

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Débora Lamberty

**CARTA DE PERIGO A MOVIMENTOS DE MASSA PARA O MORRO
DA POLÍCIA, PORTO ALEGRE-RS**

Santa Maria, RS

2018

Débora Lamberty

**CARTA DE PERIGO A MOVIMENTOS DE MASSA PARA O MORRO DA POLÍCIA,
PORTO ALEGRE-RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Romario Trentin

Coorientador: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Santa Maria, RS
2018

Lamberty, Débora
Carta de Perigo a Movimentos de Massa para o Morro da
Polícia, Porto Alegre-RS / Débora Lamberty.- 2018.
131 p.; 30 cm

Orientador: Romario Trentin
Coorientador: Luís Eduardo de Souza Robaina
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2018

1. Perigo 2. Suscetibilidade 3. Movimentos de Massa
4. Modelagem Espacial I. Trentin, Romario II. Robaina,
Luís Eduardo de Souza III. Título.

Débora Lamberty

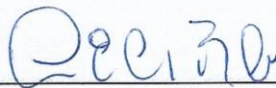
**CARTA DE PERIGO A MOVIMENTOS DE MASSA PARA O MORRO DA POLÍCIA,
PORTO ALEGRE-RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

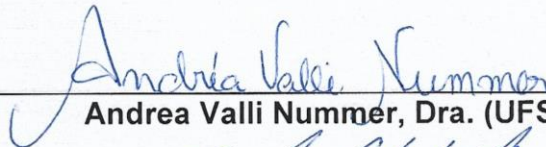
Aprovado em 31 de agosto de 2018:



Romario Trentin, Dr.
(Presidente/Orientador)



Luís Eduardo de Souza Robaina, Dr. (UFSM)
(Coorientador)



Andrea Valli Nummer, Dra. (UFSM)



Edson Luis de Almeida Oliveira, Dr. (IFSUL - Camaquã)

Santa Maria, RS
2018

*Dedico este trabalho às inúmeras pessoas
que residem em áreas de risco no Brasil*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, por propiciar um ensino público, gratuito e de qualidade, em um ambiente propício para o crescimento pessoal e profissional.

Aos professores Romario Trentin e Luís Eduardo de Souza Robaina, orientadores deste trabalho, pela paciência, pelas discussões e por toda a ajuda. Obrigada pela acolhida no LAGEOLAM desde o início. Sem vocês este mestrado não seria viável.

Aos professores e às professoras do Programa de Pós-Graduação em Geografia, pelos ensinamentos.

Ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM pela dispensa parcial durante os dois anos e meio de curso.

À minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e à minha irmã, por sempre incentivarem essa caminhada, por compreenderem as ausências e por quebrarem tantos galhos. Obrigada pelo exemplo e por todo o amor de sempre.

Ao Christopher, meu namorado, pelo apoio, pela paciência e pela cumplicidade.

Aos meus primos “santa-marienses”, Felipe, Camila, Daciano e Pauline, por abrirem suas casas para me receberem nas idas a Santa Maria. Foi ótimo passar esse tempo com vocês!

Aos colegas de mestrado com os quais pude compartilhar momentos felizes e inquietações. Aos colegas do LAGEOLAM por me receberem e me ajudarem sempre.

E agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram e que torceram por mim.

Os desastres ambientais fazem parte de uma problemática que emerge como uma crise cultural da civilização, da racionalidade da modernidade, da economia do mundo globalizado, da crise do efeito do conhecimento e seus impactos sobre o mundo e o ambiente. Nessa linha, a racionalidade humana tem desconsiderado que alguns lugares são naturalmente desenhados (“dados”), possuindo uma função estrutural, vital, sistematicamente falando, sendo que sua transformação altera o fluxo natural da vida.

(CARVALHO; DAMACENA, 2013, p.15)

RESUMO

CARTA DE PERIGO A MOVIMENTOS DE MASSA PARA O MORRO DA POLÍCIA, PORTO ALEGRE-RS

AUTORA: Débora Lamberty
ORIENTADOR: Romario Trentin
COORIENTADOR: Luís Eduardo de Souza Robaina

Uma área de perigo a movimento de massa corresponde a uma área com propensão à ocorrência de um evento físico que pode causar danos à propriedade, perturbação social e econômica e até perdas de vidas, com origem natural ou decorrente da atividade humana. Na área urbana dos municípios brasileiros, os movimentos de massa, geralmente, são condicionados pelas características naturais dos terrenos e pelas intervenções antrópicas que, no geral, potencializam a ocorrência desses processos. Em Porto Alegre, trabalhos pretéritos apontam para a ocorrência de movimentos de massa. O objetivo principal desta dissertação é analisar o perigo a movimentos de massa no Morro da Polícia, localizado na cidade de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Os objetivos específicos englobam a compreensão dos fatores condicionantes, a identificação das áreas com maior intervenção antrópica, a elaboração do modelo de perigo e a comparação do modelo de perigo com trabalhos já realizados na área. O trabalho foi desenvolvido a partir de dados vetoriais e de imagens de satélite e de fotografias aéreas, valendo-se de técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG. Foi gerado um modelo de suscetibilidade, classificado em grau alto, médio e baixo, a partir de fatores naturais: declividade, forma das vertentes e distância de lineamentos. A avaliação da ação antrópica teve como ponto de partida os dados de densidade de ocupação e a forma de ordenamento. O modelo de suscetibilidade foi somado à componente antrópica, resultando em um modelo de perigo que classificou a área ocupada do Morro da Polícia em alto, médio e baixo grau de perigo. As áreas de alto grau concentram-se no terço médio das encostas, concordantes com as maiores declividades e com as áreas de ocupação desordenada. As áreas de baixo grau de perigo correspondem aos sopés das encostas, em declividades mais suaves, afastadas dos lineamentos estruturais e com ocupação ordenada a desordenada com baixa densidade. Os resultados permitiram obter o modelo de perigo que indica as áreas críticas para a deflagração de movimentos de massa, apresentando boa correspondência quando comparado com trabalhos anteriores realizados no Morro da Polícia em Porto Alegre.

Palavras-chave: Movimentos de massa. Suscetibilidade. Perigo. Ação antrópica. Morro da Polícia.

ABSTRACT

MASS MOVEMENT HAZARD MAP FOR THE MORRO DA POLÍCIA, PORTO ALEGRE-RS

AUTHOR: Débora Lamberty
ADVISOR: Romario Trentin
CO-ADVISOR: Luís Eduardo de Souza Robaina

An area of hazard of mass movement corresponds to an area prone to the occurrence of a physical event that can cause property damage, social and economic disturbance and even loss of life, resulting from natural or human activity. In the urban area of the Brazilian cities, the mass movements often are conditioned by the ground natural properties and by the human interventions that potentiate the occurrence of the processes. In Porto Alegre, previous works show the occurrence of mass movements. The main objective of this dissertation is to analyze the hazard of mass movements in Morro da Polícia, located in the city of Porto Alegre, State of Rio Grande do Sul. The specific objectives include understanding the conditioning factors, the identification of areas with greater human intervention, the elaboration of the hazard model and the validation of the model, considering previous works already carried out in the area. The work had been developed using vector data, satellite images and aerial photographs, using geoprocessing techniques in a GIS environment. A susceptibility model was generated, classified in high, medium and low grade, based on natural factors: angle of slope, slope shape and distance of lineaments. The evaluation of the human action had as its starting point the data of density and the pattern of occupation. The susceptibility model was added to the human component, resulting in a hazard model that classified the occupied area of the Morro da Polícia in high, medium and low grade of hazard. The high-grade areas are concentrated in the middle third of the slopes, in agreement with the greater slopes angle and with the areas of disordered occupation. The low-grade areas correspond to the foothills of the slopes, with smooth slope angle, away from the structural lineaments and with orderly to disorderly with low density occupation. The result allowed to obtain the hazard model that indicates the critical areas for the deflagration of the mass movements, showing a good match when compared with previous works developed in Morro da Polícia in Porto Alegre.

