorrência de escorregamentos

e ao elevado custo associado à implementação de obras para redução do risco. Nos locais com suscetibilidade alta já ocupados pelo homem, recomenda-se proceder a avaliação de risco, a qual irá subsidiar a definição de ações estruturais e não estruturais mais adequadas para mitigar os danos associados a ocorrência de eventuais escorregamentos.

Os locais com suscetibilidade **muito alta** totalizam 24,58 km² (5,1% do total) no Cenário 1 e 14,04 km² (2,9% do total) no Cenário 2. Essa classe ocorre em áreas adjacentes à classe alta e é encontrada, predominantemente, nos morros da Crista de Porto Alegre, no Morro São Pedro, no Morro da Extrema, no Morro da Ponta Grossa e no Morro Serraria, onde as vertentes apresentam, com frequência, declives superiores a 35%, e as encostas se encontram dissecadas pela rede hidrográfica. A geologia dessa classe é composta, basicamente, pela litologia Granito Santana, com uma elevada densidade de lineamentos estruturais. Devido a essas condições, a ocorrência de escorregamentos em áreas com suscetibilidade muito alta é muito provável, sendo comum encontrar situações nas quais esses processos são considerados iminentes, podendo os mesmos, serem desencadeados e/ou acelerados pela ocorrência de chuvas intensas e/ou de grande volume. Deste modo, esses locais deveriam sofrer fortes restrições na forma de uso e ocupação. Nas áreas ocupadas inseridas nesta classe, também seria necessário desenvolver estudos detalhados, no sentido de cadastrar as áreas mais críticas nas quais é indispensável realocar a população residente ou implementar medidas de proteção, de modo a mitigar potenciais perdas e danos.

A Tabela 14 mostra os bairros de Porto Alegre e a área, expressa em porcentagem, de cada classe de suscetibilidade. Apresenta, também, as áreas não ocupadas em cada bairro, que podem se constituir, futuramente, em vetores de crescimento urbano. Nota-se que, no Cenário 2, 6 bairros têm mais de 10% da área com a classe de suscetibilidade muito alta, enquanto que no Cenário 1 esse número é superior, totalizando 10 bairros, os quais são: Cascata, Coronel Aparício Borges, Nonoai, Teresópolis, Agronomia, São José, Protásio Alves, Hípica, Vila Conceição e Vila Nova. Devido à suscetibilidade acentuada, esses bairros deveriam ser considerados como prioritários para a execução de mapeamentos detalhados de perigo e risco. Além disso, aqueles que possuem grande proporção de áreas não ocupadas, como o bairro Cascata, por exemplo, deveriam ser alvo de políticas de ordenamento territorial e de fiscalização da ocupação, com o intuito de evitar a expansão urbana em locais impróprios.

No Cenário 1 e no Cenário 2, um total de 55 e 56 bairros, respectivamente, são constituídos, predominantemente, por áreas com suscetibilidade muito baixa, a qual ocupa mais de 50% da área total de cada bairro. Essas regiões apresentam, sob o ponto de vista de ocorrência de

escorregamentos, características adequadas à ocupação. Dessa forma, o direcionamento das ocupações futuras deveria ser realizado, preferencialmente nos locais classificados com suscetibilidade muito baixa e baixa. Contudo, deve-se atentar para a possibilidade de ocorrência de outros tipos de desastres naturais, tais como inundações, o que não foi objeto deste estudo.

Tabela 14: Área, fração não ocupada e distribuição das classes de suscetibilidade a escorregamentos nos bairros do município de Porto Alegre – Cenário 1 e 2.

Bairro	Área (km ²)	Fração não ocupada (%)	Fração ocupada por classe de suscetibilidade a escorregamentos (%)									
			Cenário 1				Cenário 2					
			Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Cascata	7,4	69,7	0,3	32,2	12,6	12,7	42,4	0,5	30,8	0,1	21,8	31,6
Cel. A. Borges	2,9	18,9	38,3	20,8	7,8	7,7	25,5	31,9	22,7	-	9,2	24,8
Nonoai	4,5	43,3	3,8	53,2	10,2	8,9	24,0	3,0	54,3	-	12,6	18,3
Teresópolis	3,5	46,1	5,1	55,5	10,7	8,6	20,1	5,3	56,0	-	11,8	14,9
Agronomia	13,9	78,3	11,1	48,0	11,5	10	19,5	11,2	48,6	0,3	14,8	12,6
São José	2,1	4,6	28,9	34,6	10,4	7,9	18,2	30,9	24,4	-	10,1	17,3
Protásio Alves	9,5	64,0	20	50,3	6,7	6,9	16	20	50,9	0,1	13,9	7,6
Hípica	4,5	75,8	58,6	18,2	5,9	5,2	12,1	57,9	18,5	-	8,8	7,7
Vila Conceição	0,4	14,0	4,1	64,5	10,7	10,0	10,7	5,4	64,6	-	16,6	1,3
Vila Nova	10,2	59,2	20,2	49,9	11,4	8,4	10	79,2	13,0	-	1,8	2,1
Ponta Grossa	10,7	81,4	66,8	18,1	2,8	2,9	9,5	67,1	18,1	-	8,7	2,9
Aberta dos	16,4	63,5	39,6	43,3	4,3	3,5	9,4	39,2	44,2	0,1	7,8	4,3
Lageado	28,6	80,5	48	33,8	5,4	4,1	8,8	48,2	34,6	0,4	8,0	3,8
Belém Velho	8,3	80,9	18,6	58	9,4	5,6	8,4	19,2	59,0	0,1	6,4	5,9
Santa Tereza	4,8	22,7	27,5	51,3	6,7	6,5	8	22,2	56,1	-	11,1	2,7
Pedra Redonda	0,5	34,4	55,9	25,6	5,5	5,3	7,7	56,2	26,3	-	8,9	2,1
Vila Assunção	1,3	12,9	14	69,7	4,9	3,8	7,6	15,3	68,9	-	7,8	2,6
Santo Antônio	1,4	6,9	0,2	83,4	5	4,1	7,3	2,8	81,4	-	9,7	0,8
Ipanema	3,9	40,6	43,6	38,5	7,5	4,2	6,2	43,9	40,0	-	5,4	3,6
Partenon	5,7	15,3	60,8	26,6	3,6	3,3	5,7	60,2	27,3	-	4,5	4
Tristeza	2,8	15,2	32,8	52,8	5,7	3,6	5	36,1	50,9	-	4,6	2,9
Jardim Carvalho	3,1	32,8	40	41,8	6,6	6,9	4,6	43,5	38,8	-	7,2	3,1
Serraria	3,4	68,5	74,1	18,2	1,8	2,0	3,9	73,2	18,7	-	2,4	3,4
Medianeira	1,6	4,0	38,1	48	5,2	4,8	3,9	39,5	47,4	-	5,7	1,7
Zona Indefinida	77,9	73,1	63,3	25,9	4,2	2,9	3,7	63	26,8	2,6	4,5	1,4
Espírito Santo	1,6	34,9	32,2	55	5,6	3,7	3,6	33,1	55,0	-	5,6	0,6
Lomba d. Pinheiro	24,3	72,3	25,7	60,8	6,9	3,3	3,4	25,4	60,1	0,5	3,8	2,0
Independência	0,5	2,0	45,9	43,8	3,3	3,7	3,3	57,9	32,7	-	5,9	0,2
Restinga	21	68,1	60,3	31,3	3,1	2,0	3,2	59,7	32,0	0,2	2,6	2,2
Cristal	3,1	28,7	64,9	26,8	3,2	2,3	2,9	62,5	28,1	-	3,5	1,2
Moinhos de	0,9	14,0	76,7	15,9	2,2	2,9	2,4	77,3	15,7	-	4,7	0,1
Guarujá	1,2	49,3	42,8	51,3	2,2	1,4	2,3	43,7	49,7	-	2,3	1,1
Bom Jesus	1,9	1,0	59,2	27,2	5,8	5,9	1,9	42,4	42,4	-	5,7	2,3
Vila João Pessoa	0,9	2,0	83,3	10,8	2,1	2,1	1,9	20,7	51,2	0,1	10,1	6,0
Azenha	1,3	3,2	48,7	47,6	0,9	1,1	1,8	53,3	43,2	-	1,1	1,2

Continua...

Bairro	Área (km ²)	Fração não ocupada (%)	Fração ocupada por classe de suscetibilidade a escorregamentos (%)									
			Cenário 1				Cenário 2					
			Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Jardim Itú-Sabará	4,7	26,9	52,2	41,6	2,6	1,9	1,7	54,7	39,6	-	2,4	0,7
Camaquã	2,5	20,2	26,7	65	4,5	2,2	1,6	29,1	63,6	-	2,4	0,7
Cavallhada	3,6	18,3	37,2	56,7	2,9	1,9	1,3	40,2	53,8	-	2,4	0,3
Chácara d. Pedras	1,1	6,0	53,3	37,4	4	4,1	1,2	63,4	28,3	-	4,3	-
Menino Deus	2,2	6,0	92,4	4,3	0,8	1,5	1,1	92,5	4,3	-	1,7	0,1
Belém Novo	27,5	83,7	83,8	13,9	0,9	0,6	0,8	82,8	15,1	0,1	1,1	0,2
Glória	1,1	8,3	75,6	20	1,8	2,2	0,5	80,7	15,2	-	2,4	-
Lami	23,6	89,8	88,9	9,2	0,8	0,7	0,4	88,9	9,2	0,1	0,8	0,1
Três Figueiras	1,3	22,4	66,2	23,2	3,9	6,4	0,3	68	21,8	-	5,9	0,1
Mário Quintana	6,7	62,8	62,9	33,1	2,4	1,4	0,3	57,5	38,5	-	1,2	0,1
Floresta	1,8	-	79,5	19,6	0,3	0,3	0,3	87,5	11,8	-	0,5	-
Bom Fim	0,4	1,1	52,7	45,7	0,6	0,8	0,3	67,9	30,7	-	0,9	-
Praia de Belas	2,6	57,8	93,1	4,9	1	0,9	0,1	93,4	4,6	-	0,5	-
Passo das Pedras	2,3	40,0	72,5	24,6	1,8	1,0	0,1	65,7	31,3	-	1,0	-
Rio Branco	1,5	4,3	82,2	7,8	3,1	6,8	0,1	83,3	7,3	-	6,2	-
Sarandi	9,7	26,6	97,5	1,5	0,5	0,5	0,1	96,9	2,1	-	0,3	-
Boa Vista	1,6	28,6	76,6	15,7	2,7	4,9	-	77,4	15,3	-	4,3	-
Vila Jardim	1,5	5,7	80,7	11,2	4,1	3,9	-	81,3	11,3	-	3,2	-
Santana	1,5	3,0	93,0	6,2	0,2	0,6	-	94,2	5,0	-	0,3	-
Bela Vista	0,9	8,5	78,3	7,6	4,3	9,8	-	78,1	8,4	-	8,9	-
Mont'Serrat	0,8	0,4	79,2	8,2	4,8	7,8	-	79,4	8,7	-	6,8	-
Higienópolis	1,1	3,7	85,2	5,4	3,3	6,2	-	84,6	6,4	-	5,5	-
Petrópolis	3,5	12,6	85,9	5,9	2,9	5,3	-	85,4	6,8	-	4,6	-
Jardim do Salso	0,9	44,0	84,6	7	3,9	4,6	-	81,5	10,6	-	3,7	-
Jardim Botânico	2,1	29,4	89,8	4,3	1,9	4,1	-	88,0	6,3	-	2,9	-
Auxiliadora	0,9	3,4	89,0	4,5	2,4	4,0	-	88,9	5,0	-	3,6	-
Marcílio Dias	1,3	13,4	94,4	1,4	1,3	2,9	-	94,2	1,7	-	0,6	-
Centro	2,2	5,9	93,5	2,4	1,2	2,9	-	93,5	2,6	-	2,6	-
Anchieta	0,8	27,3	94,0	2	1,5	2,5	-	93,9	2,2	-	1,5	-
Santa Cecilia	0,7	11,8	96,2	0,8	0,7	2,3	-	96,2	0,9	-	1,4	-
Passo d'Areia	2,5	16,2	94,5	2,2	1,3	2,0	-	93,5	3,5	-	1,6	-
Cristo Redentor	1,4	6,8	94,3	2,6	1,2	1,9	-	94,1	3,0	-	1,7	-
Jardim Floresta	0,8	20,3	93,3	3,8	1,4	1,5	-	93,4	3,9	-	1,2	-
Jardim São Pedro	1	42,3	95,4	2,2	1,1	1,3	-	95,4	2,3	-	1,1	-
Jardim Lindóia	0,8	20,1	96,8	1,3	0,6	1,3	-	91,0	7,3	-	1,2	-
Vila Ipiranga	2,3	25,5	94,2	3,4	1,2	1,2	-	92,0	5,7	-	1,1	-
São João	4,9	37,3	98,9	0,4	0,2	0,5	-	98,6	0,7	-	0,4	-
Humaitá	4,2	41,1	98,6	0,7	0,4	0,3	-	98,5	0,7	-	0,1	-
São Sebastião	0,7	12,8	98,6	0,9	0,3	0,2	-	95,0	4,6	-	0,1	-
Farrapos	1,6	18,7	99,4	0,4	0,1	0,1	-	99,3	0,5	-	0,1	-
Chapéu do Sol	6,6	89,2	99,0	0,8	0,1	0,1	-	98,0	1,8	-	-	-
Sta. Maria Goretti	0,8	7,1	99,9	0,1	0,1	-	-	99,9	0,1	-	-	-
Farroupilha	0,6	59,7	51,7	48,3	-	-	-	59,9	40,1	-	-	-
Navegantes	1,9	2,5	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
Cidade Baixa	0,8	1,0	90,3	9,7	-	-	-	94,7	5,3	-	-	-
São Geraldo	1,5	0,6	100	-	-	-	-	99,6	0,4	-	-	-

Os mapas de suscetibilidade a escorregamentos obtidos nos dois cenários são muito similares ao mapa elaborado por Reckziegel (2012) (Figura 20). As maiores diferenças estão nos bairros Moinhos de Vento, Floresta e Jardim Itú Sabará, que não apresentaram suscetibilidade neste último, mas possuem registros de escorregamentos e são, portanto, suscetíveis a esses processos. Além disso, as áreas com suscetibilidade nesse mapa ocupam uma porção muito grande do município, com 21% da área total. Essas diferenças podem ser explicadas pelo fato do mapa de Reckziegel (2012) ter sido elaborado a partir de uma abordagem *booleana*, gerando um mapa com apenas duas classes: suscetível e não suscetível, enquanto que no presente estudo as notas de suscetibilidade são contínuas.

Esse caráter binário da análise *booleana*, na qual uma área é suscetível ou não a escorregamentos, não admite a possibilidade de uma suscetibilidade intermediária, onde os critérios compensem uns aos outros, o que a caracteriza como uma análise muito rígida. Nesse sentido, ficam evidentes as vantagens da combinação linear ponderada (WLC) em relação à abordagem *booleana*, haja vista a possibilidade de hierarquizar os graus de suscetibilidade e comparar quão mais suscetível um local é em relação a outro, o que favorece a determinação de prioridades para o planejamento territorial. Além disso, a WLC possibilita atribuir valores relativos à importância de cada um dos fatores na suscetibilidade a escorregamentos, permitindo a geração de mapas de suscetibilidade mais flexíveis e detalhados (BISPO et al., 2011).