Keywords: Mass movements. Susceptibility. Hazard. Human action. Morro da Polícia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de movimento de massa de acordo com a classificação de Varnes (1978).....	33
Figura 2 - Desenho esquemático de um movimento de massa do tipo rastejo	38
Figura 3 - Desenho esquemático do movimento de massa do tipo escorregamento planar	39
Figura 4 - Desenho esquemático de um escorregamento circular	41
Figura 5 - Quedas, tombamentos e rolamento de matacões	42
Figura 6 - Modelo esquemático de um processo de corrida de massa	43
Figura 7 - Elementos a serem considerados na avaliação de risco a movimentos de massa.....	56
Figura 8 - Carta de suscetibilidade a movimentos de massa de CPRM (2015)	67
Figura 9 - Localização da área de estudo	68
Figura 10 - Temperatura mensal média e precipitação mensal média no município de Porto Alegre para o período de 1961 a 1990.	69
Figura 11 - Mapa geológico do município de Porto Alegre.....	71
Figura 12 - Mapa de unidades de solo do município de Porto Alegre	73
Figura 13 - Perfil topossequência hipotética para o município de Porto Alegre.	74
Figura 14 - Mapa hipsométrico do Morro da Polícia.....	76
Figura 15 - Mapa da estimativa de espessura de solo média com curvas de nível e localização dos principais morros de Porto Alegre.....	77
Figura 16 - Ocorrências de movimentos de massa e setores de risco no Morro da Polícia	79
Figura 17 - Fluxograma síntese da metodologia utilizada neste trabalho	81
Figura 18 - Delimitação da área de estudo e da área edificada	82
Figura 19 - Base altimétrica vetorial contínua recortada para a área de estudo	83
Figura 20 - Fluxograma para obtenção de parâmetros de declividade e plano e perfil de curvatura	84
Figura 21 - Formas de vertente obtidas a partir da combinação do plano e do perfil de curvatura	85
Figura 22 - Mapa das edificações existentes na área de estudo.....	87
Figura 23 - Características consideradas na classificação da forma de ordenamento	90
Figura 24 - Matriz de cruzamento para obtenção do perigo.	94
Figura 25 - Distribuição das classes de declividade do Morro da Polícia	96
Figura 26 - Mapa de perfil de curvatura do Morro da Polícia	97
Figura 27 - Mapa de plano de curvatura do Morro da Polícia	98
Figura 28 - Distribuição de formas das vertentes do Morro da Polícia	99
Figura 29 - Mapa de distribuição de distância de lineamentos do Morro da Polícia	101
Figura 30 - Modelo de suscetibilidade a movimentos de massa do Morro da Polícia	102
Figura 31 - Distribuição de classes de densidade de ocupação da área de estudo	104
Figura 32 - Classificação da forma de ordenamento.....	105
Figura 33 - Mapa de distribuição da componente antrópica.....	107
Figura 34 - Mapa do modelo de perigo para o Morro da Polícia	108
Figura 35 - Perfil topográfico W-SW – E-NE do Morro da Polícia com classificação de perigo.	110
Figura 36 - Distribuição da combinação das classes de perigo e suscetibilidade e a respectiva porcentagem de concordância.....	111

Figura 37 - Comparação entre o modelo de suscetibilidade gerado e a carta de suscetibilidade de CPRM (2015)	113
Figura 38 - Comparação entre pontos de ocorrência ou potencial ocorrência de BRITO (2014)	115
Figura 39 - Comparação entre o modelo final e a setorização de risco de CPRM (2013)	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais fatores considerados nas modelagens em escala de detalhe de movimentos de massa e frequência de atualização do dado recomendada	60
Tabela 2 - Descrição geral das áreas de ocorrência das unidades de solo mapeadas no município de Porto Alegre.	72
Tabela 3 - Ocorrência de classes de declividade na área total e na área ocupada do Morro da Polícia	96
Tabela 4 - Ocorrência de formas de vertentes na área total e na área ocupada do Morro da Polícia	99
Tabela 5 - Ocorrência de intervalos de distância de lineamentos.	100
Tabela 6 - Ocorrência de cada componente do fator antrópico	106
Tabela 7 - Porcentagem de concordância entre o modelo de suscetibilidade e a carta de CPRM (2015)	114
Tabela 8 - Comparação entre o inventário de Brito (2014) e a classificação do modelo de perigo.....	116
Tabela 9 - Percentual de compatibilidade entre modelo de perigo e setores de risco de CPRM (2013)	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Versão abreviada da classificação dos movimentos de encosta proposto por Varnes (1978)	32
Quadro 2 - Classificação de Guidicini e Nieble (1983) para movimentos de massa .	35
Quadro 3 - Classificação dos movimentos de massa em encostas	36
Quadro 4 - Fatores condicionantes dos movimentos de massa.....	45
Quadro 5 - Tipos e níveis de zoneamento recomendados e escalas de mapas relacionados ao zoneamento de deslizamentos.....	49
Quadro 6 - Dados vetoriais utilizados neste trabalho	80
Quadro 7 - Valoração dos fatores considerados na modelagem de suscetibilidade .	92
Quadro 8 - Limiares de classificação de suscetibilidade e respectivas características	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEIC	Centro Integrado de Comando da Cidade
CEMADEN	Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GPS	Sistema de Posicionamento Global
MDE	Modelo Digital de Elevação
ONU	Organização das Nações Unidas
PDI	Processamento Digital de Imagens
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
UTM	Universal Transversa de Mercator
WPWLI	<i>Working Party for World Landslide Inventory</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1 MOVIMENTOS DE MASSA	31
2.1.1 Rastejo	37
2.1.2 Escorregamentos.....	38
2.1.3 Quedas e Tombamentos de Blocos de Rocha	42
2.1.4 Corridas de Massa.....	43
2.2 FATORES CONDICIONANTES DE MOVIMENTOS DE MASSA	44
2.3 ANÁLISE DE ÁREAS PROPENSAS A MOVIMENTOS DE MASSA.....	48
2.3.1 Análise de Suscetibilidade.....	50
2.3.2 Análise de Perigo (<i>Hazard</i>).....	51
2.3.3 Análise de Vulnerabilidade	52
3.3.4 Análise de Risco	54
2.4 EMPREGO DAS GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DE ÁREAS DE RISCO ...	57
2.4.1 Fatores Geológicos.....	61
2.4.2 Fatores Geomorfológicos	62
2.4.3 Fatores Antrópicos.....	63
2.5 ATUAÇÃO DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO	64
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	68
3.1 CARACTERÍSTICAS REGIONAIS DA ÁREA DE ESTUDO	69
3.2 CARACTERÍSTICAS LOCAIS DA ÁREA DE ESTUDO	74
4 MATERIAIS E MÉTODOS	80
4.1 PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS ESPACIAIS	81
4.1.1 Fatores Geomorfológicos	82
4.1.2 Fatores Geológicos.....	85
4.1.3. Componente Antrópica	86
4.2 MODELAGEM ESPACIAL.....	91
4.2.1 Modelo de Suscetibilidade a Movimentos de Massa	91
4.2.2 Modelo de Perigo a Movimentos de Massa	93
4.3 COMPARAÇÃO DO PRODUTO COM TRABALHOS PRETÉRITOS	94
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	95
5.1 MODELO DE SUSCETIBILIDADE	95
5.2 MODELO DE PERIGO	103

5.2.1 Componente Antrópica.....	103
5.2.2 Modelo de Perigo	107
5.3 COMPARAÇÃO DOS MODELOS GERADOS COM TRABALHOS PRETÉRITOS	112
5.3.1 Modelo de Suscetibilidade <i>versus</i> CPRM (2015)	112
5.3.2 Modelo de Perigo <i>versus</i> BRITO (2014)	114
5.3.3 Modelo de Perigo <i>versus</i> CPRM (2013).....	116
6 CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

As áreas de risco a movimentos de massa no Brasil, no geral, são resultado da ocupação de áreas ambientalmente sensíveis e degradadas por uma população empobrecida. As dificuldades de acesso à moradia regular implicam na ocupação de áreas suscetíveis aos processos de dinâmica superficial, como erosão e movimentos de massa. A falta de respaldo técnico para a execução das obras é um agravante nessas áreas, resultando, por exemplo, em execução de cortes para construção de moradias, aterros e lançamento concentrado de águas sobre as vertentes, favorecendo a instabilidade de setores da encosta, sendo comum a ocorrência de movimentos de massa em zonas de ocupação precária por população de baixa renda (VEDOVELLO; MACEDO, 2007; ROBAINA; OLIVEIRA, 2013; NUNES, 2015).

O surgimento de áreas de risco, portanto, é resultado do processo de apropriação do espaço natural pelo ser humano. O risco é um processo social o qual afeta o homem que, além de vítima, é o próprio responsável pelo desastre (VEYRET, 2015).

A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que, em 2015, mais de 50 mil pessoas tenham sido afetadas por movimentos de massa no mundo todo. Para o mesmo período, foram registradas 1.369 vítimas fatais desse tipo de desastre natural (UN/ISDR, 2016). Petley (2012) calcula que, entre 2004 e 2010, deslizamentos de terra de origem não sísmica, ou seja, aqueles desencadeados especialmente por chuvas, tenham vitimado 32.322 pessoas no mundo inteiro em 2.620 deslizamentos. No Brasil, Macedo e Martins (2015) estimam que, entre os anos de 1988 e 2014, os deslizamentos de terra tenham acumulado 3.395 vítimas. Desse total, apenas 18 mortes foram no Rio Grande do Sul. As cidades de Porto Alegre, Santa Maria, Caxias do Sul e Farroupilha são apontadas por Robaina e Trentin (2013) como as cidades que mais apresentam registros de movimentos de massa.

Os primeiros trabalhos para o reconhecimento das áreas de risco geológico-geotécnico do município de Porto Alegre remetem ao ano de 1991, quando a Prefeitura Municipal criou um grupo técnico de trabalho cujo objetivo era diagnosticar as áreas com risco instalado. Neste trabalho, foram identificadas mais de 400 áreas de risco, sendo que destas 84 foram reconhecidas como de risco alto, atingindo

cerca de 3.000 habitantes. Uma comissão de áreas de risco, constituída por diferentes secretarias e órgãos, a saber, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Secretaria Municipal de Obras Viárias, Departamento Municipal de Limpeza Urbana, Departamento Municipal de Habitação, Departamento Municipal de Esgoto Pluvial e Defesa Civil, foi formada visando à análise e à definição de soluções para áreas com risco geológico diagnosticado (FAERTES; CHANAN; MOURA, 1995).