Ao comparar o mapa de risco a movimentos de massa elaborado pela CPRM (Figura 21), com os mapas de suscetibilidade obtidos nos dois cenários, verifica-se que os setores de risco coincidem, em grande parte, com as áreas de suscetibilidade alta e muito alta a escorregamentos, conforme apresentado na Figura 51. A vantagem com relação a este é que, no presente estudo, a avaliação da suscetibilidade foi realizada de forma homogênea para todo o município de Porto Alegre, considerando os mesmos critérios. Além disso, as regras de decisão adotadas são explícitas, o que traz mais clareza e transparência ao mapeamento. Contudo, a CPRM considera a trajetória de deslocamento dos possíveis escorregamentos e sua área de atingimento, o que não é levado em consideração nos mapas elaborados neste trabalho, constituindo-se em uma limitação.

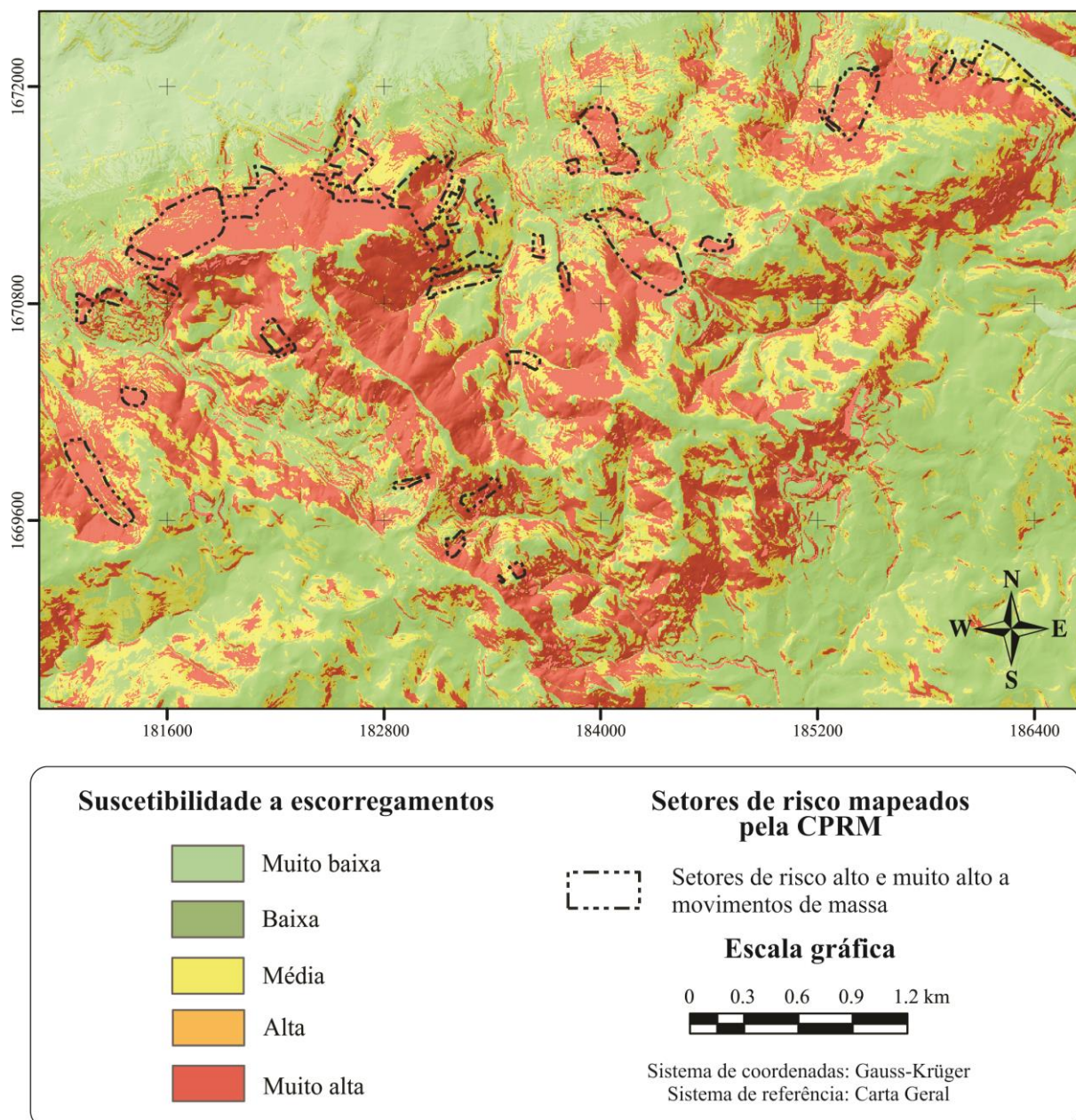


Figura 51: Comparação entre os setores de risco alto e muito alto à ocorrência de movimentos de massa mapeados pela CPRM com as classes de suscetibilidade a escorregamentos do Cenário 1 - Zoom na Crista de Porto Alegre.

5.3.1. Comparação entre os mapas de suscetibilidade

A matriz de similaridade dos mapas de suscetibilidade, obtida a partir da tabulação cruzada entre os mesmos, está ilustrada na Tabela 15. Os valores dessa matriz estão expressos como proporção da área total de estudo, onde as colunas mostram os dados referentes ao Cenário 1 e as linhas os valores do Cenário 2. O total da coluna mostra a proporção da área ocupada pela respectiva classe de suscetibilidade no Cenário 1 e o total da linha mostra a proporção da

classe no Cenário 2. A diagonal principal indica a similaridade entre os mapas, enquanto os demais valores da matriz indicam a proporção discordante em cada classe.

Tabela 15: Correspondência, em proporção, entre as áreas das classes de suscetibilidade a escorregamentos obtidas pelos dois cenários.

	Classes de suscetibilidade	Cenário 1					Total
		Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	
Cenário 2	Muito baixa	0,567	0,007	-	-	-	0,574
	Baixa	0,010	0,277	0,008	-	-	0,294
	Média	-	0,005	0,034	0,008	-	0,048
	Alta	-	-	0,001	0,026	0,025	0,052
	Muito alta	-	-	-	0,001	0,032	0,033
	Total	0,576	0,289	0,043	0,034	0,057	1,000

A soma da diagonal principal da matriz é de 0,935, o que indica 93,5% de similaridade entre os mapas de suscetibilidade a escorregamentos. Assim, apesar dos mesmos serem conceitual e matematicamente distintos, na prática, os resultados gerados por eles são análogos. Nota-se que, quando ocorreu divergência entre as classes de suscetibilidade, a área foi atribuída às classes adjacentes. Por exemplo, 2,5% da área classificada como sendo de muito alta suscetibilidade pelo Cenário 1 foi incorporada na classe alta no Cenário 2. Já os locais com suscetibilidade a escorregamentos muito baixa, praticamente não variaram, sendo que somente 1% da área classificada como muito baixa no Cenário 1 foi incorporada na classe de suscetibilidade baixa no Cenário 2.

As divergências entre os mapas são pontuais e encontram-se dispersas pelo município, conforme mostra a Figura 52. No Cenário 2, um total de 1,65% (7,12 km²) da área do município de Porto Alegre foi classificada com suscetibilidade superior e 4,8% (20,72 km²) com suscetibilidade inferior à do Cenário 1. Essas diferenças são consequência de pequenas variações nos pesos dos fatores condicionantes, principalmente pela consideração do fator uso do solo e cobertura vegetal no Cenário 2. Por exemplo, as áreas com suscetibilidade superior no Cenário 2 em relação ao Cenário 1, correspondem, em sua grande maioria, a áreas de ocupação irregular. As áreas com suscetibilidade inferior são, por outro lado, locais ainda não ocupados pelo homem, com vegetação arbórea, arbustiva e herbácea ou locais de ocupação regular.

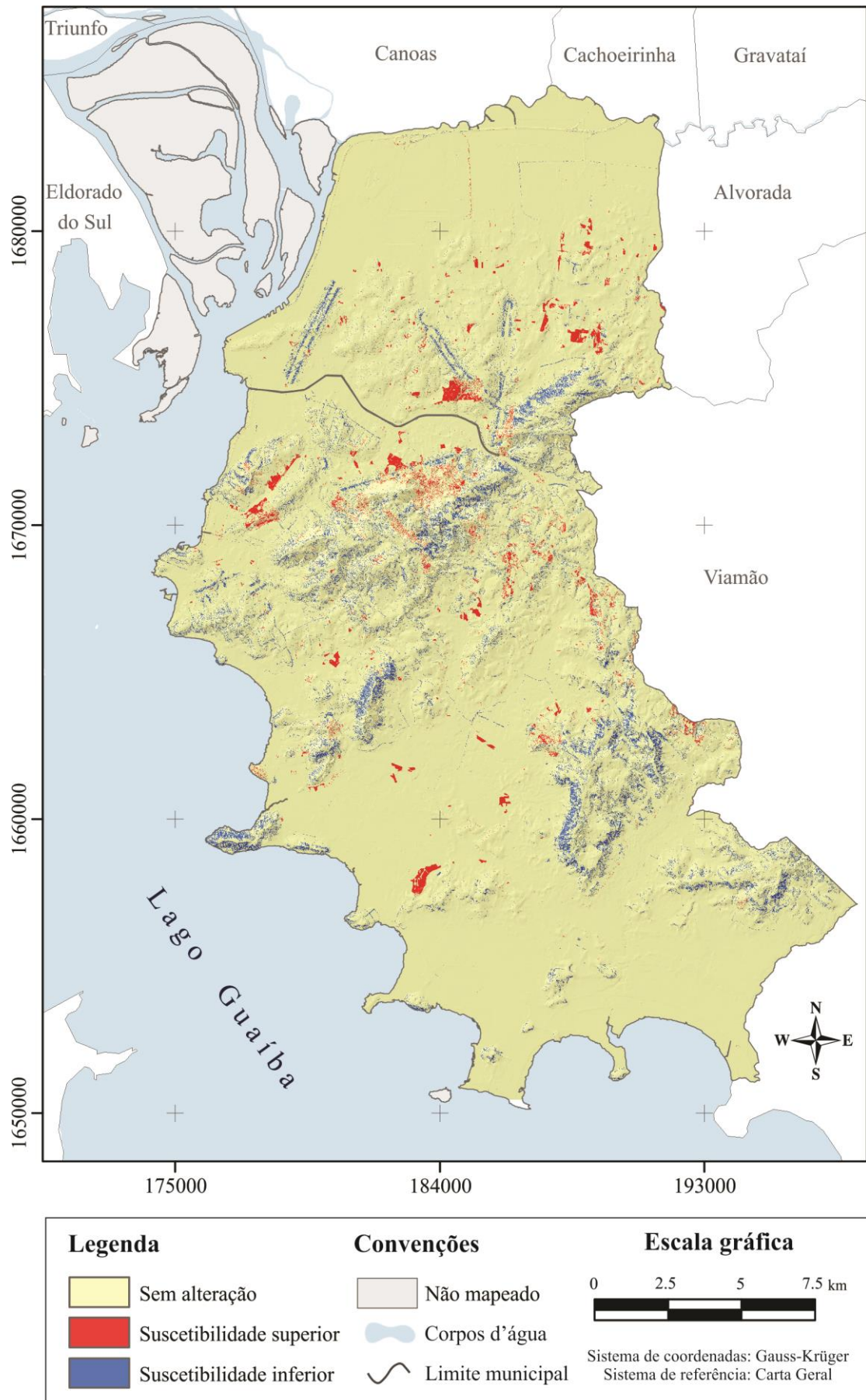


Figura 52: Correspondência espacial entre o Cenário 2 com relação ao Cenário 1.

5.4. VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE SUSCETIBILIDADE

5.4.1. Concordância entre os mapas de suscetibilidade classificados e os escorregamentos

Os resultados obtidos para a validação dos mapas de suscetibilidade, por meio de seu cruzamento com os 107 escorregamentos mapeados, são apresentados na Figura 53, em valores totais e em percentuais de escorregamentos em cada classe de suscetibilidade.

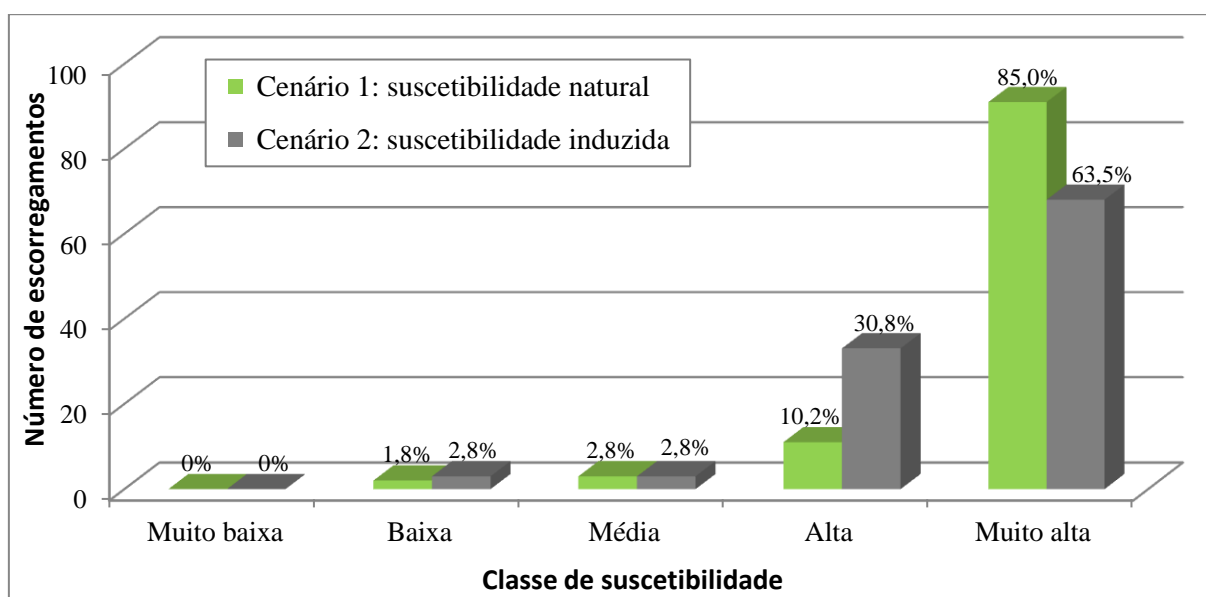


Figura 53: Distribuição dos escorregamentos nas diferentes classes de suscetibilidade dos Cenários 1 e 2.

No Cenário 1, os escorregamentos foram inseridos, principalmente, nas classes de suscetibilidade muito alta, com 91 registros, ou seja, 85% do total. A classe alta abrangeu, por sua vez, 10,2% dos registros. Já nas classes média e baixa o número de escorregamentos foi reduzido, com apenas 3 e 2 casos, respectivamente, o que equivale a 2,8% e 1,8% do total. Por fim, a classe de suscetibilidade muito baixa não apresentou nenhuma ocorrência, como desejável. Os resultados obtidos para esse cenário permitem inferir que aproximadamente 95% dos futuros escorregamentos em Porto Alegre provavelmente ocorrerão nas áreas com suscetibilidade alta e muito alta, as quais ocupam apenas 8,2% (39,46 km²) da área do município.

No Cenário 2, 63,5% das 107 ocorrências de escorregamento encontram-se na classe de suscetibilidade muito alta e 30,8% na classe alta. As classes média e baixa apresentaram somente 3 ocorrências, o que equivale a 2,8% de todos os registros, enquanto que a classe muito baixa não apresentou nenhum registro. A partir disso, pode-se estimar que, para o Cenário 2, cerca de 94% dos futuros escorregamentos em Porto Alegre tendem a ocorrer nos

locais com suscetibilidade alta e muito alta, que cobrem uma área de 36,28 km², ou seja, 7,2% do total da área de estudo.