Trabalhos mais recentes como os de Reckziegel (2012) e de Brito (2014) apontam que, embora o número de vítimas seja pequeno, há muitos registros de ocorrência de movimentos de massa na capital. Reckziegel (2012) identificou 176 ocorrências associadas a movimentos de massa, entre 1995 e 2010, em Porto Alegre, sendo que destas 144 correspondem a deslizamentos e 32 a registros que estão associados a movimentos de blocos de rocha. Brito (2014) registrou mais de 220 deslizamentos e quedas de blocos, entre os anos de 2007 e 2013, com grandes perdas de capital público e privado.

O trabalho de CPRM (2013) identificou, em Porto Alegre, 64 setores de risco alto e muito alto a movimentos de massa. De acordo com a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Inundações de Porto Alegre, elaborada pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), as áreas altamente suscetíveis a movimentos de massa correspondem a 0,5% da área urbanizada do município de Porto Alegre e estão restritas basicamente às áreas de morros altos que correspondem a 8,5% da área municipal total (CPRM, 2015).

De acordo com a Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012 (BRASIL, 2012), que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), os municípios, os estados e a União precisam estar articulados para atuarem, dentro das suas áreas de competência, na execução da PNPDEC. Destaca-se, entre outras atribuições, que compete à União promover estudos referentes às causas e às possibilidades de ocorrência de desastres de qualquer origem, sua incidência, extensão e consequência (Art. 6º - III); aos Estados Federados compete identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os Municípios (art. 7º - IV); e aos municípios compete a identificação e o mapeamento das áreas de risco de desastres, bem como a fiscalização das áreas de risco de desastre procedido pelo veto de novas ocupações nessas áreas (art. 8º - IV e V).

A importância de se identificar as áreas de risco de um município vai além de uma exigência prevista em lei. Veyret (2015, p.30) salienta que “um acontecimento que se produz de maneira totalmente imprevisível e excepcional não pode ser integrado a uma política de prevenção”. Ou seja, torna-se essencial que se conheça as áreas de risco de um município para que elas sejam integradas ao sistema de gestão de áreas de risco e que se desenvolva uma política de prevenção a desastres naturais.

É de consenso de pesquisadores da área que os movimentos de massa são os processos naturais, que assolam o Brasil, de mais difícil predição. Embora se conheçam os agentes desencadeantes dos processos, ainda há discussões acerca de qual seriam os fatores predisponentes dos movimentos. Geologia e geomorfologia, além de tipo de solo, hidrologia e uso de solo e cobertura vegetal são aqueles fatores mais amplamente encontrados na bibliografia (SANTACANA et al, 2003; VAN WESTEN; RENGERS; SOETERS, 2003; COE et al, 2004; TOMINAGA, 2007; PRADHAN; LEE, 2009; RECKZIEGEL, 2012; CAMARINHA; CANAVESI; ALVALÁ, 2014; BRITO, 2014). Sepúlveda e Petley (2015) salientam que, para a América Latina, os fatores preponderantes para deslizamentos com vítimas fatais são declividade da encosta, precipitação e densidade da população.

Compreender quais são e como estão relacionados os diferentes fatores que controlam a ocorrência ou não de deslizamentos em encostas ocupadas é um desafio para os pesquisadores. No Brasil, em que as áreas de risco são tradicionalmente ocupadas por populações de baixa renda, sem ordenamento territorial, é ainda mais difícil avaliar o perigo ao desenvolvimento de um movimento de massa, isso porque as modificações antrópicas na dinâmica da encosta, como por exemplo, cortes subverticais a verticais, aterros mal compactados, supressão e modificação da vegetação, impermeabilização e condução inapropriada de águas servidas, vazamentos na rede de abastecimento e na rede de coleta de esgoto/pluvial, podem desencadear, deflagrar ou potencializar a instabilidade de uma vertente. Devido à complexidade da obtenção e da integração dos dados e da grande variação lateral, poucos são os trabalhos que utilizam as variáveis supracitadas em um modelo para avaliação automatizada de perigo de movimentos de massa.

Partindo da premissa de que há registros históricos de movimentos de massa em Porto Alegre e que a ação antrópica é uma das condicionantes de movimentos

de massa, o objetivo geral do presente trabalho é analisar o perigo a movimentos de massa no Morro da Polícia, localizado na cidade de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Os objetivos específicos são:

a) Compreender o comportamento dos fatores condicionantes dos movimentos de massa, declividade, forma das vertentes, lineamentos e a ação antrópica, no Morro da Polícia;

b) Indicar áreas com maior intervenção antrópica com indução de processos de movimento de massa;

c) Elaborar um modelo de perigo a movimentos de massa do Morro da Polícia, em Porto Alegre/RS, em um Sistema de Informação Geográfica;

d) Comparar o resultado alcançado por este trabalho com as metodologias desenvolvidas pela CPRM, no âmbito dos projetos Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações e Carta Municipal de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, e com as ocorrências e potenciais ocorrências registradas em BRITO (2014).

A presente dissertação está organizada em seis capítulos. Este capítulo introdutório configura-se no primeiro capítulo. No segundo capítulo, os conceitos que fundamentaram este trabalho são apresentados. No terceiro capítulo, traz-se a caracterização da área de estudo. No quarto capítulo, são abordados os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados. No quinto e sexto capítulos, são apresentados os resultados e as discussões e as conclusões, respectivamente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os conceitos que fundamentaram e subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho. O conteúdo está organizado em cinco seções: movimentos de massa; fatores condicionantes de movimentos de massa; mapeamentos de áreas propensas a movimentos de massa; emprego das geotecnologias no estudo de áreas de risco e a atuação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na prevenção de desastres naturais.

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA

O conceito de movimento de massa ainda apresenta variações de acordo com o profissional que o define. A diversidade de variações reflete a complexidade em se estudar o fenômeno e o envolvimento de profissionais das diferentes áreas como geólogos, geógrafos e engenheiros, que possuem diferentes interpretações sobre o processo. Muitas vezes, a palavra escorregamento (ou deslizamento) é utilizada de forma ampla e genérica como sinônimo de movimento de massa. A adoção dessa terminologia sofre influência da língua inglesa que tem no vocábulo *landslide* um termo genérico que engloba todos os tipos de movimentos de massa (NUMMER; PINHEIRO, 2013).

Neste trabalho, assume-se que movimento de massa é o movimento de solo, rocha ou detrito, ao longo de uma vertente, que ocorre a partir da ruptura de uma superfície, na qual a maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna, sob efeito direto da gravidade (CRUDEN, 1991; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008, p. 8; TOMINAGA, 2009, p. 27).

A primeira classificação dos movimentos de massa foi realizada, segundo Cruden (2003), por James Dwight Dana, em 1862. Dana identificou três tipos de movimentos de massa. O primeiro tipo de movimento foi descrito com base em uma avalanche de detritos desencadeada por chuvas torrenciais na White Mountains em New Hampshire, Estados Unidos da América. O segundo tipo de movimento, descrito por Dana, era a subsidência de terreno por sobrecarga, classificação baseada no movimento ocorrido em Tivoli, Itália. O terceiro tipo de movimento, na classificação de Dana, estava relacionado a um evento ocorrido próximo a Goldau,

na Suíça, em que chuvas intensas desencadearam uma queda de blocos de rocha do topo da montanha para a base. Embora Dana não tenha nomeado os três tipos de movimentos de massa, Cruden (2003) correlaciona-os, respectivamente, aos movimentos do tipo fluxo de detritos, espalhamento lateral de terra e escorregamento de rocha, de Cruden e Varnes (1996).