A Figura 54 apresenta exemplos de áreas com escorregamentos que foram classificadas com suscetibilidade muito alta no Cenário 1 e com suscetibilidade alta no Cenário 2, reduzindo, portanto, sua acurácia. Essas áreas são constituídas por ocupações regulares, as quais receberam uma nota baixa na padronização do fator uso do solo e cobertura vegetal (Tabela 6). Dessa forma, apesar de possuírem declividades acentuadas e estarem próximas de lineamentos estruturais, a inclusão dessa variável no Cenário 2 amenizou a suscetibilidade da área. Nesse sentido, Zhao et al. (2010) propõem a utilização de um índice de impacto humano para avaliar a suscetibilidade em substituição ao fator uso do solo. Esse índice incorpora elementos como o tipo construtivo, o grau de adensamento e de consolidação urbana, e permite, portanto, avaliar de maneira mais adequada a influência da ação antrópica na predisposição do terreno a escorregamentos. Nesse mesmo sentido, Zêzere (2005) ressalta que a consideração da atividade humana deve ser incorporada preferencialmente em escalas de detalhe (>1:5.000), em análises de perigo e risco, visto que a avaliação da mesma em escalas pequenas e médias é complexa.

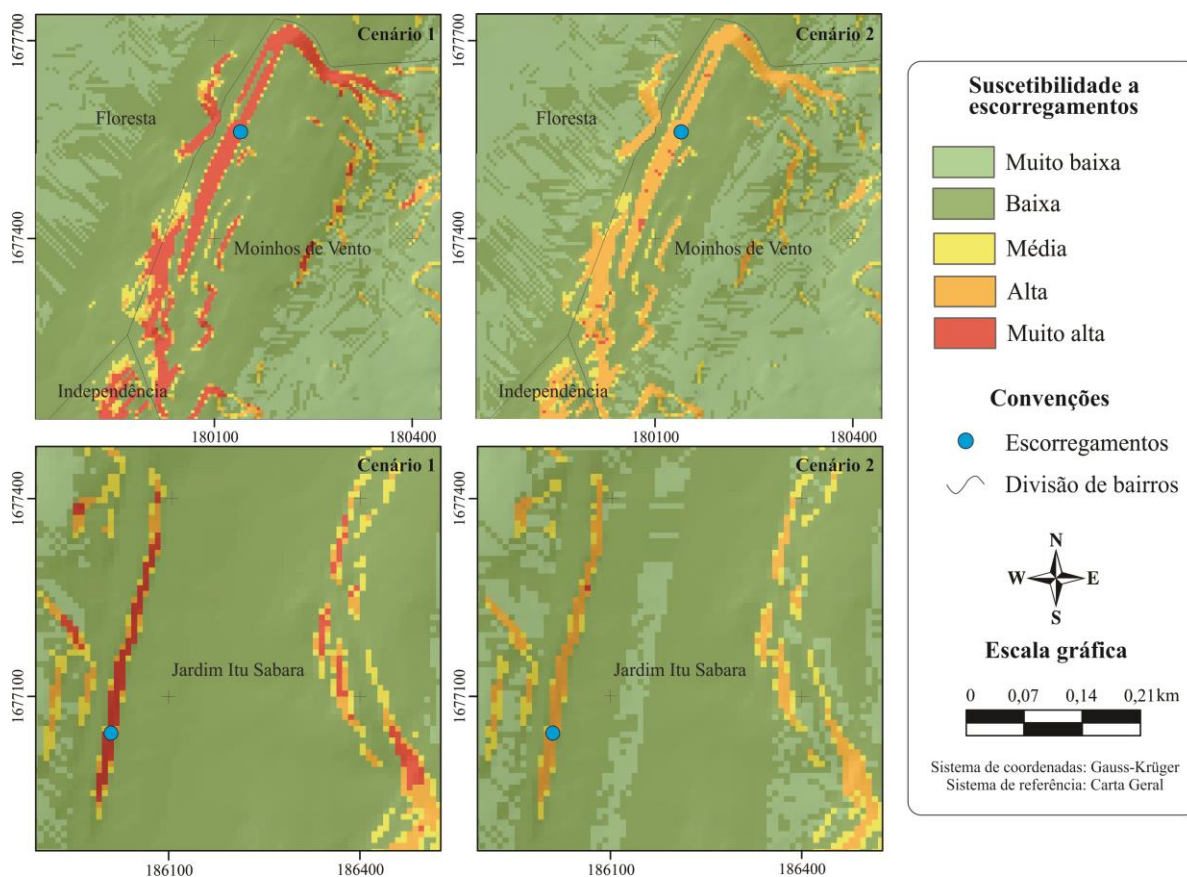


Figura 54: Detalhe de duas áreas inseridas na classe de suscetibilidade muito alta no Cenário 1 e na classe alta no Cenário 2.

A Tabela 16 apresenta a descrição dos escorregamentos que ocorreram em locais com suscetibilidade muito baixa, baixa e média nos dois cenários. Esses processos ocorreram em taludes artificiais, não sendo desencadeados apenas por fatores naturais, o que, de acordo com Van Westen et al. (1999), dificulta a sua previsão sem o levantamento em campo. Verifica-se que todos ocorreram sob a influência de fatores antrópicos não contemplados pelos cenários desenvolvidos, como por exemplo, a construção de muros de contenção sem respeitar as normas técnicas de engenharia, a falta de drenagem e o lançamento de águas servidas diretamente nas encostas.

Tabela 16: Escorregamentos localizados em áreas com suscetibilidade muito baixa, baixa e média nos Cenários 1 e 2.

Suscetibilidade		Descrição dos escorregamentos segundo os relatórios do PAR
Cen. 1	Cen. 2	
baixa	baixa	Ocorreu o desmoronamento de um muro de contenção, o qual foi executado sem considerar normas de engenharia e sem drenagem. As casas localizadas na parte superior do muro contribuíram para o escorregamento, pois além de seu peso, as mesmas não possuíam calhas. Ocorreu também o vazamento de uma caixa de esgoto localizada junto ao muro. Dessa forma, devido às chuvas ocorridas nos dias 12 e 13 de abril de 2008, com um acumulado de 108 mm em 48h, ocorreu o desabamento do muro.
baixa	baixa	Em 2006 foi executada uma grande escavação que resultou em três taludes de corte com altura de 4m e inclinação de 90°. Na época constatou-se que o risco não era iminente, devido ao tipo de solo, mas que com a incidência de chuvas constantes, poderiam ocorrer escorregamentos. Em 2008 ocorreu um escorregamento, visto que os moradores não colocaram calhas e que as contenções solicitadas não foram executadas.
média	média	Ocorreu em 2008 o desmoronamento de um muro de contenção sobre uma moradia. O muro foi executado sem considerar normas técnicas de engenharia e sem drenagem. O talude tem uma altura entre 0,9 e 1,8m e inclinação de 90°.
média	média	Ocorreu em 2009 um escorregamento em um talude com altura de 5m e inclinação de 90°. Esse escorregamento ocorreu devido ao corte no terreno, ao tipo de solo, somadas as chuvas ocorridas nos dias 7, 8 e 9 de agosto, com um total de 183 mm em 72h.
média	alta	Devido à declividade acentuada, os moradores executaram cortes e aterros, formando patamares para construir suas moradias. O talude de corte que desmoronou tem uma altura de 1,30m. Existia uma contenção em parte deste talude, porém sem seguir as normas técnicas e sem drenagem. A maioria das casas não possui calhas e as águas pluviais caem diretamente sobre o solo. Com as chuvas intensas ocorridas em novembro de 2013, com um acumulado de 137 mm em 48h ocorreu o desabamento do muro.
alta	média	No local foi implantada uma praça e no final do lote existia um talude de corte inclinado e uma cerca de tela. Os moradores aterraram este talude, sem a execução de contenção. Este aterro foi sendo escorado na cerca de tela e no muro de pedras, o que resultou em um talude de corte e aterro com altura de 2,50m, extensão de 12m e inclinação de 90°. Devido ao aterro ser simplesmente lançado, ao escoramento impróprio (apenas uma tela), a instabilidade do solo e a incidência das chuvas intensas dos dias 5 e 6 de setembro de 2008, com um acumulado de 92 mm em 48h, ocorreu o desmoronamento parcial deste talude.
muito alta	média	Não possui descrição.

Fonte: Elaborado a partir dos relatórios de vistoria do PAR (2013).

De maneira geral, os dois mapas de suscetibilidade elaborados são satisfatórios. Assim como esperado, a maior parte dos escorregamentos pretéritos foi inserida nas classes de suscetibilidade muito alta e ocorreu a ausência de escorregamentos na classe de suscetibilidade muito baixa. Além disso, a área classificada nos intervalos de alta e muito alta suscetibilidade é relativamente pequena. Em termos comparativos, pode-se afirmar que o Cenário 1 apresentou melhores resultados do que a validação feita para o Cenário 2, pois concentra os escorregamentos na classe de suscetibilidade muito alta.

5.4.2. Curvas ROC

As curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*) obtidas para os dois cenários estão ilustradas na Figura 55. Guzzetti (2006) ressalta que quanto mais inclinada for a curva, melhor pode ser considerada a performance do modelo para descrever a suscetibilidade. As curvas obtidas são orientadas quase verticalmente nos dois cenários, o que denota um bom desempenho. Por exemplo, com apenas 5% da área total classificada como mais suscetível aos escorregamentos se atinge aproximadamente 76% dos 107 escorregamentos registrados. Essa concordância aumenta para 96% do total de casos com 10% de área total classificada como mais suscetível e para 98% aos 14% da área, e assim por diante.

Figura 55: Taxa de sucesso dos cenários de suscetibilidade a escorregamento.

A partir da curva ROC, calculou-se a área abaixo da curva (AUC) de cada cenário. De modo geral, valores de AUC entre 0,75 e 0,80 correspondem a modelos aceitáveis, enquanto valores entre 0,80 e 0,90 indicam modelos muito bons. Por fim, valores de AUC acima de 0,90 indicam que o modelo é excelente (GUZZETTI, 2006). Os resultados obtidos para a AUC

foram de 0,960 para o Cenário 1 e de 0,966 para o Cenário 2, o que indica que ambos os cenários são robustos, pois possibilitam prever a maior parte dos escorregamentos com uma área pequena.

Comparado aos resultados encontrados em outros estudos (Tabela 17), os valores de AUC obtidos para os cenários de suscetibilidade de Porto Alegre podem ser considerados elevados. Por exemplo, Akgün (2012) utilizou o método da Combinação Linear Ponderada (WLC) para mapear a suscetibilidade a escorregamentos na Turquia e obteve valores de AUC de 0,710. Já Gemitzi et al. (2011), na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos na Grécia utilizando-se lógica *fuzzy* e a combinação linear ponderada, obtiveram valores de AUC elevados, na ordem de 0,960, similar aos encontrados no presente estudo. Poudyal (2012), ao utilizar árvores de decisão para mapear a suscetibilidade no Nepal, encontrou um valor de 0,959.

Tabela 17: Área abaixo da curva, métodos e técnicas utilizadas para o mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos e número de escorregamentos utilizados para a validação.

Referência	Métodos e técnicas utilizadas	AUC	Escorreg. para a validação
Epifânio et al. (2013)	Estatística bivariada	0,614	130
Intarawichian e Dasananda (2010)	AHP e WLC	0,649	25
Suh et al. (2011)	AHP, lógica <i>fuzzy</i> e WLC	0,688	148
Akgün (2012)	WLC	0,710	30
Suh et al. (2011)	Pesos de evidência	0,735	148
Akgün (2012)	Razão de verossimilhança	0,764	30
Young et al. (2010)	WLC	0,789	300
Park et al. (2012)	Regressão logística	0,794	708
Young et al. (2010)	Regressão logística	0,794	300
Hasekiogullari e Ercanoglu (2012)	AHP e WLC	0,797	101
Park et al. (2012)	Redes neurais artificiais	0,806	708
Young et al. (2010)	Redes neurais artificiais	0,806	300
Akgün (2012)	Regressão Logística	0,810	30
Althuwaynee et al. (2014)	AHP e estatística bivariada	0,823	86
Pourghasemi et al. (2012)	AHP e WLC	0,888	23
Osna et al. (2014)	Lógica <i>fuzzy</i>	0,902	140
Pourghasemi et al. (2012)	Lógica <i>fuzzy</i>	0,919	23
Conforti et al. (2014)	Redes neurais artificiais	0,930	211
Poudyal (2012)	Árvore de decisão	0,959	111
Van Den Eeckhaut et al. (2009)	Análise discriminante	0,970	34
Guillard e Zêzere (2012)	Valor informativo	0,971	166

Os maiores valores de AUC obtidos para o município de Porto Alegre, em relação a outros estudos, podem estar relacionados à consideração do conhecimento de especialistas com experiência local em processos de escorregamentos para definir as notas e os pesos dos fatores condicionantes, o que permitiu avaliar eficientemente os fatores mais importantes e

suas relações com a suscetibilidade em Porto Alegre. Outro fator que contribuiu para o sucesso dos cenários refere-se à utilização da lógica *fuzzy* para padronizar os fatores, o que evitou que a informação dos dados contínuos fosse agrupada em classes definidas arbitrariamente (SCHICKER e MOON, 2012). Por fim, as próprias características dos escorregamentos que ocorreram em Porto Alegre influenciaram nos resultados da avaliação, pois os mesmos se concentram na Crista de Porto Alegre e, portanto, com uma área pequena se atinge a maior parte dos escorregamentos.

De maneira geral, os dois mapas apresentaram AUC elevadas, sendo que o resultado obtido para o Cenário 2 foi ligeiramente superior ao Cenário 1. Deste modo, acredita-se que a consideração da variável uso do solo e cobertura vegetal, a qual é utilizada extensivamente em trabalhos de avaliação de suscetibilidade, é facultativa para o município de Porto Alegre, principalmente para as áreas não ocupadas, uma vez que a mesma não contribuiu significativamente para o incremento da capacidade preditiva do Cenário 2. A mesma não representa adequadamente a influência da ação antrópica na modificação das encostas em Porto Alegre, devido, principalmente, à escala utilizada no seu mapeamento, a qual é de 1:15.000. A consideração dessa variável, além de aumentar o tempo de processamento e o esforço na análise e interpretação de resultados, é também um fator dinâmico, que requer atualização periódica. Entretanto, a sua consideração pode ser relevante para os locais já ocupados, com o intuito de subsidiar o estabelecimento de ações para mitigar o risco à ocorrência de escorregamentos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais e as principais conclusões obtidas no trabalho, de acordo com os objetivos estabelecidos no capítulo 1. São também expostas algumas recomendações para trabalhos futuros.

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que é possível mapear de maneira eficiente a suscetibilidade a escorregamentos com o emprego de ferramentas de geoprocessamento, utilizando poucos recursos e variáveis. As vantagens da utilização deste método consistem na facilidade de armazenamento de dados, de atualização periódica e de reprodução dos resultados. Além disso, a qualquer momento da análise as variáveis podem ser modificadas e os pesos e as notas ajustados, permitindo a geração de cenários alternativos. Contudo, é necessário ressaltar que a avaliação das áreas suscetíveis a movimentos de massa não é uma ciência exata e que os resultados obtidos constituem-se em uma predição, a qual depende da qualidade dos dados utilizados. Ainda, a adequação deste método é diretamente relacionada à seleção dos critérios e das regras de decisão, sendo estas as etapas que devem exigir maior esforço e atenção.

A avaliação de acurácia evidenciou que o conjunto de variáveis e pesos utilizados para os dois cenários foi adequado, com 95% e 94% dos escorregamentos inseridos nas classes de suscetibilidade alta e muito alta nos Cenários 1 e 2, respectivamente. Além disso, a área dessas classes é pequena, com valores inferiores a 8,2% da área total de Porto Alegre, o que indica uma alta confiabilidade na predição da suscetibilidade a escorregamentos. As taxas de sucesso obtidas, as quais são representadas pela área abaixo da curva ROC, são equivalentes ou superiores às encontradas por outros autores. Acredita-se que a utilização de dados topográficos com um elevado grau de detalhamento (1:1.000) e a consideração do conhecimento de especialistas em movimentos de massa para definir as notas e os pesos tenham sido os principais fatores responsáveis por essa elevada exatidão.