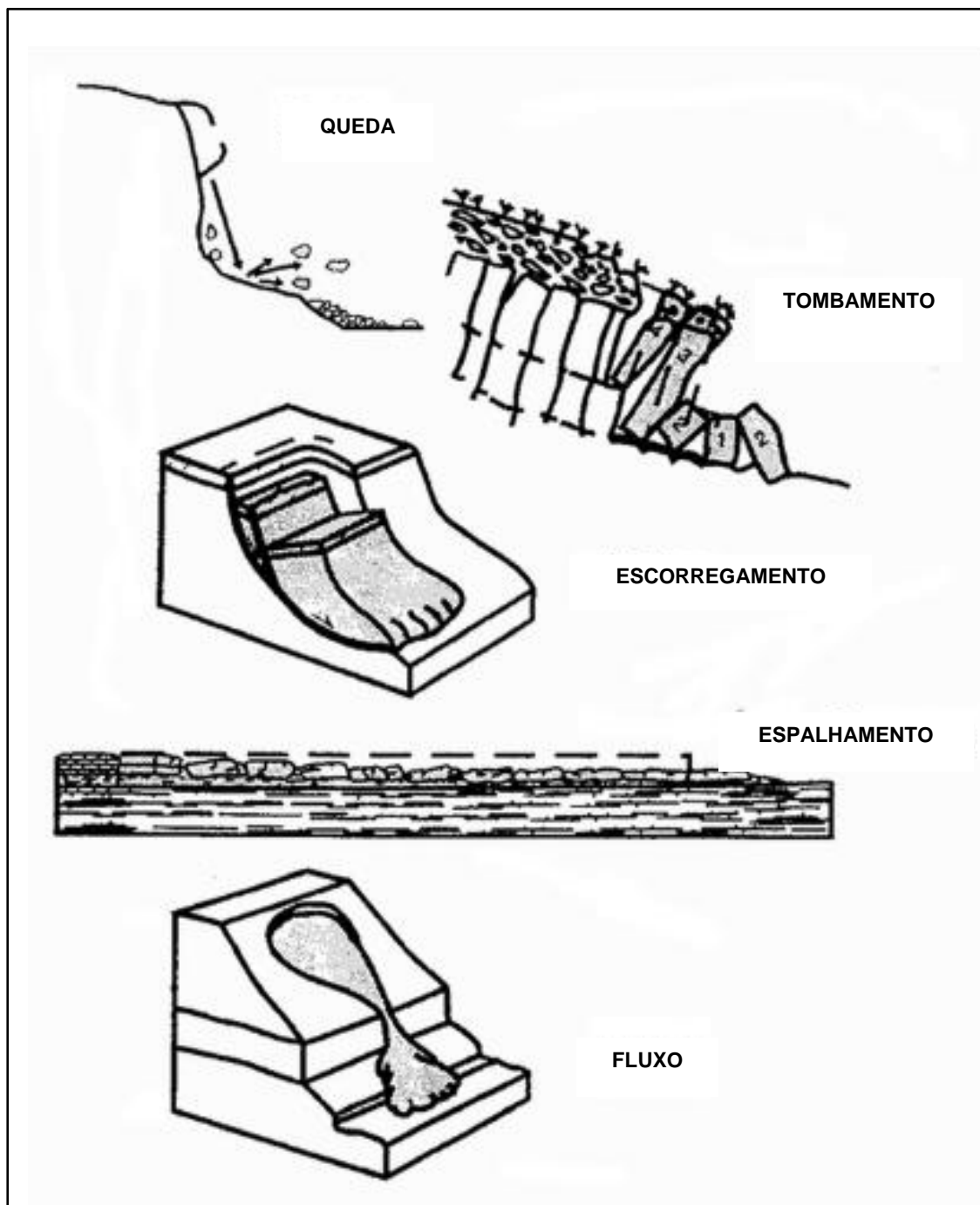
A classificação de movimentos de massa de Varnes (1978) é a mais aceita, a mais utilizada internacionalmente e a que vem embasando o desenvolvimento de diversos trabalhos no mundo todo (WLWPI, 1993; CRUDEN; VARNES, 1996; FELL et al, 2000; USGS, 2004; HIGHLAND; BOBROWSKI, 2008; CUDEN, VANDINE, 2013; HUNGR; LEROUEIL; PICARELLI, 2014). Essa classificação está pautada no cruzamento de informações de movimento e de tipo de material, sendo definidos três tipos de material: rocha, solo e detritos, e cinco tipos de movimento: queda, tombamento, escorregamento, espalhamento lateral e fluxos. Quando há a combinação de dois ou mais tipos de movimento, Varnes (1978) considera o movimento como complexo. O Quadro 1 apresenta a versão abreviada da classificação dos movimentos de massa em uma encosta proposta por Varnes (1978). Um desenho esquemático dos cinco tipos de movimento de massa propostos pelo autor é apresentado na Figura 1.

Quadro 1 - Versão abreviada da classificação dos movimentos de encosta proposto por Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	SOLO	
			Predominantemente granular	Predominantemente fino
Quedas		Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de terra
Tombamentos		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terra
Escorregamento	Rotacional	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terra
	Translacional			
Espalhamento lateral		Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos	Espalhamento de terra
Fluxos		Fluxo de rocha (rastejo profundo)	Fluxo de detritos (rastejo de solo)	Fluxo de terra
COMPLEXO		Combinação de dois ou mais tipos principais de movimento		

Fonte: Adaptação de Varnes (1978).

Figura 1 - Tipos de movimento de massa de acordo com a classificação de Varnes (1978)



Fonte: Adaptação de WP/WLI (1993).

A classificação de Cruden e Varnes (1996) segue a classificação proposta por Varnes (1978), entretanto, passa a considerar uma terceira característica do movimento: a atividade do movimento. Essa característica refere-se ao estado de atividade do movimento e descreve se o movimento está ativo, reativo, suspenso, dormente ou estabilizado; quanto à distribuição da atividade descreve onde está

ocorrendo o movimento, se confinado, ou se se estende pelas laterais marginais, por exemplo; e quanto ao estilo da atividade, define se é um movimento complexo, composto, múltiplo, sucessivo ou singular (CRUDEN; VARNES, 1996). Dessa forma, o movimento complexo deixa de ser um tipo de movimento, conforme proposto por Varnes (1978), e passa a ser o estilo de atividade do movimento.

No Brasil, por sua vez, destacam-se os trabalhos de Guidicini e Nieble (1983) e Augusto Filho (1992). Ambos propuseram um sistema de classificação para movimentos de massa adaptados para o cenário brasileiro.

O sistema classificatório de Guidicini e Nieble (1983) está embasado no trabalho de Magalhães Freire intitulado “Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática” de 1965. Essa classificação pretendia combinar os aspectos geológicos e os físico-mecânicos que condicionam os movimentos. Os movimentos foram, então, classificados em três tipos de movimentos: escoamentos, escorregamentos e subsidências. A classificação de Guidicini e Nieble (1983) focou nos movimentos de massa que ocorrem em regiões tropicais. Ao todo, os movimentos foram diferenciados em trinta e duas classes principais de movimento. O Quadro 2 é um recorte do quadro de classificação de escorregamentos e fenômenos conexos extraído de Guidicini e Nieble (1983).

Quadro 2 - Classificação de Guidicini e Nieble (1983) para movimentos de massa

TIPO FUNDAMENTAL		SUBTIPO		CLASSES PRINCIPAIS
ESCOAMENTO	Consistindo em deformação ou movimento contínuo, com ou sem superfície definida de escorregamento	Rastejo, Reptação (<i>creep, slow flow, lame</i>)	Escoamento plástico	<ul style="list-style-type: none"> • Rastejo de solo • Rastejo de detritos de tálus • Rastejo de rocha • Solifluxão • Rastejo de detritos • Geleiras
		Corridas (<i>rapid flow</i>)	Escoamento líquido	<ul style="list-style-type: none"> • Corrida de terra • Corrida de areia ou silte • Corrida de lama (tipo de região árida, semiárida ou alpina; tipo vulcânico; refluxo de pântano) • Avalanche de detritos
ESCORREGAMENTOS	Consistindo em deslocamento finito, ao longo da superfície preexistente ou de neoformação	Escorregamentos rotacionais (<i>slumps, failures shear slides</i>)		<ul style="list-style-type: none"> • Escorregamentos de talude • Escorregamento de base • Rotura rotacional do solo de fundação
		Escorregamentos translacionais		<ul style="list-style-type: none"> • Escorregamento translacional de rocha (com ou sem controle estrutural) • Escorregamento translacional de solo ou de solo e rocha • Escorregamento translacional retrogressivo • Queda de rocha • Queda de detritos
SUBSIDÊNCIA	Consistindo em deslocamento finito ou deformação contínua vertical	Subsidências		<ul style="list-style-type: none"> • Por carregamento de grãos • Por dissolução de camadas inferiores e cavernas • Por deformações de estratos inferiores, inclusive, por deformações tectônicas e deformação por acúmulo de sedimento • Por rotura de estratos inferiores • Por retirada de suporte lateral
		Recalques		<ul style="list-style-type: none"> • Por consolidação (expulsão de água) • Por compactação (expulsão de ar ou outros gases)
		Desabamentos		<ul style="list-style-type: none"> • Por rotura de camada • Por subescavação • Por retirada do suporte lateral
		Formas de transição ou termos de passagem		
		Movimentos de massa complexos		

Fonte: (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

A classificação de Augusto Filho (1992) subdivide os movimentos de massa que ocorrem no Brasil em quatro classes de movimento: rastejo, escorregamentos, quedas e corridas de massa. O Quadro 3 apresenta a classificação dos movimentos de massa de Augusto Filho (1992). Essa classificação é a recomendada pelo Ministério das Cidades para a execução de trabalhos em áreas de risco (BRASIL;

IPT, 2007), e vem sendo ainda adotada nos trabalhos realizados pela CPRM no âmbito do projeto “Cartas Municipais de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações” de CPRM e IPT (2014).

Quadro 3 - Classificação dos movimentos de massa em encostas

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (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) • Velocidade média (m/h) a alta (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis: Planares – solos pouco espessos, solos 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) • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc Rolamento de matacão Tombamento
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante a de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: (AUGUSTO FILHO, 1992 apud TOMINAGA, 2009).

Neste trabalho, serão focados os processos de rastejo, escorregamentos planares e circulares, queda de blocos de rocha e corridas de massa, baseando-se na classificação de movimentos de massa de Augusto Filho (1992) e CPRM e IPT (2014). Essas tipologias são exploradas nas seções subsequentes.