As diferentes classes de suscetibilidade obtidas facilitam a hierarquização dos locais mais suscetíveis a escorregamentos e favorecem a determinação de prioridades para o planejamento e direcionamento das ocupações humanas. Nesse sentido, os cenários elaborados constituem-

se em um subsídio importante para a identificação de potenciais situações de conflito entre a dinâmica das encostas e a ocupação humana, de modo a evitar a consolidação da ocupação nas áreas inseridas na classe de suscetibilidade alta e muito alta. Os cenários permitem, ainda, indicar, preliminarmente, locais onde é necessário realizar mapeamentos detalhados de perigo e risco, possibilitando melhor planejamento dos recursos humanos, tecnológicos e financeiros.

Convém ressaltar que os mapas de suscetibilidade elaborados devem ser atualizados periodicamente, principalmente o Cenário 2, que considera a variável uso do solo e cobertura vegetal, tendo em vista que esse fator é dinâmico. Nesse sentido ressalta-se que as intervenções antrópicas podem tanto acelerar como amenizar o potencial de ocorrência de escorregamentos. Um local com alta suscetibilidade pode, por exemplo, passar a não apresentar mais qualquer ameaça após a execução de obras de estabilização. Do mesmo modo, uma encosta estável pode apresentar alta suscetibilidade quando indevidamente ocupada. Nesse contexto, os sistemas de informação geográfica são uma ferramenta importante, pois permitem atualizar os cenários rapidamente a partir do momento que novas informações se tornam disponíveis.

Não obstante os resultados favoráveis, existem aprimoramentos que podem ser aplicados ao método utilizado. Talvez a inclusão de variáveis adicionais, como o índice de umidade topográfico, a amplitude do relevo e o índice de poder de escoamento, possa elevar a acurácia dos mapas estimados. Entretanto, identificar variáveis complementares relevantes, evitando a inclusão de dados pouco significativos ou redundantes, consiste em uma tarefa complexa. Nesse sentido, sugere-se a realização da avaliação sensitiva do modelo de modo a verificar até que ponto essas variáveis melhoram seu desempenho e, se assim for, se o fazem de modo que se justifique o esforço de coleta e de execução de procedimentos adicionais.

Outra análise importante, que não foi realizada em virtude das lacunas nas informações referentes às datas de ocorrência dos movimentos de massa, é a identificação dos limiares de precipitação pluvial associados ao desencadeamento dos diferentes tipos de movimentos de massa no município de Porto Alegre. A partir da agregação dos limites críticos de precipitação com os mapas de suscetibilidade será possível elaborar mapas de perigo, os quais podem ser utilizados para fundamentar a emissão de alertas e a elaboração de planos de emergência e de evacuação.

Para uma maior confiabilidade da precisão da localização dos registros de escorregamentos, torna-se necessária a realização de levantamentos em campo a fim de georreferenciar os pontos com o uso de GPS, além de realizar uma descrição mais detalhada dos processos. Seria

interessante realizar também a validação em campo dos locais com maior suscetibilidade. Neste estudo não foram reunidas as condições materiais e humanas necessárias para efetuar levantamentos complementares detalhados, tendo em vista a extensão da área estudada, a dificuldade de acesso a alguns locais e o tempo necessário à realização destas atividades.

Ainda, como sugestão para complementar este estudo, propõe-se a utilização de novas ocorrências de escorregamentos para validar os cenários de suscetibilidade elaborados. Com isso, será possível determinar a capacidade de previsão dos modelos e verificar a robustez dos cenários gerados para prever escorregamentos futuros. Nesse sentido, se reforça a importância do ato de registrar e armazenar, de forma precisa, integrada e sistemática, os dados relativos aos movimentos de massa ocorridos, a fim de garantir uma fonte de informação confiável para a modelagem desses processos.

Além das potenciais aplicações em Porto Alegre, a metodologia proposta também pode ser adaptada para outros municípios, com o intuito de aumentar o conhecimento sobre a suscetibilidade a escorregamentos no país. Contudo, deve-se atentar para a etapa de definição dos fatores condicionantes e seus pesos, os quais não serão necessariamente os mesmos utilizados nesse estudo, e irão depender das características do local avaliado e suas peculiaridades. Essa análise permitirá comparar e avaliar a influência dos condicionantes dos escorregamentos em áreas com características distintas.

6.2. CONCLUSÕES

Atendendo aos objetivos propostos nesse estudo e com base nos resultados obtidos, foi possível derivar as seguintes conclusões:

- A ação antrópica, por meio da ocupação desordenada das encostas, tem sido o principal fator preparatório e, até mesmo, desencadeador dos movimentos de massa em Porto Alegre, promovendo o decréscimo da estabilidade;
- Os escorregamentos em Porto Alegre são mais frequentes em encostas com declividades superiores a 30%, na litologia granito Santana, até uma distância de 400 metros de lineamentos estruturais, com um acúmulo de fluxo inferior a 250 m² e em áreas ocupadas irregularmente;
- A consideração do conhecimento de especialistas com experiência local em escorregamentos para padronizar e ponderar os fatores condicionantes é

fundamental para gerar cenários de suscetibilidade coerentes com a realidade e para reduzir a subjetividade;

- O método da combinação linear ponderada é apropriado para a elaboração de mapas de suscetibilidade a escorregamentos para o município de Porto Alegre, pois é flexível, de uso relativamente simples e permite avaliar a suscetibilidade de maneira contínua, o que favorece a priorização de medidas preventivas;
- As áreas com maior suscetibilidade a escorregamentos em Porto Alegre se concentram nos morros da Crista de Porto Alegre e nos morros isolados no sul do município. O restante do município possui uma baixa predisposição a esses processos;
- A consideração da variável uso do solo e cobertura vegetal no Cenário 2 exerce pouca influência na exatidão geral dos resultados obtidos para o município de Porto Alegre. No entanto, sua inclusão é recomendada para mapear a suscetibilidade em áreas já ocupadas. Da mesma forma, convém excluí-la se o objetivo for definir diretrizes de ocupação em áreas não ocupadas.

REFERÊNCIAS

- ABELLA, E. A. C. **Multi-scale risk assessment in Cuba**. 154 f. Tese (Doutorado em Geociências) - International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Utrecht University, Enschede, 2008.
- ABELLA, E. A. C.; VAN WESTEN, C. J. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. **Landslides**, v. 4, n. 4, p.311-325, 2007.
- ABELLA, E. A. C.; VAN WESTEN, C. J. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: a case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. **Geomorphology**, v. 94, n. 3-4, p. 453-466, 2008.
- AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de revisão**: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP. 390 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- AKGÜN. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. **Landslides**, v. 9, n. 1, p. 93-106, 2012.
- AKGÜN, A.; BULUT, F. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. **Environmental Geology**, v. 51, n. 8, p. 1377-1387, 2007.
- AKGÜN, A.; DAG, S.; BULUT, F. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. **Environmental Geology**, v. 54, n. 6, p. 1127-1143, 2008.
- AKGÜN, A.; TÜRK, N. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. **Environmental Earth Sciences**, v. 61, n. 3, p. 595-611, 2010.
- ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 58, n. 1, p. 21-44, 1999.
- ALTHUWAYNEE, O. F.; PRADHAN, B.; PARK, H.; LEE, J. H. A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. **CATENA**, v. 114, n. 1, p. 21-36, 2014.
- AMARAL JUNIOR, A. F.; ZUQUETTE, L. V. Zoneamento geológico-geotécnico de porção da região da Costa Verde-RJ, escala 1:10.000. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 727-744, 2007.
- ANBALAGAN, R. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. **Engineering Geology**, v. 32, n. 4, p. 269-277, 1992.
- ARCGIS. **ArcGIS help 10.1**: How Flow Accumulation works. ESRI, 2012. Disponível em: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Flow_Accumulation_works/009z00000062000000/>. Acesso em: 01 jul. 2013.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **Apostila do curso de geologia aplicada a problemas ambientais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992a. cap. 4, p. 96-115.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre estabilidade de encostas, 1., Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: 1992b. v. 2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. D. S.; BRITO, S. N. A. D. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. 2ª ed. São Paulo: ABGE, 2004. p. 243-269.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. **Geomorphology**, v. 65, n. 1-2, p. 15-31, 2005.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; MARUI, H.; KANNO, T. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. **Engineering Geology**, v. 81, n. 4, p. 432-445, 2005.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; UGAWA, N. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. **Landslides**, v. 1, n. 1, p.73-81, 2004.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. The MACBETH approach: basic ideas, software, and an application. In: MESKENS, N.; ROUBENS, M. (Eds.) **Advances in decision analysis**. Mathematical modelling: theory and applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 131-157.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos: inundações e deslizamentos na região Serrana do Rio de Janeiro – Janeiro de 2011**. TORO, J. (Coord.). Brasília: Banco Mundial; Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2012. 59 p.

BARREDO, J. I.; BENAVIDES, A.; HERVÁS, J.; VAN WESTEN, C. J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 2, n. 1, p. 9-23, 2000.

BATEIRA, C. V. M. **Movimentos de vertente no NW de Portugal, susceptibilidade geomorfológica e sistemas de informação geográfica**. 490 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto, 2001.

BENDA, L. The influence of debris flows on channels and valley floors in the Oregon Coast Range, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 15, n. 5, p. 457-466, 1990.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 1ª ed. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3, 1436 p.

BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1996. 398 p.

BORITZ, J. E. **Pairwise Comparison** - The Analytic Hierarchy Process. Waterloo: University of Waterloo, 1992. Disponível em: <<http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2013.

BRESSANI, L. A.; COSTA, E. A. Mapeamento geotécnico – suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade técnica, risco instalado e risco. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 14. Rio de Janeiro, 2013 **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013. (CD-ROM).

BRITO, M. M. **Aplicação do geoprocessamento no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no bairro Cascata, Porto Alegre – RS**. 2011. 91 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2011.

BRITO, M. M.; WEBER, E. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa no bairro Cascata, Porto Alegre - RS, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento. In: Simpósio Sulbrasileiro de Geologia, 8., Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2013. CD-ROM.

BRITO, M. M.; WEBER, E.; FIN, J. Avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa com a utilização de geoprocessamento: aplicação no bairro Cascata, Porto Alegre, RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 46., Santos. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2012. CD-ROM.

BUMA, J.; ASCH, V. Slide (Rotacional). In: DIKAU, R.; BRUNSDEN, D.; SCHROTT L. (Ed.). **Landslide recognition: identification, movement and causes: identification, movement and courses**. New York: John Wiley, 1996. p. 29-42.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. 193 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1996. 147 p.

CAMPOS, H. C. N. S.; SEQUEIRA, E. M.; SCHRECK, R.; MICHAELSEN, B. L.; Zoneamento de áreas de risco no Morro da Polícia (“Glorinha”), Porto Alegre, RS. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2., São Carlos. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1996. p. 13-18.

CARDOZO, F. S.; HERRMANN, M. L. P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 4134-4141. CD-ROM.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluation landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 16, n. 5, p. 427-445, 1991.

CARVALHO, C. M.; RIEDEL, P. S. Análise da suscetibilidade a escorregamentos nos entornos dos polidutos de Cubatão-SP, através de técnicas de informação geográfica. **HOLOS Environment**, v. 4, n. 2, p. 157-173, 2004.

CASADEI, M.; DIETRICH, W. E.; MILLER, N. L. Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 28, n. 9, p. 925-950, 2003.

CERRI, L. E. S.; NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP). **Geociências**, v. 26, n. 2, p. 161-180, 2007.

CHAUHAN, S.; SHARMA, M.; ARORA, M. K.; GUPTA, N. K. Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, n. 5, p. 340-350, 2010.

CLARK LABS. **Idrisi Selva sistema de ajuda**. Worcester: [20--]. Disponível em: <www.clarklabs.org/support/IDRISI-Taiga-Help-System.cfm>. Acesso em: 05 jul. 2013.

CLERICI, A.; PEREGO, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. **Geomorphology**, v. 48, p. 349-364, 2002.

CLERICI, A.; PEREGO, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P. Landslide failure and runout susceptibility in the upper T. Ceno valley (Northern Apennines, Italy). **Natural Hazards**, v. 52, n. 1, p. 1-29, 2010.

COATES, D. R. **Landslides: Reviews in engineering geology**. 1 ed. Boulder: Geological Society of America, 1977. v. 3, 278 p.

CONFORTI, M.; PASCALE, S.; ROBUSTELLI, G.; SDAO, F. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). **CATENA**, v. 113, n. 1, p. 236-250, 2014.

COROMINAS, J.; REMONDO, J.; FARIAS, P.; ESTEVÃO, M.; ZÊZERE, J.; DIAZ DE TERÁN, J.; DIKAU, R.; SCHROTT, L.; MOYA, J.; GONZÁLEZ, A. Debris flow. In: DIKAU, R.; BRUNSDEN, D.; SCHROTT L. (Eds.). **Landslide recognition: identification, movement and causes: identification, movement and courses**. New York: John Wiley, 1996. p. 29-42.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa**: Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2013.

CRUDEN, D. M. A simple definition of a landslide. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v. 43, n. 1, p.27-29, 1991.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide Types and Processes. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Eds.), **Landslides: Investigation and Mitigation**. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., 1996. cap. 2, p. 36-75.

DAI, F. C.; LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, v. 42, n. 3-4, p. 213-228, 2002.

DAI, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation or urban land-use planning: a case study. **Engineering Geology**, v. 61, n. 4, p. 257-271, 2001.

- DANESHVAR, M. R. M.; BAGHERZADEH, A. Landslide hazard zonation assessment using GIS analysis at Golmakan Watershed, northeast of Iran. **Frontiers of Earth Science**, v. 5, n. 1, p. 20-81, 2011.
- DEMOULIN, A.; CHUNG, C. J. F. Mapping landslide susceptibility from small datasets: a case study in the Pays de Herve (E Belgium). **Geomorphology**, v. 89, n. 3-4, p. 391-401, 2007.
- DI GREGORIO, L. T.; SOARES, C. A. P.; FEITOSA, F. F.; NERY, T. BODART, M. Aplicabilidade dos mapeamentos de suscetibilidade, perigo (hazard) e risco na redução de desastres naturais. In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, 1., Rio Claro. **Anais...** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2012.
- DIAS, T. S.; FUJIMOTO, N. S. V. M.; SOARES, A. Q. S. Compartimentos de relevo do município de Porto Alegre – RS. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. de P. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 57-73, 2002.
- DIETRICH, W. E.; REISS, R., HSU, M. L.; MONTGOMERY, D. R. A process based model for colluvium soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. **Hydrological Process**, v. 9, n. 3-4, p. 383-400, 1995.
- DIKAU, R.; BRUNSDEN, D.; SCHROTT, L. **Landslide recognition: identification, movement and causes: identification, movement and courses.** New York: John Wiley, 1996.
- DOURADO, F.; ROIG, H. L. Mapas de susceptibilidade a escorregamentos rasos, usando os modelos SHALSTAB e SINMAP, da bacia do rio Paquequer - Teresópolis RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v. 2, n. 1, p. 1-, 2012.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI for Windows: introdução e exercícios tutoriais.** Tradução de Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS (Centro de Recursos Idrisi), 1998. 240 p.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Taiga: Guide to GIS and image processing.** Worcester: Clark Labs, 2009. 325 p.
- EPIFÂNIO, B.; ZÊZERE, J. L.; NEVES, M. Identification of hazardous zones combining cliff retreat rates with landslide susceptibility assessment. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n. 65, p. 1681-1986, 2013.
- ERCANOGLU, M.; GOKCEOGLU, C. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). **Engineering Geology**, v. 75, n. 1, p. 229-250, 2004.
- ERCANOGLU, M.; KASMER, O. TEMIZ, N. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 67, n. 4, p. 565-578, 2008.
- ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. **Geomorphology**, v. 66, n. 1-4, p. 327-343, 2005.
- FARAH, F. **Ocupação urbana e instabilidade de encostas.** Coleção Habitare - habitação em encostas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, v. 2, 2003. 312 p.

FEIJÓ, R. L., PAES, N. M., D'ORSI, R. N. Chuvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 3. Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2001. p. 223 – 230.

FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. **Natural Hazards**, v. 65, n. 3, p. 2105-2128, 2013.

FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. Landslide risk assessment based on GIS multi-criteria evaluation: a case study in Bostan-Abad County, Iran. **Journal of Earth Science and Engineering**, v. 1, n. 1, p. 66-77, 2011.

FEIZIZADEH, N.; BLASCHKE, T.; NAZMFAR, H.; MOGHADDAM, M. H. R. Landslide susceptibility mapping for the Urmia Lake basin, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. **International Journal of Environmental Research**, v. 7, n. 2, p. 319-336, 2013.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C. CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. Joint Technical Committee on landslides and engineered slopes, JTC-1. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3-4, p. 99-111, 2008.

FELL, R., HUNGR, O.; LEROUÉIL, S.; RIEMER, W. Keynote Lecture - Geotechnical engineering of the stability of natural slopes, and cuts and fills in soil. Invited Papers. **GeoEng 2000**, v.1, p. 21-120, 2000.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. E CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003. cap. 3, p. 123-194.

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 suscetíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **CATENA**, v. 55, n. 2, p. 163-181, 2004.

FERRARO, L. W.; HASENACK, H. Aspectos do clima de Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. (Orgs.). **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2000. p. 16-27.

FREIRE, E. S. M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. **Construção**, v. 8, n. 1, p. 10-18, 1965.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. São Paulo. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 12, 2002.

FUJIMOTO, N. S. V. M; DIAS, T. S. Compartimentos de relevo do município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul - Brasil. In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 12. 2009. **Anais...** Montevideo: Universidade de La Republica, 2009.

GASPARINI, C. B. **Desenhando uma tecnologia social como suporte à gestão de áreas de risco geológico**: o exemplo do laboratório de inteligência do ambiente urbano na escola

municipal Judith Macedo de Araújo, Morro da Cruz. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GEMITZI, A.; FALALAKIS, G.; ESKIOGLOU, P.; PETALAS, C. Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzzy membership functions and GIS. **Global NEST Journal**, v. 13, n. 1, p. 28-40, 2011.

GHOSH, S.; CARRANZA, E. J. M.; VAN WESTEN, C. J.; JETTEN, V. G.; BHATTACHARYA, D. N. Selecting and weighting spatial predictors for empirical modeling of landslide susceptibility in the Darjeeling Himalayas (India). **Geomorphology**, v. 131, n. 1-2, p. 35-56, 2011.

GLADE, T.; CROZIER, M. J. The nature of landslide hazard impact. In: GLADE, T.; ANDERSON, M.; CROZIER, M. J. (Eds.) **Landslide Hazard and Risk**. John Wiley and Sons, Chichester: 2005. cap 2., p. 43-74.

GORSEVSKI, P. V.; JANKOWSKI, P. GESSLER, P. E. An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. **Control and Cybernetics**, v. 35, n. 1, p. 121-146, 2006.

GREENWAY, D. R. Vegetation and slopes stability. In: ANDERSON, M. G; RICHARDS, K. S. (Eds.). **Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology**. Chichester: John Willey, 1989. cap. 6, p. 187-230.

GUBERT, M. L. **Caracterização geológica dos granitoides de Porto Alegre e suas implicações nos processos geradores de áreas de risco**. 2003. 91 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GUERRA, A. J. T.; GONÇALVES, L. F. H.; LOPES, P. B. M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.1, p.35-43, 2007.

GUGLIEMMETTI, F. R.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23., Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Associação Brasileira de Engenharia de Produção; Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1984. 194 p.

GUILLARD, C.; ZÊZERE, J. L. Landslide susceptibility assessment and validation in the framework of municipal planning in Portugal: The case of Loures Municipality. **Environmental Management**, v. 50, n. 4, p.721-735, 2012.

GUIMARÃES, L. S. **Estudo integrado de riscos ambientais e geológico-geotécnicos do sistema urbano do Morro da Cruz, Porto Alegre, RS**. 122 p. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N.; FERNANDES, N. F. Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 190-198, 2009.

GUIMARÃES R. F.; MONTGOMERY D. R.; GREENBERG H. M.; FERNANDES N. F.; GOMES R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1-2, p. 99-108, 2003.

GÜNTHER, A.; REICHENBACH, P.; MALET, J. P.; VAN DEN EECKHAUT, M.; HERVÁS, J.; DASHWOOD, C.; GUZZETTI, F. Tier-based approaches for landslide susceptibility assessment in Europe. **Landslides** (Online), v. 10, n. 15, p. 529-546, 2012.

GUZZETTI, F., **Landslide hazard and risk assessment**. 399 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra) - Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität, University of Bonn, Bonn, 2006.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, n. 1-4, p. 181-216, 1999.

HASEKIOĞULLARI, G. D.; ERCANOGLU, M. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). **Natural Hazards**, v. 63, n. 2, p. 1157-1179, 2012.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; BOLDRINI, I.; TREVISAN, R.; BRACK, P.; WEBER, E. Vegetação/ocupação. In: HASENACK, H; WEBER, E.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008b. cap. 4, p. 56-71.

HASENACK, H.; WEBER, E.; LUCATELLI, L. M. de L. (Orgs.). **Base altimétrica vetorial continua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Centro de Ecologia, 2010.

HASENACK, H; WEBER, E.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem/ocupação e paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook: A guide to understanding landslide**. Reston: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p.

HUFSCHMIDT, G.; CROZIER, M.; GLADE, T. Evolution of natural risk: research framework and perspectives. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 5, n. 3, p. 375-387, 2005.

HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M.; HUTCHINSON, J. N. Review of the classification of landslides of the flow type. **Environmental and Engineering Geoscience**, v. 7, n. 3, 2001, 221-238.

HUTCHINSON, J. N. Mass movement. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **Encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold: 1968. p. 688-695.

HUTCHINSON, J. N. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology. In: International Symposium on Landslides, 5., 1988, Rotterdam. **Proceedings...** Rotterdam: A.A. Balkema, 1988. v.1, p.3-35.

IAEG, International Association for Engineering Geology and the Environment. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. **Bulletin of International Association of Engineering Geology**, v. 24, n. 1, p. 253-274, 1981.

IAEG, International Association for Engineering Geology and the Environment. Suggested nomenclature for landslides. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v. 41, n. 1, p. 13-16, 1990.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital do Brasil: 2005** (escala 1:500.000). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2005/E1000/Proj_Geografica/ArcView_shp/Regiao/Sul/>. Acesso em: 28 jul. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. 261 p.

INFANTI JÚNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos da dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. DOS S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap 9, p. 131-152.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990: Versão revista e ampliada**. Brasília: INMET, 2009. 465 p.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Precipitação Pluviométrica Mensal no Jardim Botânico**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?p_secao=16>. Acesso em: 13 fev. 2014.

INTARAWICHIAN, N.; DASANANDA, S. Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem Watershed, northern Thailand. **Suranaree Journal of Science and Technology**, v. 17, n. 3, p. 277-292, 2010.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Ocupação de Encostas**. São Paulo: IPT, 1991. 216 p.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mortes por deslizamentos no Brasil**. Banco de Acidentes. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2014.

IVERSON, R. Landslide triggering by rain infiltration. **Water Resource**, v. 36, p. 1897-1904, 2000.

JENSON, S.; DOMINGUE, J. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 14, n. 2, p. 173-184, 2000.

KAMP, U.; GROWLEY, B. J.; KHATTAK, G. A.; OWEN, L. A.; GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. **Geomorphology**, v. 101, n. 4, p. 533-543, 2008.

KANUNGO D. P.; ARORA, M. K.; SARKAR, S.; GUPTA, R. P. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. **Engineering Geology**, v. 85, p. 347-366, 2006.

KHEZRI, S. Landslide susceptibility in the Zab Basin, northwest of Iran. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 19, n. 1, p. 726-731, 2011.

KOBIYAMA, M, MENDOÇA, M; MORENO, D. A; MARCELINO, I. P.V. O; MARCELINO, E. V; GONÇALVES, E. F; BRAZEETI, L. P; GOERL, R. F; MOLLERI, G. S. F; RUDORFF, F.M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

KOULI, M.; LOUPASAKIS, C.; SOUPIOIS, P.; VALLIANATOS, F. Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece. **Natural Hazards**, v. 52, n. 3, p. 599-621, 2010.

LACERDA, W. A.; SANDRONI, S. S. Movimentos de massa colúviais. In: Mesa redonda sobre os aspectos geotécnicos de encostas. Rio de Janeiro. **Atas...** Rio de Janeiro: Clube de Engenharia, 1985. p. 111-119.

LADAS, I.; FOUNTOULIS, I.; MARIOLAKOS, I. Using GIS and multicriteria decision analysis in landslide susceptibility mapping – A case study in Messinia prefecture area (SW Peloponnesus, Greece). **Bulletin of Geological Society of Greece**, v. 40, n. 4, p. 1973-1985, 2007.

LARA, A. A.; MARQUES, E. A. G.; ALMEIRA, A. C. R. Mapeamento de risco de acidentes associados a escorregamentos – Morro da Serrinha, Rio de Janeiro, Brasil. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2. Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1997. v. 2, p. 837-846.

LEE, S.; MIN, K. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. **Environmental Geology**, v. 40, n. 9, p. 1095-1113, 2001.

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. 2001. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, L. M. M. **Análise da ocupação na vertente nordeste do morro da Polícia** (Porto Alegre-RS). 2006. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LINDAU, H. G. L. **Análise geográfica da ocupação da vertente noroeste do Morro da Polícia/Porto Alegre/RS**. 1996. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

LINDAU, H. G. L. **Morfodinâmica do morro da Polícia em face da apropriação das encostas / POA – RS**. 2000. 140f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LINDAU, H. G. L; ROSA, A. Monitoramento e educação ambiental nas encostas do Morro da Polícia: uma proposta de ensino de geografia. In: Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul, 4., São Leopoldo. **Anais...** São José dos Campos: Sociedade de Especialistas Latino-americanos em Sensoriamento Remoto, 2004.

LIVI, F. P. Climatic elements: the contrast between cold and warm weather. In.: MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coords.). **Environmental atlas of Porto Alegre** – condensed version. Porto Alegre: UFRGS, 1998. cap. 7, p. 56-57.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Tradução de Henrich Hasenack e Eliseu Weber. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOOTSMA, F. A. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, v. 2, p. 87-110, 1993.

LOPES, J. **Avaliação geotécnica de área de moradias irregulares de Porto Alegre: estudo na Vila Pedreira**. 2011. 73 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MACEDO, E. S.; CANIL, K.; MIRANDOLA, F. A.; SILVA, F. C.; GRAMANI, M. F.; OGUERA, A. T.; CORSI, A. C.; SANTOS, L. P. Procedimentos metodológicos para o mapeamento de risco de escorregamento em assentamentos precários no município de São Paulo, SP. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 46., Santos. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2012. CD-ROM.

MACEDO, E. S.; SANTOS, L. P.; CANIL, K.; SILVA, F. C.; LANÇONE, R. B.; MIRANDOLA, F. A.; COSTA, R. N. Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2011.

MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; WESTEN, C. J. Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. **Geomorphology**, v. 15, n. 3-4, p. 213-225, 1996.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. 2003. 230 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

MARCELINO, E. V.; FORMAGGIO, A. R. Análise comparativa entre métodos heurísticos de mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Grupo de Estudos de Desastres Naturais; Universidade Federal de Santa Catarina, 2004, p. 392-407. CD-ROM.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 17, p. 72-84, 2006.

MARJANOVIĆ, M. Landslide susceptibility modeling: a case study on Fruska Gora Mountain, Serbia. **Geomorphologia Slovaca Et Bohemica**, v. 9, n. 1, p. 29-42, 2009.

MENDONÇA, F. B.; DINIZ, N. C.; BAPTISTA, G. M. M. Movimento gravitacional de massa associado a um trecho de implantação do trem de alta velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: identificação de depósito de talus por meio de imagens CBERS 2B e SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 7478-7485. CD-ROM.

MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H. **Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of**

criteria and indicators. Jakarta: Center for International Forestry Research, 1999. Disponível em: <www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html>. Acesso em: 11 jun. 2013

MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre.** 3ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2006. 256 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco.** Brasília: Ministério das Cidades, 2004. 122 p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Lista dos 821 municípios com o maior número de ocorrências de desastres naturais.** Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=51c80bb2-9bf9-4193-9eb2-1ba2cb2937e2&groupId=10157>. Acesso em: 06 dez. 2013.

MONDAL, S.; MAITI, R. Landslide susceptibility analysis of Shiv-Klola Watershed, Darjing: a remote sensing & GIS based analytical hierarchy process (AHP). **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 40, n. 3, p. 483-496, 2012.

MONGUILHOTT, M.; SALDANHA, D. L.; SEBEM, E.; SOUZA, S. F. Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na Rodovia RS-486 – Rota do Sol. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 51-69, 2010.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control of shallow land sliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153- 1171, 1994.

MONTGOMERY, D. R.; SULLIVAN, K.; GREENBERG, H. M. Regional test of a model for shallow landslides. **Hydrological Processes**, v. 12, p. 943-955, 1998.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrology Process**, v. 5, n. 1, p. 3-30, 1991.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Mapa geomorfológico de Porto Alegre – RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 36, n. 1, p. 71-73, 2010.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Elaboração do Mapa Geomorfológico do Município de Porto Alegre - RS. **Ciência e Natura**, v. 34, n. 2, p. 113-138, 2012.

MOURA, S.; RUEDA, J. R. J. Solos: a fina camada que sustenta a vida. In: MENEGAT, R.; PORTO, M. L. J.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coords.). **Atlas ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. cap. 4, p 43-46.

NITHYA, S. E.; PRASANNA, P. R. An integrated approach with GIS and remote sensing technique for landslide hazard zonation. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 1, n. 1, p. 66-75, 2010.

NUNES, A. J. C. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7., 1969, Mexico. **Proceedings...** London: International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1969. p. 547–554.

OGURA, A. T.; MACEDO, E. S. Procesos y riesgos geologicos. In: Curso internacional de aspectos geologicos de proteccion ambiental, 2., Montevideo. **Notas de clases...** Montevideo: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2002. p. 114-137.

OLIVEIRA, A. M. S.; AUGUSTO FILGO, O. Análise de movimentos de massa com base em observações do evento do ano 2000 de Campos do Jordão (Estado de São Paulo, Brasil). **Solos e Rochas**, v. 28, n. 1, p. 99-111, 2005.

OLIVEIRA, E. L. A.; ROBAINA, L. E. S.; RECKZIEGEL, B. W. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Grupo de Estudos de Desastres Naturais; Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. p. 248-261.

OLIVEIRA, J. M. M. T.; CHANAN, L. M. C.; FAERTES, R. Áreas de risco geológico: ocupação urbana inadequada. In: MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Orgs.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. 3ª ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. cap. 5, p. 47-50.

OSNA, T.; SEZER, E. A.; AKGÜN, A. GeoFIS: An integrated tool for the assessment of landslide susceptibility. **Computer & Geosciences**, v. 66, n. 1, p. 20-30, 2014.