2.1.1 Rastejo

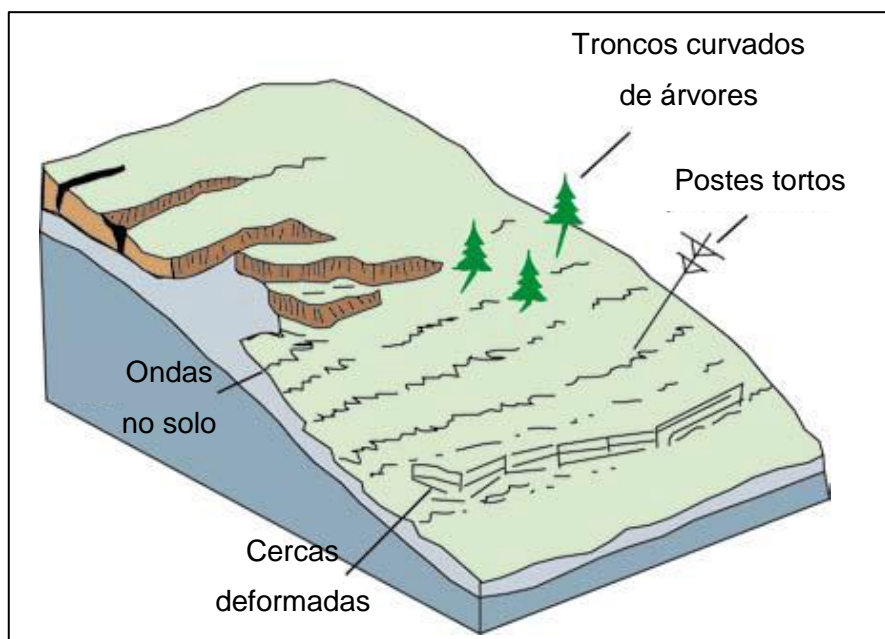
Rastejo é um tipo de fluxo lento de terra e consiste em um movimento descendente, contínuo e em baixa velocidade de material, que pode ser solo, detritos ou rocha. Corresponde a uma deformação com caráter plástico, sem uma geometria bem definida e sem o desenvolvimento de uma superfície definida de ruptura. Podem envolver grandes massas de solo, como, por exemplo, os taludes de uma região inteira, sem que haja diferenciação entre material em movimento e material estacionário. A movimentação é provocada pela ação da gravidade, intervindo, porém, nos efeitos provenientes das variações de temperatura e umidade (GUIDICINI; NIEBLE, 1983; AUGUSTO FILHO, 1992 apud TOMINAGA, 2009; INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

O rastejo pode apresentar comportamento complexo, com velocidade não uniforme, ocorrendo aos pulsos, ou ainda passar para escorregamento quando atingir encostas mais íngremes. O rastejo tende a se instalar em depósitos de rampa de colúvio (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Geralmente, existem três tipos de rastejo: (1) sazonal, no qual o movimento ocorre no interior e no fundo do solo afetado por alterações sazonais, em sua mistura e temperatura; (2) contínuo, no qual a tensão contínua de cisalhamento excede a resistência do material; e (3) progressivo, no qual os taludes atingem o ponto de ruptura gerando outros tipos de movimentação do terreno, como escorregamentos, por exemplo (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Entre os indícios indiretos em campo para identificação de rastejo, está a curvatura dos troncos das árvores, inclinação de cercas e/ou muros de arrimo e de postes e pequenas ondas ou cristas no solo (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). A Figura 2 esquematiza o processo de rastejo em uma encosta destacando os indícios desse movimento.

Figura 2 - Desenho esquemático de um movimento de massa do tipo rastejo



Fonte: (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

2.1.2 Escorregamentos

Escorregamentos, também chamados de deslizamentos a depender do autor, são movimentos de uma massa de solo ou rocha, em declive, rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Para que ocorra um escorregamento, a resistência média ao cisalhamento do solo ou da rocha deve ser superada pelas tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de movimentação no instante do escorregamento (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

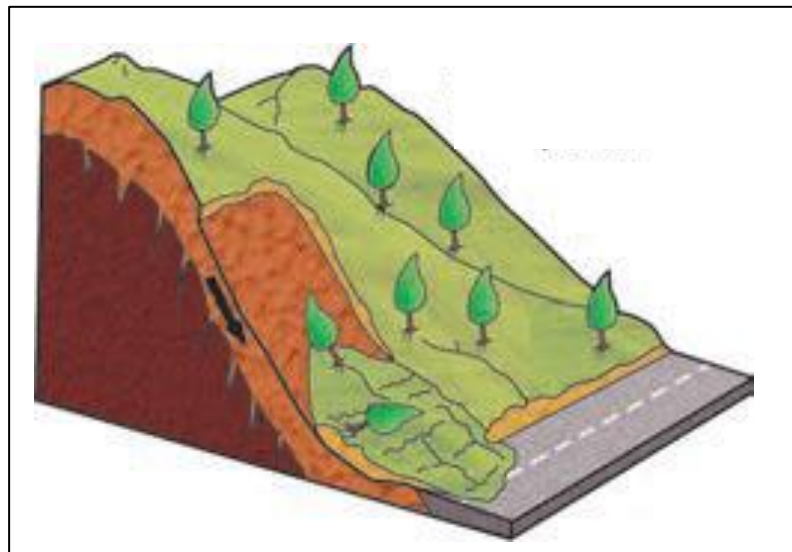
Conforme Augusto Filho (1992 apud Tominaga, 2009), os escorregamentos podem ser classificados em planares, circulares ou em cunha. Os escorregamentos planares e os circulares são os de maior significância para o desenvolvimento do presente estudo e são explorados nas seções subsequentes.

2.1.2.1 Escorregamentos Planares

Os escorregamentos planares ou translacionais são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa, sendo encontrados em todos os tipos de ambientes e em todas as condições. Formam superfícies de ruptura planar (Figura

3) associadas às heterogeneidades dos solos e das rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; TOMINAGA, 2009).

Figura 3 - Desenho esquemático do movimento de massa do tipo escorregamento planar



Fonte: (TOMINAGA, 2009).

Geralmente os escorregamentos planares estão condicionados a massas de solo ou rocha com anisotropia acentuada e o plano de ruptura seguirá o plano de anisotropia. Os planos de fraqueza podem ser marcados por descontinuidades tais como estratificação, xistosidade, gnaissificação, acamadamento, diaclasamento, falhas, juntas de alívio de tensão ou ponto de contato entre camadas de solo e rocha ou entre camadas de solos de composição diferente (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

A massa de um escorregamento planar move-se para fora, ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana, com pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás. Esse tipo de escorregamento pode progredir por distâncias consideráveis, se a superfície da ruptura estiver suficientemente inclinada. Esse movimento pode progredir para uma corrida de massa com o aumento do teor de água no sistema. Por outro lado, pode ainda passar a atuar como rastejo após sua movimentação e acumulação em sopé de encosta (GUIDICINI; NIEBLE, 1983; CRUDEN; VARNES, 1996; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

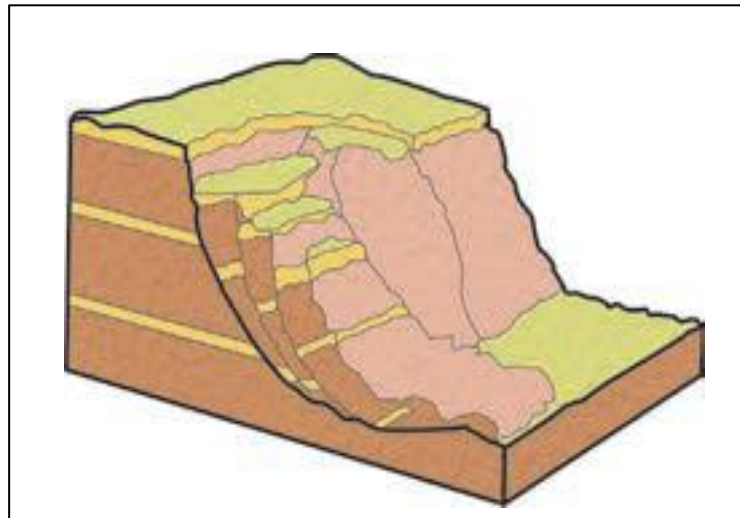
Em geral, os escorregamentos planares são mais rasos que os escorregamentos circulares. A superfície de ruptura pode variar de pequena (tamanho de um lote residencial) a muito grande e regional, com quilômetros de extensão. Quanto à velocidade de deslocamento, esse movimento pode ser inicialmente vagaroso (1,5 m/mês), mas há muitos em velocidade moderada (1,5 m/dia) ou extremamente rápidos (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Entre os processos desencadeadores estão chuva intensa e prolongada, aumento da saturação do solo pelas chuvas, degelo, inundações, aumento do nível de água devido a irrigações, vazamentos de tubulações ou distúrbios relacionados à ação do homem, tais como erosão regressiva. Terremotos ou tremores de terra também podem provocar esse fenômeno. A probabilidade de ocorrerem repetitivamente em áreas anteriormente afetadas, inclusive, em áreas sujeitas a terremotos frequentes ou à forte agitação do solo é alta. Abertura de fissuras no cume ou na base pode ser um indicativo de ruptura iminente (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

2.1.2.2 Escorregamentos Circulares

Escorregamentos circulares ou rotacionais movem-se ao longo de uma superfície de ruptura de forma curva ou côncava (CRUDEN; VARNES, 1996). Nesse tipo de deslizamento, o movimento é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude. A massa deslocada pode, sob certas circunstâncias, mover-se de maneira relativamente coerente, ao longo da superfície de ruptura e com pouca deformação interna. O topo do material deslocado pode mover-se quase que verticalmente para baixo e a parte superior desse material pode inclinar-se para trás em direção ao talude. Se o escorregamento for circular e possuir vários planos de movimento paralelos e curvos, é chamado abaixamento (“*slump*”) (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). A Figura 4 apresenta um desenho esquemático de um escorregamento circular, com destaque para degraus de abatimento marcando o início da ruptura, o plano circular de ruptura e o intumescimento na base da ruptura.