OTHMAN, A. N.; NAIM, W. M.; NORAINI, S. GIS based multi-criteria decision making for landslide hazard zonation. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 35, n. 1, p. 595-602, 2012.

OURI, A. E.; AMIRIAN, S. Landslide hazard zonation using MR and AHP methods and GIS techniques in Langan watershed, Ardabil, Iran. In: Asian Conference on Remote Sensing, 30. Beijing. **Proceedings...** Beijing: Asian Association of Remote Sensing, 2009.

PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. The SINMAP approach to terrain stability mapping. In: International Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment, 8., Vancouver. **Proceedings...** Rotterdam: Balkema, 1998. p. 1157-1165.

PAR, Programa de Áreas de Risco. **Relatórios de vistoria de áreas de risco dos anos de 2007 a 2013**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Porto Alegre, 2013. Dados cedidos pela Engenheira Civil Vania Krigger do PAR/SMAM, Porto Alegre no ano de 2013.

PARISE, M. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. **Physics and Chemistry of the Earth**, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, v. 26, n. 9, p. 697-703, 2001.

PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. S.; PFLUEGER, M. C.; CAMPOS, L. C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.; SOBREIRA, F. G.; REIS, R. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Geografias**, v. 6, n. 2, p.-49-68, 2010.

PEREIRA, S. H. F., CALIJURI, M. L., PEREIRA, S. C. M., BEZERRA, N. R., MARTINS, C. A. Identificação de áreas susceptíveis a risco de deslizamento, por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), no município de Ipatinga – MG. In: Simpósio Nacional de Desastres Naturais e Tecnológicos, 2., Santos. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2007. CD-ROM.

PFALTZGRAFF, P. A. S. **Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana do Recife**. 120 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

PHILIPP, R. P. Geologia. In: HASENACK, H; WEBER, E.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem.** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. cap. 1, p. 12-27.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. S. de. Geologia, petrografia e litogeoquímica dos gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações geotectônicas. **Revista Pesquisa em Geociências**, v. 31, n. 2, p. 79-94, 2004.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. CHEMALE Jr., F. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. **Revista do Instituto de Geociências da USP**, v. 3, n. 1, p. 71-84, 2003.

PHILIPP, R. P.; REGO, I. T. S. F.; SIVIERO, R. Geologia das rochas granitóides da região de Porto Alegre, RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Camboriú, **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, 1994. p. 98-99.

PHILIPP, R. P.; VARGAS, J. A.; DI BENEDETTI, V. A memória geológica do centro antigo de Porto Alegre: o registro da evolução urbana nos prédios históricos e no urbanismo da cidade. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 1, p. 59-77, 2009.

PISANI, M. A. J. Características naturais e antrópicas agravantes nos processos de escorregamentos em encostas urbanas. **Revista Sinergia**, v. 4, n. 2, p. 99-103, 2003.

PMPA, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Avanços no plano de ação de áreas de risco.** Porto Alegre: PMPA, 2011. Disponível em: <www2.portoalegre.rs.gov.br/codec/default.php?p_secao=65>. Acesso em 14 jun. 2013.

PORTO, M. L. Vegetation formations: evolution and dynamics of conquest. In.: MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coord.). **Environmental atlas of Porto Alegre – condensed version.** Porto Alegre: UFRGS, 1998. cap. 5, p. 42-55.

PORTO ALEGRE. **Decreto nº 10.898, de 13 de janeiro de 1994.** Institui o Programa de Áreas de Risco – PAR. Porto Alegre, 1994.

PORTO ALEGRE. **Decreto nº 14.840, de 31 de março de 2005.** Altera os artigos 2º, 3º e 4, do Decreto nº 10.898, de 13 de janeiro de 1994. Porto Alegre, 2005.

PORTO ALEGRE. **Decreto nº 16.931, de 26 janeiro de 2011.** Institui o Programa de Fiscalização e Monitoramento Urbano Ambiental do Município de Porto Alegre - PFMUA. Porto Alegre, 2011.

PORTO ALEGRE. **Lei nº 11.397, de 27 de dezembro de 2012.** Cria o Centro Integrado de Comando da Cidade de Porto Alegre (CEIC) define-lhes finalidades e dá outras providências. Porto Alegre, 2012.

POUDYAL, C. P. Landslide susceptibility analysis using decision tree method, Phidim, Eastern Nepal. **Bulletin of the Department of Geology**, Tribhuvan University, v. 15, p. 69-76, 2012.

POURGHASEMI, H. R.; PRADHAN, B.; GOKCEOGLU, C. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. **Natural Hazards**, v. 63, n. 2, p. 965-996, 2012.

PRABU, S.; RAMAKRISHNAN, S. S.; MURTHY, H. A.; VIDHYA, R. Use of remote sensing technology for GIS based landslide hazard mapping. **Applications of Soft Computing**, v. 58, n 1, p. 103-113, 2009.

PRESS, F., SIEVER, R., GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a terra**. Tradução de Rualdo Menegat. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. cap. 12: Dispersão de massa. p. 290-310.

PRETZ, C. B.; PACHECO, V. W.; CRISTÓFOLI, L. H.; MANFREDINI, L. SANTOS JÚNIOR, D. N.; LAHM, R. A. Uso de imagens no estudo de fenômenos ambientais: escorregamento de encostas: estudo de caso em Porto Alegre. In: Salão de Iniciação Científica da PUCRS, 11., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010. p. 935-937.

QUAN, H. C.; LEE, B. G. GIS-Based landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and artificial neural network in Jeju (Korea). **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 7, p. 1258-1266, 2012.

RAMOS V. M.; GUIMARÃES R. F.; CARVALHO JÚNIOR O. A.; REDIVO A. L.; GOMES R. A. T.; CARDOSO F. B. F.; FERNANDES N. F. Algorithm development for Incorporating soil physical properties of each different soil class in a landslide prediction model (SHALSTAB). **Solos e Rochas**, v. 30, n. 3, p. 39-148, 2007.

RECKZIEGEL, B. W. **Áreas de risco geomorfológico: um estudo na Vila Laranjeiras, Porto Alegre – RS**. 2004. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, 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**. 2007. 259 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. Descrição das situações de riscos geológico-geomorfológicos na Vila Laranjeiras, Porto Alegre-RS In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11., Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2005, v. 1.

RECKZIEGEL, E. W. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

REIS, F. A. G. V. Escorregamentos e processos correlatos: quedas (falls). In: REIS, F. A. G. V. (Org.). **Curso de geologia ambiental via internet**. São Paulo: UNESP, 2001. Disponível em: <www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html>. Acesso em: 25 abr. 2013.

REIS, S.; YALCIN, A.; ATASOY, M.; NISANCI, R.; BAYRAK, T.; ERDURAN, M.; SANCAR, C.; EKERCIN, S. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 7, p. 2063-2073, 2012.

RISSO, A.; LEÃO, M. I.; BELTRAME, L. F. de.; GONÇALVES, L. S.; SILVA, F. C. da. Drenagem. In: HASENACK, H.; WEBER, E.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico**

Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. cap. 3, p. 44-55.

RIZZON, M. M. **Risco geotécnico de encostas ocupadas: avaliação e indicação de soluções para mitigar problemas na Vila Graciliano Ramos em Porto Alegre.** 86 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

ROBAINA, L. E. S.; BARCELLOS, A.; PEROTO, C. A. C.; MEDEIROS, E. R.; PIRES, C. A. F. Processos de risco no município de Porto Alegre: erosão pluvial como condicionante essencial. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 5., Bauru. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1995.

ROBAINA, L. E. S.; PEDROSA, A. S.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W. Análise geográfica de áreas de risco de movimento de massa na região metropolitana de Porto, Portugal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.2, p.15-23, 2011.

ROBAINA, L. E. S. PHILIPP, R. P.; BICA, JUNIOR, V.; PEROTO, C. A. Morfodinâmica das encostas do Morro Santana, Porto Alegre, RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Balneário Camburiú. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1994, p. 533-534.

ROBAINA, L. E. S.; SILVA, A. M. Áreas de risco: uma contribuição para o estudo no município de Porto Alegre. In: Fórum Nacional sobre Geologia de Meios Urbanos, 1., Porto Alegre. **Anais: conferências e estudos de caso.** Porto Alegre: Associação Sul-Brasileira de Geólogos, 1993. p. 114-117.

RODRIGUES, B. B. **Proposta sistemática e tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais:** aplicação em Ouro Preto (MG). 308 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, p. 17-29, 1992.

ROY, B. Classement et choice en presence de points de vue multiple (la methode Electre). **Revue Française d'Automatique Information et Recherche Operationelle**, v. 2, n. 8, p. 57-75, 1968.

ROZOS, D.; BATHRELLOS, G. D.; SKILLODIMOU, H. D.; Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. **Environmental Earth Sciences**, v. 63, n. 1, p. 49-63, 2011.

RUFF, M.; CZURDA, K. Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria). **Geomorphology**, v. 94, n. 3-4, p. 314-324, 2008.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process.** New York: McGraw-Hill, 1980. 287p.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n.1, 2008.

- SAFAEI, M.; OMAR, H.; HUAT, B. K.; YOUSOF, Z. B. M. Deterministic rainfall induced landslide approaches, advantage and limitation. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 16, n. 1, p. 1619-1650, 2012.
- SAMPAIO, T. Q.; PIMENTEL, J.; SILVA, C. R.; MOREIRA, H. F. A atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM na gestão de riscos e repostas a desastres naturais. In: Congresso CONSAD de Gestão Pública, 6., Brasília **Anais...** Brasília: CONSAD, 2013.
- SANTACANA, N. BAEZA, C. COROMINAS, J. PAZ, P.; MARTURIÁ, J. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain). **Natural Hazards**, v. 30, n. 3, p. 281-295, 2003.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p
- SASSA, K. Geotechnical Classification of Landslides. **Landslide News**, v.3, n. 1, p.21-24, 1989.
- SCHICKER, R.; MOON, V. Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale. **Geomorphology**, v. 161-162, p. 40-57, 2012.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; KÄMPF, N.; GIASSON, E. Solos. In: HASENACK, H; WEBER, E.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, cap. 2, p. 28-43, 2008.
- SCHNEIDER, A. W.; LOSS, E. L.; PINTO, J. F. **Mapa geológico da folha Porto Alegre-RS**. Pesquisas Séries Mapas (7). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, 1974.
- SCHRECK, R.; SACIOTO, P. H. B.; CAMPOS, H. C. N. S. Zoneamento de áreas de risco em morros: a experiência no município de Porto Alegre (RS). In: Seminário - Feira de Ensino, Pesquisa Extensão da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 3., São Leopoldo. **Resumos...** São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1996. p. 325.
- SELBY, M. J. **Hillslope materials and process**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1993. 451 p.
- SHARPE, C. F. S. **Landslides and related phenomena**. New York: Columbia University Press, 1938. 137 p.
- SIDLE, R. C.; PEARCE, A. J.; O'LOUGHLIN, C. L. **Hillslope stability and land use**. Washington: American Geophysical Union, 1985. 141p.
- SILVA, F. C.; MACEDO, E. S. Importância do estudo da percepção ambiental sobre riscos naturais: enfoque em deslizamentos. **OLAM: Ciência & Tecnologia**, v. 7, p. 569-584, 2007.
- SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Slope stability: recognition, analysis and zonation. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. **Landslides investigation and mitigation**. Washington: Transportation Research Board, National Research Council – Special Report, 247. cap. 8, 1996. p. 129-177.

SUAREZ, D. J. La vegetación em la estabilización de deslizamientos. In: Pan-American Symposium of Landslides, 2., Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; IAEG, 1997. p.739-746.

SUH, J.; CHOI, Y.; ROH, T. D.; LEE, H. J.; PARK, H. D. National-scale assessment of landslide susceptibility to rank the vulnerability to failure of rock-cut slopes along expressways in Korea. **Environmental Earth Sciences**, v. 63, n. 3, p. 619-632, 2011.

TALEGHANI, M. A.; RAHIMZADEH, Z. Simulation of landslide risk in Javanroud Basin using AHP method considering geomorphic properties. **Geography and Environmental Planning Journal**, v. 22, n. 4, p. 15-17, 2012.

TATIZANA, C.; OGURA, C. T.; CERRI, L. E. S.; ROCHA, M. C. M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, no município de Cubatão. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1987. v.2, p.225-236,.

TEIMOURI, M.; GRAEE, P. Evaluation of AHP and frequency ratio methods in landslide hazard zoning (case study: Bojnord urban watershed, Iran). **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, v. 3, n. 9, p. 1978-1984, 2012.

TERZAGHI, K. Soil mechanics in action. **Civil Engineering**. v. 29, n. 2, p. 69-70, 1959.

THANH, L. N.; SMEDT, F. Application of an analytical hierarchical process approach for landslide susceptibility mapping in A Luoi district, Thua Thien Hue Province, Vietnam. **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 7, p. 1739-1752, 2012.

USGS, United States Geological Survey. **Landslide Types and Processes**. Fact Sheet 2004-3072. Reston: United States Geological Survey, 2004. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2013.

USGS, United States Geological Survey. **Decision-support systems for natural-hazards and land management issues**. Fact Sheet 2012-3001. Reston: United States Geological Survey, 2012. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3001/fs2012-3001.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2013.

VAHIDNIA, M. H.; ALESHEIKH, A. A.; ALIMOHAMMADI, A.; HOSSEONALI, F. Landslides hazard zonation using quantitative methods in GIS. **International Journal of Civil Engineering**, v. 7, n. 3, p. 176-189, 2009.

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)**. 373 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Minerai) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

VAN DEN EECKHAUT, M.; MARRE, A.; POESEN, J. Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France). **Geomorphology**, v. 115, n. 1-2, p. 141-155, 2010.

VAN DEN EECKHAUT, M.; VANWALLECHEM, T.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VERSTRAETEN, G.; VANDEKERCKHOVE, L. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). **Geomorphology**, v. 76, n. 3-4, p. 392-410, 2006.

VAN DEN BECKHAUT, M; REICHENBACH, P.; GUZZETTI, F.; ROSSI, M.; POESEN, J. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 9, n. 2, p. 507-521, 2009.

VAN WESTEN, C. J. The modelling of landslide hazards using GIS. **Surveys in Geophysics**, v. 21, n. 2-3, p. 241-255, 2000.

VAN WESTEN, C. J. Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: EHRlich, L.; FONTOURA, S. A. B.; SAYÃO, A. S. F. (Eds.). **Landslides: Evaluation and stabilization**. London: Taylor & Francis Group, 2004.

VAN WESTEN, C. J.; ABELLA, E. C.; KURIAKOSE, S. L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3-4, p. 112-131, 2008.

VAN WESTEN, C. J.; RENGERS, N.; SOETERS, R. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. **Natural Hazards**, v. 30, n. 3, p. 399-419, 2003.

VAN WESTEN, C. J. SEIJMONSBERGEN, A. C.; MANTOVANI, F. Comparing landslide hazard maps. **Natural Hazards**, v. 20, n. 2-3, p. 137-158, 1999.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VANACÔR, R. N.; ROLIM, S. B. A. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 15-28, 2012.

VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: ECKEL, E. B. (Ed.). **Landslides and Engineering Practice**, Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Highway Research Board, Washington, D.C., p. 20-47, 1958.

VARNES, D. J. Slope movement and types and process. In: SCHUSTER, R. L. KRIZEK, R. J. (Orgs.) **Landslides: Analysis and control**. Washinton D.C.: National Academy Press, 1978. cap. 2, p. 11-33.

VARNES, D. J.; IAEG, International Association of Engineering Geology Commission on Landslides And Other Mass Movements On Slopes. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO, 1984.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas, v. 8, p. 1-45, 1995.

WEBER, E. J. **Estimativa e mapeamento da radiação solar incidente em superfícies com topografia heterogênea na zona de produção vitivinícola Serra Gaúcha**. 145 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WP/WLI, International Geotechnical societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. **Multilingual landslide glossary**. WP/WLI. Richmond: BiTech Publishers Ltd, 1993.

YALCIN, A. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. **CATENA**, v. 72, n. 1, p. 1-12, 2008.

YALCIN, A.; BULUT, F. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey). **Natural Hazards**, v. 41, n. 1, p. 201-226, 2007.

YESILNACAR, E.; TOPAL, T. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). **Engineering Geology**, v. 79, n. 3-4, p. 251-266, 2005.

YOUNG, O. C.; JIN, C. K.; CHOI, C. U. The comparative research of landslide susceptibility mapping using FR, AHP, LR, ANN. In: Esri Education User Conference, San Diego. **Proceedings...** Redlands: ESRI, 2010.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 57-76, 2009.

ZÊZERE, J. L. **A classificação dos movimentos de vertente: tipologia, actividade e morfologia.** Apontamentos de Geografia – Serie Investigação nº 6. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, 2000. 35 p.

ZÊZERE, J. L. **Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos.** Relatório nº 41. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, 2005.

ZÊZERE, J. L.; FERREIRA, A. B.; RODRIGUES, M. L. Landslides in the north of Lisbon region (Portugal): conditioning and triggering factors. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 24, n. 10, p. 925-934, 1999.

ZHAO, W.; TIAN, Y.; WU, L.; LIU, Y. Human impact index in landslide susceptibility mapping. In: International Conference on Geoinformatics, 18., Beijing. **Proceedings...** Beijing: Peking University, 2010.

ZHOU, Q.; FENG, W.; SONG, S.; YUAN, L.; ZHOU, W. Remote sense and GIS-Based division of landslide hazard degree in Wanzhou district of the Three Gorges reservoir area. **Wuhan University Journal of Natural Sciences**, v. 11, n. 4, p. 780-786, 2006.

**APÊNDICE A - CONDICIONANTES UTILIZADOS NO MAPEAMENTO
DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA**

Apêndice a: Fatores condicionantes utilizados no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa (x = fator considerado)

Autor(es)	Ano	Declividade	Altitude	Curvatura horizontal	Curvatura vertical	Orientação	Geologia	Grau de intemperismo	Distância de lineamentos	Uso do solo e cobertura vegetal	Densidade de corpos d'água	Distância de corpos d'água	Área de contribuição	Distância de estradas	Índice de poder de escoamento	Índice de umidade	Cicatrizes de escorregamento	Geomorfologia	Solo	Índice NDVI
Abella	2008	x					x			x										
Abella e Van Westen	2007	x					x			x										
Abella e Van Westen	2008	x			x		x		x			x					x	x		
Akgün	2012	x				x	x		x			x		x						
Akgün e Bulut	2007	x				x	x	x				x		x						
Akgün e Türk	2010	x				x	x	x	x	x		x			x	x				
Akgün et al.	2008	x				x	x			x		x		x						
Ayalew et al.	2004	x	x	x	x	x	x													
Ayalew et al.	2005	x	x				x													
Bakhtiar et al.	2011	x				x	x		x	x		x		x						
Barredo et al.	2000	x					x			x		x					x			
Cardozo e Herrmann	2011	x			x		x											x	x	
Carvalho e Riedel	2004	x					x			x								x		
Daneshvar e Bagherzadeh	2011	x	x			x	x		x	x		x								x
Ercanoglu e Gokceoglu	2004	x	x		x	x	x		x	x		x		x			x			
Ercanoglu et al.	2008	x	x	x	x	x										x				x
Ermini et al.	2004	x			x		x			x			x							
Feizizadeh et al.	2013	x	x			x	x		x	x		x		x						

Autor(es)	Ano	Declividade	Altitude	Curvatura horizontal	Curvatura vertical	Orientação	Geologia	Grau de intemperismo	Distância de lineamentos	Uso do solo e cobertura vegetal	Densidade de corpos d'água	Distância de corpos d'água	Área de contribuição	Distância de estradas	Índice de poder de escoamento	Índice de umidade	Cicatrizes de escorregamento	Geomorfologia	Solo	Índice NDVI
Feizizadeh e Blaschke	2011	x				x	x		x	x	x			x						
Feizizadeh e Blaschke	2013	x	x			x	x		x	x	x			x						
Feizizadeh et al.	2011	x				x	x		x	x		x		x						
Gemitzi et al.	2011	x	x			x	x		x	x										
Ghosh et al.	2011	x			x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	
Gorsevski et al.	2006	x	x	x	x											x				
Günther et al.	2012	x					x			x										
Hasekiogulları et al.	2012	x	x	x		x			x	x		x		x	x	x				x
Intarawichian e Dasananda	2010	x	x			x	x		x	x		x							x	x
Kamp et al.	2008	x	x			x	x		x	x		x		x						
Khezri	2011	x				x	x		x	x		x		x						
Kouli et al.	2010	x				x	x		x	x		x		x						
Ladas et al.	2007	x		x	x	x	x		x	x		x		x					x	
Marjanović	2009	x	x			x	x			x		x								
Mondal e Maiti	2012	x			x	x	x			x		x	x	x						
Monguilhott et al.	2010	x					x			x								x	x	x
Moraes et al.	2012	x					x			x								x	x	
Nithya e Prasanna	2010	x					x		x	x	x		x						x	
Othman et al.	2012	x	x			x	x			x		x		x				x	x	
Ouri e Amirian	2009	x	x			x	x			x		x		x						
Pereira et al.	2007	x								x									x	

Autor(es)	Ano	Declividade	Altitude	Curvatura horizontal	Curvatura vertical	Orientação	Geologia	Grau de intemperismo	Distância de lineamentos	Uso do solo e cobertura vegetal	Densidade de corpos d'água	Distância de corpos d'água	Área de contribuição	Distância de estradas	Índice de poder de escoamento	Índice de umidade	Cicatrizes de escorregamento	Geomorfologia	Solo	Índice NDVI
Pourghasemi et al.	2012	x	x	x		x	x		x	x		x		x	x	x				
Prabu et al.	2009	x					x			x										
Quan e Lee	2012	x				x	x			x									x	
Reis et al.	2012	x				x	x			x	x	x		x						
Rozos et al.	2011	x	x			x	x		x	x		x		x						
Ruff e Czurda	2008	x				x	x		x	x			x							
Suh et al.	2011	x					x		x											
Taleghani e Rahimzadeh	2012	x			x		x			x		x		x			x	x		
Teimouri e Graee	2012	x	x			x	x		x	x		x		x						
Thanh e Smedt	2012	x	x				x	x	x	x		x						x		
Vahidnia et al.	2009	x			x	x	x		x	x		x								
Van Den Eeckhaut et al.	2010	x	x	x	x	x	x													
Yalcin	2008	x				x	x	x		x	x	x		x			x			
Yalcin e Bulut	2007	x				x	x	x		x	x	x		x						
Young et al.	2010	x	x			x				x		x			x	x			x	
Zhou et al.	2006	x			x	x	x			x										

* Nessa tabela foram desconsiderados os fatores que foram citados em apenas um ou dois estudos. São elas: razão de relevo relativo, distância de reservatórios, distância de nascentes, resistência ao cisalhamento, índice de corrente de máximo fluxo, índice de capacidade de transporte de sedimentos, distância da linha de cumeeada, desvio padrão da declividade, grau de atividade dos escorregamentos, radiação solar, comprimento de rampa, atitude das camadas, densidade de ocupação, altura da encosta, coeficiente de drenagem, densidade de lineamentos, diâmetro de árvores, idade da vegetação, densidade de vegetação, temperatura, potencial de erosão e diversidade litológica.

APÊNDICE B - INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA

Apêndice B: Tipo de processo, ano, localização, bairro e coordenadas UTM zona 22 (WGS84) dos movimentos de massa registrados.

Tipo de processo	Ano	Localização	Bairro	UTM E	UTM N
Escorregamento	2007	Rua Ernesto Liscano, 366, Beco fundos	Agronomia	-	-
Escorregamento	2007	Estrada dos Canudos, 649, beco 6	Cascata	483199	6670746
Escorregamento	2007	Rua Canudos, Beco 4, 338	Cascata	483153	6670780
Escorregamento	2007	Rua Dalls, 100	Cascata	481583	6672102
Escorregamento	2007	Rua dos Canudos, beco 4, casa 7	Cascata	483143	6670765
Escorregamento	2007	Rua Estrela, 153	Cascata	483490	6670242
Escorregamento	2007	Rua Martins de Carvalho	Cascata	481270	6672120
Escorregamento	2007	Rua Teotônio Vilela, 8	Cascata	481434	6672071
Escorregamento	2007	Rua Tilápia, 230, Mapa II	Lomba do Pinheiro	-	-
Escorregamento	2007	Rua Mestre Macedinho, 141 casa 1	Nonoai	479575	6671144
Escorregamento	2007	Rua Martins de Lima, 1459	São José	483834	6672925
Escorregamento	2007	Rua Basílio Pellin Filho, 513	Tristeza	476037	6668182
Escorregamento	2007	Antônio de Carvalho, 301, beco da escadaria	Jardim Carvalho	485582	6674113
Escorregamento	2007	Rua Guadalajara, 955 e 945	Jardim Itú Sabará	486099	6677199
Possibilidade de escorregamento	2007	Estrada dos Barcelos, 2118 e 2113	Cascata	482987	6671061
Possibilidade de escorregamento	2007	Rua C1, 245 (fundos)	Hípica	480392	6664069
Possibilidade de escorregamento	2007	Rua Unidos, 45	Cel. Aparício Borges	482191	6672790
Possibilidade de escorregamento	2007	Beco Pai Joaquim, 52 da Agulhas Negras	Cel. Aparício Borges	481944	6672714
Possibilidade de escorregamento	2007	Rua Dona Veva, 73	Cel. Aparício Borges	481904	6672688
Possibilidade de escorregamento	2007	Estrada dos Barcelos, 1046	Cascata	482559	6671444
Possibilidade de escorregamento	2007	Rua São Guilherme, 818, Morro da Cruz	Partenon	484582	6673463
Possibilidade de escorregamento	2007	Rua Santa Teresa, 640	São José	484692	6672629
Possibilidade de escorregamento	2007	Rua Arachades, 242	Espírito Santo	478709	6664947
Possibilidade de queda de blocos	2007	Rua José da Rocha Espíndola (fundos)	Serraria	477926	6663027
Possibilidade de queda de blocos	2007	Rua Arachades, 242	Espírito Santo	478707	6664949
Queda de blocos	2007	Rua C1, 245 (fundos)	Hípica	480391	6664069
Queda de blocos	2007	Rua Teotônio Vilela, 8	Cascata	481434	6672072
Queda de blocos	2007	Rua Mestre Macedinho, 141 casa 1	Nonoai	479575	6671142
Queda de blocos	2007	Primeiro de Setembro, beco 3, casa 340	São José	484328	6672316
Escorregamento	2007	Rua Cel. Ruy da Cunha Paim	Nonoai	479549	6671181
Escorregamento	2007	Beco seis	Protásio Alves	487492	6675904
Escorregamento	2008	Morro da Embratel	Cascata	482137	6671898
Escorregamento	2008	Rua Aristides Rosa, 491, casa 5	Jardim Carvalho	486027	6674178
Escorregamento	2008	Rua Oliveira, 52	Jardim Carvalho	486005	6674528
Escorregamento	2008	Beco das Sete Facadas 1, 59	Serraria	477680	6663091
Escorregamento	2008	Rua R, 320	Serraria	477864	6662754
Escorregamento	2008	Rua Dona Veva, 310, beco 2	Cascata	481949	6672616
Escorregamento	2008	Rua cinco, 532	Protásio Alves	487416	6675838
Escorregamento	2008	Rua seis, 522	Protásio Alves	487492	6675831
Escorregamento	2008	Rua dos Canudos, beco 4 casa 7	Cascata	483144	6670766
Escorregamento	2008	Rua Esplêndida, 307	Partenon	485492	6673362
Escorregamento	2008	Rua Esplêndida, beco Ideal, Acesso 2, 42	Partenon	485416	6673366
Escorregamento	2008	Rua Pereira Ibiapina, 103	São José	483800	6672894
Escorregamento	2008	Rua Pereira Ibiapina, 171	São José	483807	6672850

Tipo de processo	Ano	Localização	Bairro	UTM E	UTM N
Escorregamento	2008	Rua Silva Paes, 1827 (fundos)	Teresópolis	479716	6673258
Escorregamento	2008	Rua Liberal, 993	Tristeza	476526	6668420
Escorregamento	2008	Rua José Carlos do Nascimento, 370 e 400	Zona indefinida	490302	6665004
Escorregamento	2008	Rua José Gonçalves, 298	Agronomia	484057	6672337
Escorregamento	2008	Estrada Costa Gama, 190	Belém Velho	482944	6668403
Escorregamento	2008	Estrada Cristiano Kraemer, 1826 (fundos)	Alberta dos Morros	480903	6666727
Escorregamento	2008	Rua João Pitta Pinheiro, 572	Camaquã	477493	6668825
Escorregamento	2008	Avenida Oscar Pereira, 5804	Cascata	482572	6671052
Escorregamento	2008	Rua Prof. Antônio José Remião, 15	Espírito Santo	479587	6664269
Escorregamento	2008	Via 3, entre as casas 12 e 14,	Jardim Carvalho	486057	6674826
Escorregamento	2008	Praça Boris Russowsky	Jardim Itú Sabará	486188	6678358
Escorregamento	2008	Avenida Guaíba, 2984	Vila Assunção	475234	6670342
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua A2, beco 5, 17	Hípica	-	-
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua C2, 199	Hípica	480369	6664160
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua C2, 245 (fundos)	Hípica	480392	6664070
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua C2, 55 (fundos)	Hípica	480375	6664106
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua D, 140	Hípica	-	-
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Leodoro Pereira da Silva, 516	Serraria	477890	6663072
Possibilidade de escorregamento	2008	Travessa E, 92 (fundos)	Serraria	477721	6662885
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Silveiro, 57, beco A, 1431	Santa Tereza	477672	6673066
Possibilidade de escorregamento	2008	Beco do Aperto, 31	Santa Tereza	477620	6672779
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Agulhas Negras, 143	Cel. Aparício Borges	481724	6672668
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Marcos Wainstein, 72B	Alberta dos Morros	480388	6667016
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Santa Maria, 1270	São José	484044	6673139
Possibilidade de escorregamento	2008	Beco 4, 336	Cascata	483153	6670740
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Sebastião Wolf, 409	Nonoai	479397	6671043
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Carlos Ribeiro da Silva, 109	Partenon	484998	6673702
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua Pitoresca, 754 (fundos)	Partenon	485098	6673313
Possibilidade de escorregamento	2008	Estrada dos Alpes, 835	Teresópolis	481177	6671128
Possibilidade de escorregamento	2008	Rua B, 480	Bom Jesus	485336	6675809
Possibilidade de escorregamento	2008	Avenida Oscar Pereira, 6074	Cascata	482789	6670829
Possibilidade de queda de blocos	2008	Morro da Embratel	Cascata	482144	6671914
Possibilidade de queda de blocos	2008	Rua São Felipe, beco AE, 530	Bom Jesus	485070	6676173
Possibilidade de queda de blocos	2008	Rua B, 401	Serraria	477876	6662744
Possibilidade de queda de blocos	2008	Rua Marcos Wainstein, 72B	Alberta dos Morros	480395	6667015
Possibilidade de queda de blocos	2008	Rua Santa Maria, 1270	São José	484037	6673144
Possibilidade de queda de blocos	2008	Rua Pitoresca, 754 (fundos)	Partenon	485097	6673317
Possibilidade de queda de blocos	2008	Estrada dos Alpes, 835	Teresópolis	481173	6671127
Queda de blocos	2008	Rua Esplêndida, 307	Partenon	485490	6673362
Queda de blocos	2008	Rua Esplêndida, beco ideal, Acesso 2, 42	Partenon	485414	6673366
Escorregamento	2009	Estrada dos Batillanas, 540	Cascata	482257	6671797
Escorregamento	2009	Estrada dos Batillanas, 624, casa 16	Cascata	-	-
Escorregamento	2009	Estrada dos Batillanas, 690 (fundos)	Cascata	482391	6671724
Escorregamento	2009	Av. Juca Batista, 2951, casa 41	Hípica	480486	6664422
Escorregamento	2009	Rua F, 302	Hípica	480137	6664033
Escorregamento	2009	Rua F, 38	Hípica	480156	6664065
Escorregamento	2009	Rua Doutor Barcelos	Camaquã	476564	6669681
Escorregamento	2009	Rua R, 340	Serraria	477856	6662763