Figura 4 - Desenho esquemático de um escorregamento circular



Fonte: (TOMINAGA, 2009).

Por ocorrer mais frequentemente em materiais homogêneos, esse processo é o tipo mais comum de escorregamento em aterros construídos. Situações de corte de encosta, para a construção de rodovias, por exemplo, também podem condicionar o desenvolvimento de escorregamentos circulares (VARNES, 1978). Estão geralmente associados a encostas cujas declividades variam de 35 a 80%. As taxas de movimento variam de extremamente vagarosa (menos de 0,3 m a cada 5 anos), moderadamente rápida (1,5 m/mês) a rápida (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

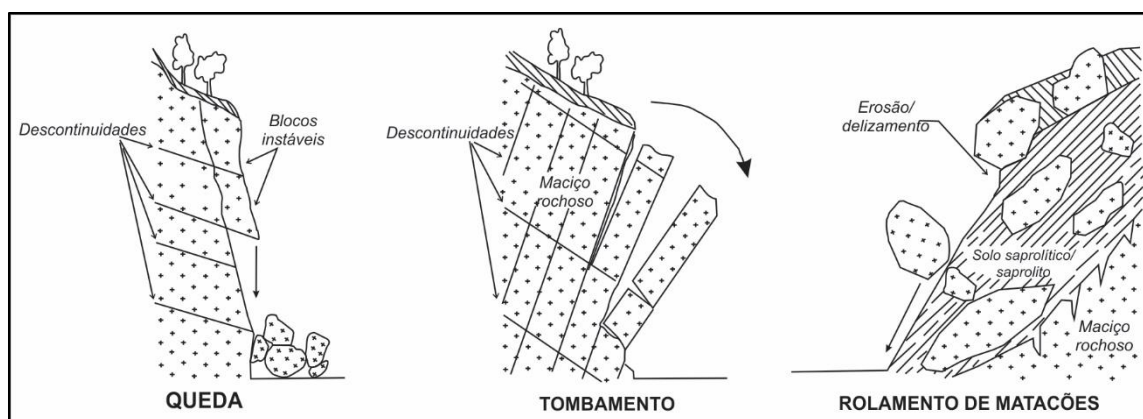
Esse tipo de movimento pode ser desencadeado por chuva intensa e/ou contínua ou rápido degelo que ocasionam a saturação do solo; o escoamento rápido de rios após enchentes; elevação do nível do lençol freático por conta do enchimento de represas ou aumento no nível de arroios, lagos e rios, que causam erosão na base das encostas podendo ocasionar escorregamentos. Esse tipo de escorregamento também pode ser induzido por terremotos. Para a previsão de uma ocorrência desse tipo de processo, assume-se que escorregamentos circulares podem ser reativados; fissuras no topo das encostas e degraus de abatimento são bons indicadores de início de ruptura (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

2.1.3 Quedas e Tombamentos de Blocos de Rocha

Queda de rochas é a queda de uma massa de rocha proveniente de um afloramento rochoso (VARNES, 1978; CRUDEN; VARNES, 1996). Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) resumem os movimentos de bloco de rochas em três tipos: queda, tombamento e rolamento de blocos de rocha.

De acordo com Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), queda de blocos envolve materiais rochosos de volumes e litologias diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se deslocam em movimentos do tipo queda livre. O segundo tipo é o tombamento de blocos que é o movimento que se dá pela rotação dos blocos rochosos, condicionado pela presença de estruturas geológicas no maciço rochoso, com grande mergulho. E, por fim, o rolamento de blocos é o movimento de blocos ao longo de rampas; esses blocos geralmente encontram-se parcialmente imersos em matriz de solo, destacando-se de encostas por perda de apoio. A Figura 5 apresenta os três tipos de movimento de blocos de rocha. Destaca-se o condicionamento de queda e tombamento de blocos por discontinuidades presentes no maciço rochoso.

Figura 5 - Quedas, tombamentos e rolamento de matacões



Fonte: Adaptação de Infanti Jr e Fornasi Filho (1998).

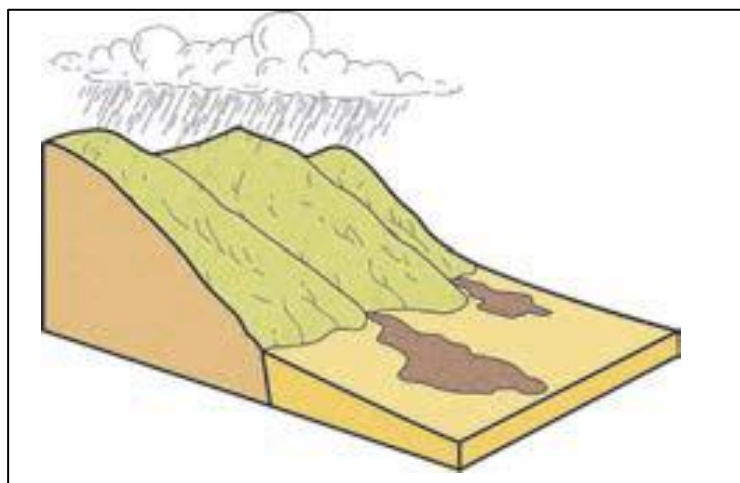
Entre as causas desse tipo de movimento, está a gravidade exercida pelo material da parte superior da massa deslocada, a água ou o gelo presentes em fissuras no interior da massa; além de vibração, erosão, condições climáticas diferenciadas, escavações ou erosões por cursos d'água (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

2.1.4 Corridas de Massa

Corridas de massa ou fluxo de detritos é o tipo de fluxo mais comum no Brasil. Correspondem ao deslocamento de uma massa de materiais inconsolidados que apresentam movimento contínuo semelhante ao de um fluido viscoso. Corridas de massa, no Brasil, são geralmente desencadeadas por um intenso fluxo de água na superfície, devido a chuvas intensas, que causam erosão e movimentam as rochas e o solo solto, nas regiões inclinadas (GUIDICINI; NIEBLE, 1983; TOMINAGA, 2009). Corridas de massa são comumente formadas a partir de outros tipos de escorregamentos ocorridos em áreas inclinadas e são quase que completamente saturadas, contendo uma enorme proporção de material de tamanho silte e areia (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

A Figura 6 apresenta um modelo esquemático de uma corrida de massa em que se destacam as precipitações intensas, muitas vezes, nas cabeceiras de uma bacia, que ocasionam uma série de escorregamentos nas encostas e que evoluem para uma corrida de massa, conduzindo solos, rochas ou detritos ao longo dos talwegues e drenagens, assim que há incremento de água, perda de coesão e ganho de velocidade (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Figura 6 - Modelo esquemático de um processo de corrida de massa



Fonte: (TOMINAGA, 2009).

Esse tipo de escoamento pode ser fluido e aquoso ou denso, com sedimentos e detritos. São geralmente limitados pela dimensão dos taludes em que ocorrem e que facilitam seu movimento descendente, entretanto, podem atingir áreas maiores

ao interceptarem drenagens de maior ordem. Quanto à velocidade de deslocamento, o movimento pode ser rápido a extremamente rápido, dependendo do tipo de material em transporte e da inclinação do terreno (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

2.2 FATORES CONDICIONANTES DE MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa ocorrem quando a resistência ao cisalhamento do solo ou rocha, por diversas razões, é excedida pelo estresse cisalhante sobre uma superfície relativamente contínua. Terzaghi (1967 apud NUMMER; PINHEIRO, 2013) definiu que as causas dos movimentos de massa podem ser internas, aquelas que diminuem a resistência ao cisalhamento do material, ou externas, aquelas que aumentam as tensões cisalhantes. Nessa mesma linha, Mariolakos (1991) destaca que há uma série de condições que resultam na diminuição da resistência do solo/rocha ou no aumento do estresse geoesférico que contribuem para a instabilidade.

A ocorrência de um movimento de massa é resultado da combinação de diversas características de uma região. Identificar e estabelecer uma relação entre os vários fatores que podem condicionar e causar a ocorrência de um movimento é fundamental para a adoção de medidas preventivas e corretivas voltadas a minimizar ou a evitar consequências negativas resultantes desse tipo de fenômeno. Devido ao caráter complexo desse processo, a análise geralmente fica pautada nos fatores que causaram movimentos passados e se assume que áreas de semelhantes características podem vir a desenvolver novos processos de movimento de massa.

Vedovello e Macedo (2007), com base em Varnes (1978), Guidicini e Nieble (1984) e Augusto Filho e Virgili (1998), compilaram os principais agentes condicionantes dos movimentos de massa (Quadro 4). Como agentes são considerados os elementos físicos, envolvidos diretamente nos mecanismos de rompimento e de movimentação dos materiais, que constituem a encosta e que atuam tanto na facilitação do fenômeno como na sua deflagração.