Tipo de processo	Ano	Localização	Bairro	UTM E	UTM N
Escorregamento	2009	Rua Santa Maria, 1035	São José	484042	6673115
Escorregamento	2009	Rua Capitão Padilha, 325	Cascata	481177	6672100
Escorregamento	2009	Rua dos Canudos, beco 4 casa 7	Cascata	483143	6670767
Escorregamento	2009	Rua Agulhas Negras, 116	Cel. Aparício Borges	481756	6672682
Escorregamento	2009	Rua Sargento Manoel Arruda, 565	Jardim Carvalho	485854	6675819
Escorregamento	2009	Rua Jorge Milton Oliveira, 104	Lomba do Pinheiro	487368	6670641
Escorregamento	2009	Rua Reginaldo Pujol, 119	São José	484216	6672551
Escorregamento	2009	Rua Cel. Rego, 103 (fundos)	Cel. Aparício Borges	482880	6673002
Escorregamento	2009	Praça Annita Zandwais	Belém Novo	483644	6658356
Escorregamento	2009	Travessa Ieda, 590 casa 7	Medianeira	479250	6674012
Escorregamento	2009	Rua Alfazema (final)	Protásio Alves	487707	6675924
Escorregamento	2009	Rua Mariano de Matos, ao lado da casa 521	Santa Tereza	479146	6673994
Escorregamento	2009	Rua Anchieta, 21 e 35	Teresópolis	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	Travessa Paineira, 95	Cascata	482919	6670937
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Padre Nóbrega, Acesso J, 62	Santa Tereza	477951	6671963
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua F, 53 - travessa da Rua Pio X	Bom Jesus	484715	6675768
Possibilidade de escorregamento	2009	Acesso G, Vila São Vicente Mártir	Camaquã	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Dona Veva, 310, beco 2	Cascata	481948	6672618
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Eduardo Seco, 401	Jardim Carvalho	486271	6674802
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua 5, 439	Protásio Alves	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	São José da Silva, 635 (fundos) e 627	Agronomia	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Dallas, 7	Cascata	481395	6672117
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Esperança, 4	Cascata	483440	6670571
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Tancredo Neves, 116, casa 2	Cel. Aparício Borges	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua da Fonte, 15 (fundos)	Lomba do Pinheiro	489619	6667232
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Martins de Lima, 1691	São José	483892	6672682
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua 9 de Junho, 1887 (final)	São José	484592	6672427
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Santa Teresa, 130 (fundos), casa 27	São José	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	São José, 65, beco sem nome	São José	-	-
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Doutor José Ataliba Álvares, 75	Alberta dos Morros	479945	6665295
Possibilidade de escorregamento	2009	Rua Guato, 174	Vila Assunção	474748	6670298
Possibilidade de queda de blocos	2009	Rua dos Canudos, Beco 4 casa 7	Cascata	483132	6670766
Possibilidade de queda de blocos	2009	Rua Esperança, 4	Cascata	483432	6670566
Possibilidade de queda de blocos	2009	Rua 9 de Junho, 1887 (final)	São José	484592	6672426
Queda de blocos	2009	Rua F, 53 - travessa da Rua Pio X	Bom Jesus	484718	6675766
Queda de blocos	2009	Rua Cel. Ruy da Cunha Paim, 85	Nonoai	479528	6671123
Queda de blocos	2009	Rua Esplêndida	Partenon	485462	6673365
Queda de blocos	2009	Rua Silva Paes, 1907 (fundos)	Teresópolis	479728	6673249
Queda de blocos	2009	Praça Annita Zandwais	Belém Novo	483658	6658344
Escorregamento	2010	Rua Unidos, 49	Cel. Aparício Borges	482188	6672789
Escorregamento	2010	Rua Custódio de Mello, 92 (fundos)	Serraria	477719	6662886
Escorregamento	2010	Estrada dos Canudos, 649, beco 6	Cascata	483195	6670748
Escorregamento	2010	Rua Martins de Carvalho, 107 casa 1	Cascata	481257	6672125
Escorregamento	2010	Beco Pai Joaquim, 52 da Agulhas Negras	Cel. Aparício Borges	481940	6672714
Escorregamento	2010	Estrada dos Alpes, 732	Teresópolis	481145	6671203
Escorregamento	2010	Av. Bento Gonçalves, 7981	Agronomia	486567	6673178
Possibilidade de escorregamento	2010	Rua Chácara dos Bombeiros, 266 e 390	Agronomia	-	-
Possibilidade de escorregamento	2010	Rua da Paz, 826	Teresópolis	480540	6672193

Tipo de processo	Ano	Localização	Bairro	UTM E	UTM N
Possibilidade de escorregamento	2010	Rua José Fernando da Silva, 146	Agronomia	483533	6672368
Possibilidade de escorregamento	2010	Rua Primeiro de Setembro, beco 4	São José	-	-
Possibilidade de escorregamento	2010	Praça Pedro Vergara, Rua Dr. Pitrez	Alberta dos Morros	479710	6665659
Possibilidade de escorregamento	2010	Rua Professor Xavier Simões, 189	Tristeza	-	-
Possibilidade de escorregamento	2010	Rua Professor Xavier Simões, 520	Tristeza	475952	6667781
Possibilidade de queda de blocos	2010	Rua Unidos, 49	Cel. Aparício Borges	482186	6672789
Possibilidade de queda de blocos	2010	Rua Custódio de Mello, 92 (fundos)	Serraria	477730	6662876
Possibilidade de queda de blocos	2010	Rua Esplêndida (final), beco 2	Partenon	485426	6673366
Possibilidade de queda de blocos	2010	Praça Pedro Vergara, Rua Dr. Pitrez	Alberta dos Morros	479706	6665566
Queda de blocos	2010	Rua Benoni Brizola, 235	Teresópolis	481987	6670157
Escorregamento	2010	Beco Rua Ursa Maior	Cristal	477645	6671572
Escorregamento	2011	Travessa Viela, 55	São José	484382	6672581
Escorregamento	2011	Av. Oscar Pereira, 5804	Cascata	482573	6671051
Escorregamento	2011	Avenida Padre Cacique, 2000	Cristal	476274	6672534
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Berlim, 160 e 180	Cristal	477654	6671571
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Soldado Abílio, 50	Agronomia	483901	6672210
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Engenheiro Ludolfo Boehl, 1640	Cascata	480804	6671931
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Laudelino dos Santos, 285	Jardim Carvalho	485898	6674225
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Mestre Macedinho, 57	Nonoai	479706	6671185
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Mestre Macedinho, 71 (fundos)	Nonoai	479677	6671184
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua Octávio de Souza, 1324	Nonoai	478366	6671508
Possibilidade de escorregamento	2011	Rua, 24, Vila Fátima	Bom Jesus	485238	6675764
Possibilidade de queda de blocos	2011	Viela Regina (final da Rua Guerreiro)	Cristal	477604	6671332
Possibilidade de queda de blocos	2011	Travessa Viela, 55	São José	484379	6672578
Queda de blocos	2011	C1, 245 (fundos)	Hípica	480391	6664071
Escorregamento	2011	Rua F	Hípica	480110	6664032
Escorregamento	2011	Rua F	Hípica	480111	6664041
Escorregamento	2012	Acesso F da Rua C casa 48	Agronomia	-	-
Escorregamento	2012	Rua da Represa, 639	Agronomia	-	-
Escorregamento	2012	Rua Mestre Macedinho, 290 (fundos)	Nonoai	479600	6671070
Escorregamento	2012	Rua Aristides Rosa, beco 490, lote 80	Jardim Carvalho	486023	6674153
Escorregamento	2012	Beco Souza Costa, 1735 e 1703	Protásio Alves	486416	6674970
Escorregamento	2012	Acesso 6	Protásio Alves	487503	6675877
Escorregamento	2012	Acesso 6	Protásio Alves	487511	6675885
Escorregamento	2012	Beco da Alfazema, beco da morte	Protásio Alves	487536	6675860
Escorregamento	2012	Rua 6, 400	Protásio Alves	487492	6675852
Escorregamento	2012	Rua Heitor Pereira da Silva, 49	Jardim Carvalho	486198	6673757
Escorregamento	2012	Rua Cristina Castello, 144	Cavanhada	-	-
Escorregamento	2012	Rua Clemente Pereira, 357, beco da Mumu	São José	483878	6673258
Escorregamento	2012	Estrada dos Alpes, 671	Teresópolis	481153	6671290
Escorregamento	2012	Estrada dos Alpes, 671, casa 30	Teresópolis	481134	6671282
Escorregamento	2012	Rua São Guilherme, 1433 (fundos)	São José	484648	6672938
Escorregamento	2012	Avenida Bento Gonçalves, 7981	Agronomia	486563	6673180
Escorregamento	2012	Avenida Professor Oscar Pereira, 1564	Medianeira	480197	6674078
Escorregamento	2012	Rua Monroe, 179	Santa Tereza	477504	6673661
Possibilidade de escorregamento	2012	Rua Chácara dos Bombeiros, 340	Agronomia	-	-
Possibilidade de escorregamento	2012	Avenida Oscar Pereira, 3770	Cascata	481039	6672094
Possibilidade de escorregamento	2012	Avenida Antônio de Carvalho, 297	Jardim Carvalho	485599	6674111

Tipo de processo	Ano	Localização	Bairro	UTM E	UTM N
Possibilidade de escorregamento	2012	Rua Prof. A. P. Louzada Jesus, 8, 18, 26 e 36	Jardim Carvalho	485610	6674064
Possibilidade de escorregamento	2012	Rua Mestre Macedinho, 255	Nonoai	479595	6671078
Possibilidade de escorregamento	2012	Rua Rafael Clark, Praça sem nome, 113/5	Partenon	485099	6673291
Possibilidade de queda de blocos	2012	Av. Bento Gonçalves, 7233, Beco 5, casa 37	Agronomia	-	-
Possibilidade de queda de blocos	2012	Rua Bom Jardim, 125	Agronomia	487976	6671189
Possibilidade de queda de blocos	2012	Estrada das Furnas, 723	Vila Assunção	-	-
Possibilidade de queda de blocos	2012	Rua Octávio de Souza, 421	Nonoai	479007	6672167
Queda de blocos	2012	Beco da Alfazema, 458 e 390, beco da morte	Protásio Alves	487537	6675860
Queda de blocos	2012	Rua 6, 400	Protásio Alves	487490	6675853
Queda de blocos	2012	Rua Guerreiro, 300 (fundos)	Cristal	477733	6671455
Queda de blocos	2012	Beco 4, 271	Nonoai	-	-
Queda de blocos	2012	Rua Monroe, 179	Santa Tereza	477523	6673647
Escorregamento	2013	Acesso 4, 281	Nonoai	479419	6670904
Escorregamento	2013	Rua Aristides Rosa, 700	Agronomia	486292	6674267
Escorregamento	2013	Rua Doutor Barcelos, 1475	Camaquã	476501	6669677
Escorregamento	2013	Rua R, 206 (fundos)	Serraria	477733	6662897
Escorregamento	2013	Rua Claudionor Morais (beco)	Cascata	481762	6672619
Escorregamento	2013	Avenida Professor Oscar Pereira, 4361	Cascata	481528	6671810
Escorregamento	2013	Acesso 6	Protásio Alves	487498	6675889
Escorregamento	2013	Rua Cinco, 570	Protásio Alves	487374	6675790
Escorregamento	2013	Travessa São João, 344 e 238	São José	484014	6673076
Escorregamento	2013	Estrada Anônio Borges (beco)	Cascata	483648	6670114
Escorregamento	2013	Rua Laudelino dos Santos 277	Jardim Carvalho	485908	6674235
Escorregamento	2013	Rua Um, 45	Lomba do Pinheiro	488027	6670013
Escorregamento	2013	Rua Dona Firmina, acesso 1159	São José	483693	6673214
Escorregamento	2013	Rua São Guilherme, 815 (fundos)	São José	484508	6673446
Escorregamento	2013	Rua Vidal de Negreiros, 1226 - casa 1	São José	483931	6673092
Escorregamento	2013	Rua Liberal, 365 (fundos)	Tristeza	476026	6668198
Escorregamento	2013	Rua 9 de Junho, 1882	São José	484625	6672422
Escorregamento	2013	Avenida Professor Oscar Pereira, 5804	Cascata	482570	6671052
Escorregamento	2013	Rua Engenheiro Álvaro Nunes Pereira	Moinhos de Vento	480143	6678851
Escorregamento	2013	Avenida Protásio Alves	Protásio Alves	489450	6676761
Escorregamento	2013	Rua Santo Alfredo, 537	São José	484029	6673781
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua B2, 69	Hípica	-	-
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Seis de Novembro, beco 10	Jardim Itú Sabará	488679	6677602
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Leodoro Pereira da Silva, 1006	Serraria	477614	6663115
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Agulhas Negras, 116, 126, 136 e 146	Cel. Aparício Borges	481729	6672659
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua A	Cascata	481404	6671545
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua B, 11	Cascata	481443	6671710
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Graciliano Ramos	Cascata	481455	6671736
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Dois, 130	Protásio Alves	487344	6675834
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Primeiro de Setembro, 1415	São José	484257	6672893
Possibilidade de escorregamento	2013	Beco dos Marianos, 108 do Acesso Um	Agronomia	486276	6673664
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Soldado José da Silva, 425 (fundos)	Agronomia	485782	6673454
Possibilidade de escorregamento	2013	Estrada dos Barcelos, 640	Cascata	-	-
Possibilidade de escorregamento	2013	Vila Dário Totta	Nonoai	479186	6671830
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Santiago Dantas, 112	Cascata	481185	6672362
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Prof. Luis Antônio Lopes	Protásio Alves	488161	6676131

Tipo de processo	Ano	Localização	Bairro	UTM E	UTM N
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Nove de Junho, 1340	São José	484510	6672980
Possibilidade de escorregamento	2013	Rua Silvério Souto, 408	Teresópolis	479756	6671782
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Aristides Rosa, 700	Agronomia	486296	6674264
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Canaã, 130, acesso Canaã casa 4	Teresópolis	480510	6671886
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Cinco, 570	Protásio Alves	487378	6675787
Possibilidade de queda de blocos	2013	Travessa São João, 344 e 238	São José	484015	6673080
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Manoel Alirio dos Santos, 20	Lomba do Pinheiro	486832	6670109
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Manoel Alirio dos Santos, 36	Lomba do Pinheiro	486814	6670094
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Pedro Golombiewski, 542	Lomba do Pinheiro	486870	6670127
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Professor Álvaro Alvin, 436/450	Rio Branco	480937	6677279
Possibilidade de queda de blocos	2013	Rua Grécia, 700	Agronomia	-	-

* Os registros sem as coordenadas UTM não puderam ser georreferenciados, em virtude da imprecisão de sua localização nos relatórios do PAR.