Quadro 4 - Fatores condicionantes dos movimentos de massa

AGENTES CONDICIONANTES DOS ESCORREGAMENTOS			
PREDISPONENTES		EFETIVOS	
Grupo ou tipo de condicionante	Características condicionantes	Preparatórios	Imediatos
Clima	-pluviosidade -temperatura -sazonalidade	-chuvas -variações de temperatura	-chuvas intensas e/ou contínuas -vento
Substrato	-tipo de material (rochas, solos, depósitos e sedimentos) -propriedades físico-químicas dos materiais	-dissolução química -erosão eólica e pluvial -presença de nascentes ou fontes	-fusão de gelo e neve -tremores de terra -vibrações
Relevo	-declividade -tipo do perfil da encosta -amplitude	de água, mananciais, e surgências d'água	produzidas por tráfego e explosões
Águas superficiais e subsuperficiais	-escoamento -infiltração -nível d'água -dinâmica e geometria do fluxo de água em subsuperfície	-oscilações do nível d'água subterrânea ou em subsuperfície -desmatamento -lançamento de lixo e entulho	-intervenções antrópicas inadequadas, como, por exemplo, cortes e aterros mal dimensionados
Vegetação	-cobertura e proteção superficial -evapotranspiração -ação radicular -peso	-remoção da cobertura vegetal -execução de cortes e aterros e deposição de materiais	-vazamentos nas redes de abastecimento de água, nas redes de esgoto e em fossas
Uso e ocupação da terra	-tipos de ocupação urbana -densidade de ocupação -agricultura -obras de engenharia	-concentração de águas pluviais e servidas	

Fonte: (VEDOVELLO; MACEDO, 2007).

Os agentes são subdivididos em predisponentes – quando determinam as condições iniciais que favorecem ou dificultam o rompimento e o movimento dos materiais, e em efetivos – quando alteram as condições originais dos materiais ou o equilíbrio inicial da encosta. Os agentes efetivos podem ainda ser diferenciados em preparatórios e imediatos (VEDOVELLO; MACEDO, 2007).

Os agentes efetivos preparatórios são aqueles que atuam de forma contínua e progressivamente modificam as condições de equilíbrio inicial, aumentam a suscetibilidade dos materiais a escorregamento; são, por exemplo, as chuvas, a erosão pluvial, as surgências de água, o lançamento de lixos e entulho, a remoção da cobertura vegetal, a execução de cortes e aterros e a deposição de materiais e concentração de águas pluviais e servidas (VEDOVELLO; MACEDO, 2007).

Os agentes efetivos imediatos são os que condicionam a deflagração do movimento e incluem chuvas intensas e/ou contínuas, derretimento de gelo e neve, tremores de terra, vibrações produzidas por tráfego e explosões, intervenções antrópicas inadequadas, como, por exemplo, cortes e aterros mal dimensionados e vazamentos nas redes de abastecimento de água, nas redes de esgoto e em fossas (VEDOVELLO; MACEDO, 2007). Conforme os autores, para o cenário climático e geológico-geotécnico brasileiro, as chuvas constituem o principal fator deflagrador de movimentos de massa.

O relatório da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (*UNESCO*) *Working Party for World Landslide Inventory* (WP/WLI), por sua vez, sugere que há quatro causas de movimentos de massa: física, geológica, morfológica e antrópica (WP/WLI, 1994). Esses fatores são também apresentados nos trabalhos de Cruden e Varnes (1996), Highland e Bobrowsky (2008) e Crude e VanDine (2013), por exemplo.

Os fatores físicos são os deflagradores dos movimentos e modificam as características físicas da encosta. Englobam as precipitações intensas, degelo, variações de maré e inundações, terremotos e erupções vulcânicas (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; CRUDEN; VANDINE, 2013).

As causas geológicas indicam o cenário em que um processo (ou processos) atua para preparar ou desencadear um deslizamento de terra. Englobam as características subsuperficiais e superficiais de rochas e solo, e requerem investigações tanto superficiais quanto subsuperficiais de uma encosta para determiná-las. Entre as causas geológicas de desenvolvimento de movimentos de

massa, estão a fragilidade e o intemperismo dos materiais, materiais cisalhados ou fissurados, descontinuidades primárias das rochas (acamadamento, xistosidade) e descontinuidades secundárias (falhas e contatos) orientados de maneira adversa e contrastes em permeabilidade e rigidez (densidade e plasticidade do material) (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; CRUDEN; VANDINE, 2013).

As causas morfológicas que condicionam o desenvolvimento de movimentos de massa, segundo Cruden e Varnes (1996) e Highland e Bobrowsky (2008), são o soerguimento tectônico ou vulcânico, recuo glacial, erosão fluvial, glacial ou por ondas no sopé da encosta, erosão subterrânea (*pipping*, dissolução), carga de deposição sobre a encosta ou sua crista e remoção da vegetação por seca ou incêndio florestal.

As causas artificiais compreendem as modificações humanas em uma encosta. Entre as causas antrópicas, estão escavações da encosta e sopé da encosta, uso de aterros instáveis para construção, sobrecarga de encosta e crista da encosta, rebaixamento e aterramento de reservatório, supressão da vegetação, irrigação, mineração, vibrações artificiais e lançamento de águas servidas (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; KANUNGO et al, 2009; CRUDEN; VANDINE, 2013). A ação antrópica ainda é citada por Dai, Lee, Ngai (2002) e por Kanungo et al (2009) como importante causa deflagradora dos movimentos de massa. À medida que o desenvolvimento se expande em áreas instáveis de encostas, sob as pressões do aumento da população e da urbanização, atividades humanas como o desmatamento ou a escavação de encostas para cortes de estradas e para construção de moradias tornam-se importantes desencadeadores de movimentos de massa (DAI; LEE; NGAI, 2002).

Os principais fatores que condicionam os movimentos de massa com vítimas fatais na América Latina, conforme Sepúlveda e Petley (2015), são declividade, precipitações intensas e densidade da população. Augusto Filho e Virgili (1998) apontam os principais condicionantes de deslizamentos e processos correlatos na dinâmica ambiental brasileira. São eles:

- Características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico;
- Características e distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc);

- Características geomorfológicas, com destaque para inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas (retilíneo, côncavo, convexo);
- Regime das águas de superfície e subsuperfície;
- Características do uso e ocupação, incluindo cobertura vegetal e diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros, concentração de águas pluviais e servidas.

Para Porto Alegre, por meio de retroanálise, Brito (2014) definiu que as áreas com maior ocorrência de escorregamentos apresentam encostas com declividades acima de 30%, na litologia Granito Santana, até uma distância de 400m de lineamentos estruturais e ocupadas irregularmente.

2.3 ANÁLISE DE ÁREAS PROPENSAS A MOVIMENTOS DE MASSA

O movimento de massa é um tipo de fenômeno natural em que a prevenção é quase sempre possível. Segundo Aste (1991), o primeiro passo para prever com sucesso este tipo de fenômeno é definir tipo, intensidade, extensão, ritmo e tempo de ocorrência e, então, avaliar o potencial de dano envolvido. O objetivo, visando ao gerenciamento dessas áreas, é definir as áreas do território que estão em perigo e avaliar o custo do dano previsto.

Os mapeamentos de risco são importantes para permitir aos tomadores de decisão escolher qual ação será tomada, seja ela técnica, administrativa ou legal, avaliando os avanços que serão oferecidos para a comunidade em risco. Presume-se, dessa forma, que a análise do fenômeno esperado e o risco sejam devidamente avaliados (ASTE, 1991).

Na literatura, encontram-se avaliações de áreas propensas a movimentos de massa em diferentes escalas (regional, local ou em um sítio específico). Os dados de saída sempre são em uma ou em mais formas, conforme segue: inventários de ocorrência e mapas de zoneamento de suscetibilidade, perigo ou risco e relatórios associados.

Fell et al (2008) destacam que o tipo de zoneamento e a escala de trabalho devem atentar para o propósito do trabalho, a quantidade e a qualidade das informações e dados disponíveis, o histórico da área de estudo, as ocorrências pretéritas de deslizamentos e de uso e ocupação, entre outros. O Quadro 5

apresenta os tipos e níveis de zoneamento recomendados e as escalas de trabalho mais adequadas para cada um dos mapeamentos.

Quadro 5 - Tipos e níveis de zoneamento recomendados e escalas de mapas relacionados ao zoneamento de deslizamentos

Objetivo	Tipo de Zoneamento				Nível de Zoneamento			Escalas de mapas aplicáveis
	Inventário	Suscetibilidade	Perigo	Risco	Preliminar	Intermediário	Avançado	
ZONEAMENTO REGIONAL								
Informativo	X	X			X			1:250.000 a 1:25.000
Consultivo	X	X	(X)		X	(X)		
Estatutário	Não é recomendado							
ZONEAMENTO LOCAL								
Informativo	X	X	X	(X)	X	(X)		1:25.000 a 1:5.000
Consultivo	(X)	X	X	X	X	X	X	
Estatutário		(X)	X	(X)		X	X	
ZONEAMENTO DE SÍTIO ESPECÍFICO								
Informativo	Não é recomendado							1:5.000 a 1:1.000
Consultivo	Não é utilizado normalmente							
Estatutário		(X)	X	X		X	X	
Projeto		(X)	(X)	X		(X)	X	

Notas: X = aplicável, (X) = pode ser aplicável

Fonte: Adaptação de Fell et al (2008).

Conforme Fell et al (2008), os zoneamentos de inventário são mais aplicáveis em escala regional para informação e consulta e em escala local para informação. Os zoneamentos de suscetibilidade são recomendados para zoneamentos regionais e locais, ambos com objetivo informativo e consultivo. O zoneamento de perigo é aplicado em escala local para fins informativos, consultivos e estatutários, além de estatutário para zoneamento de um sítio específico. Já os zoneamentos de risco são recomendados para zoneamentos locais e em sítio específico, com destaque de uso desse mapeamento para fins de projeto.

Nesta seção, serão abordados os conceitos de suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco.

2.3.1 Análise de Suscetibilidade

Suscetibilidade a movimentos de massa é entendida como a propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área (CPRM; IPT, 2014). Entretanto, ela pode contemplar os processos naturais e induzidos como definido pelo Manual para Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios (BRASIL; IPT, 2007), ou pode ser entendida apenas como uma “característica inerente ao meio, representando a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa” (RECKZIEGEL, 2012).

Riffel, Guasselli e Bressani (2016) destacam que a suscetibilidade está ligada apenas ao sistema natural, sem levar em consideração as modificações antrópicas sobre o ambiente natural, corroborando com a conceituação apresentada por Reckziegel (2012). Para Chalkias, Ferentinou e Polykretis (2014), a suscetibilidade a movimentos de massa é a propensão de solo ou rocha de desenvolver vários tipos de movimentos de massa.

A suscetibilidade é geralmente expressa em mapas que são desenvolvidos para auxiliar nos planos de mitigação de risco e na seleção de áreas favoráveis para locação das construções. Um mapa de suscetibilidade a movimentos de massa apresenta as áreas com potencial para ocorrência de escorregamentos no futuro, a partir da combinação de alguns fatores críticos e das ocorrências pretéritas (CHALKIAS; FERENTINOU; POLYKRETIS, 2014).

Cascini (2008) salienta que é importante considerar o nível do mapeamento, o resultado desejado, a escala de trabalho e os dados de entrada disponíveis. A escolha do método depende da escala e do nível de trabalho, da qualidade e da acurácia dos dados de entrada e da aplicabilidade dos procedimentos. Entender quais são os fatores que estão controlando e condicionando a ocorrência de movimentos de massa é fundamental para que o mapeamento de suscetibilidade considere os parâmetros corretos e não gere dados confusos ou mesmo errôneos.

Normalmente, os mapeamentos de suscetibilidade são realizados em nível regional e local, em escala pequena a média, e com fins informativos e consultivos (FELL et al, 2008). Dessa forma, o mapa de suscetibilidade insere-se em um programa de gestão de risco como um primeiro produto cartográfico, com finalidade de orientar o ordenamento e o gerenciamento territorial, destacando as áreas com

maior propensão de desenvolvimento de algum processo natural que possa gerar áreas de risco, caso venham a ser ocupadas.

Neste trabalho, suscetibilidade é entendida como a propensão natural de desenvolvimento de movimentos de massa em uma área, que é resultado das características naturais do meio.

2.3.2 Análise de Perigo (*Hazard*)

Perigo é um evento físico com potencial de causar danos, que pode ser de origem natural ou decorrente da atividade humana e que pode resultar em perda de vidas ou de propriedade, em pessoas afetadas, em ruptura socioeconômica e em degradação ambiental. Os perigos incluem condições latentes que podem representar ameaças futuras e que podem ter origens diferentes: naturais (geológicas, morfológicas, hidrometeorológicas e biológicas) ou induzidas por processos humanos (degradação ambiental e riscos tecnológicos). Os perigos podem ser únicos, sequenciais ou combinados na sua origem e efeitos. Cada perigo é caracterizado pela sua localização, intensidade, frequência e probabilidade (UN/ISDR, 2004).

Conforme Van Westen, Van Asch e Soeters (2006), o perigo é expresso como a probabilidade de ocorrência em um período de referência, sendo função da probabilidade espacial (relacionado a fatores ambientais estáticos, tais como declividade, resistência dos materiais e profundidade) e da probabilidade temporal, relacionada indiretamente a alguns fatores ambientais estáticos tais como declividade, condutividade hidráulica e diretamente a fatores dinâmicos como precipitação e escoamento.

Embora Van Westen, Van Asch e Soeters (2006) salientem que o perigo está relacionado à probabilidade espacial e temporal de ocorrência de um evento, a maioria dos mapas de perigo é ainda de natureza qualitativa, concentrados basicamente na determinação da suscetibilidade, que não deixa de ser uma indicação relativa de probabilidade espacial ao desenvolvimento de um processo. Determinar a probabilidade temporal é frequentemente impossível, devido à ausência de registros históricos de deslizamentos efetivamente relacionados aos principais eventos deflagradores dos movimentos (histórico da precipitação, terremoto, por exemplo), escassez dos dados de entrada e ausência ou insuficiência

de séries históricas de observação dos eventos deflagradores. Essas dificuldades para se obter um mapa de perigo estão refletidas também no que tange à obtenção de mapas de risco, que são dependentes do mapa de perigo.

No Brasil, o perigo é definido excluindo a variável temporal. Destaca-se o conceito apresentado por Brasil e IPT (2007), isto é, o perigo como condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável. Castro (2008), no Glossário de Defesa Civil, por sua vez, define perigo como qualquer condição potencial ou real que pode vir a causar morte, ferimento ou dano à propriedade. Para Robaina e Oliveira (2013, p.27), perigo é definido como “um evento, processo, ação ou fenômeno que pode causar danos à propriedade, perturbação social e econômica e até perdas de vidas”.

Wiggers (2013) destaca que o perigo possui relação com a suscetibilidade; as áreas suscetíveis a fenômenos naturais da dinâmica superficial, uma vez habitadas, “oferecem perigo para a população, ou seja, oferecem condições potenciais ou reais de perdas e danos econômicos e sociais”. Uma área de perigo, portanto, é aquela área com suscetibilidade de ocorrência de algum processo que possa atingir e causar dano a alguma pessoa ou comunidade, que habita esta área.

Por perigo entende-se, então, um evento físico que pode causar danos à propriedade, perturbação social e econômica e até perdas de vidas, podendo ser de origem natural ou decorrente da atividade humana.

2.3.3 Análise de Vulnerabilidade

Vulnerabilidade é definida, pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres Naturais, como as condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade frente ao impacto de um perigo. Pode ser ainda considerada como a capacidade de as pessoas lidarem com os perigos (UN/ISDR, 2004).

O Ministério das Cidades, no Brasil, entende a vulnerabilidade como o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo (BRASIL; IPT, 2007).

Castro (2008), no Glossário de Defesa Civil, define a vulnerabilidade como uma condição intrínseca ao corpo ou a um sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em

termos de intensidade dos danos prováveis. É a relação existente entre a magnitude da ameaça, caso ela se concretize, e a intensidade do dano consequente. Corresponde ao nível de insegurança intrínseca de um cenário de desastre a um evento adverso determinado, sendo abordada como o inverso da segurança.

Veyret (2015, p.24) define vulnerabilidade como a medição dos impactos danosos de um perigo sobre os alvos afetados. Veyret (2015, p.40) salienta ainda que alguns fatores como o uso do solo e o tipo de construção devem ser considerados ao se avaliar o dano máximo que uma residência pode sofrer. Exemplificam-se esses fatores com o caso de uma inundação em que uma casa de madeira sobre palafitas apresenta menor vulnerabilidade do que uma casa de alvenaria ao nível do solo. A memória do risco, ou seja, o conhecimento de crises e catástrofes passadas, e a ausência ou a existência de educação para o risco e de preparação para a crise, são fatores que modificam o grau de vulnerabilidade de uma comunidade. Para a autora, a vulnerabilidade está relacionada à resiliência, que é a capacidade de um sistema de se adaptar às mudanças resultantes de uma crise e de melhorar sua capacidade de resposta tendo em vista catástrofes futuras.

A avaliação de vulnerabilidade envolve o entendimento da interação entre o processo e os elementos afetados por esse processo. Essa avaliação pode ser muitas vezes subjetiva e amplamente pautada em registros históricos. O grau de vulnerabilidade dos elementos em risco depende das características do movimento de massa e a resistência técnica das construções, tais como tipo, natureza e idade (DAI; LEE; NGAI, 2002).

Van Westen, Castellanos e Kuriakose (2008) salientam que as informações dos elementos de risco, fundamentais para o mapeamento de vulnerabilidade, podem apresentar-se em diferentes níveis, dependendo, mais uma vez, da escala de trabalho abordada. Entre os elementos mapeáveis estão as construções (número de construções, tipo, idade, tipo de fundação, qualidade da construção), as redes de transporte, dados da população (densidade demográfica, escolaridade, renda), dados econômicos (PIB, renda per capita, emprego). Essas informações podem ser levantadas a partir de banco de dados cadastrais, informações censitárias preexistentes e, em alguns casos, com o auxílio de imagens de satélite e sensoriamento remoto (VAN WESTEN; CASTELLANOS; KURIAKOSE, 2008).

A avaliação de vulnerabilidade pode ser realizada, entretanto, com um foco mais socioeconômico, social ou mesmo humano, sem considerar o processo natural tão somente. Cunico e Oka-Fiori (2014), por exemplo, afirmam que:

O conceito de 'vulnerabilidade' comporta a relação humana, física e social, assumindo assim, uma perspectiva holística e eminentemente complexa. A vulnerabilidade deve, portanto, considerar os aspectos físicos, ambientais, técnicos, dados econômicos, psicológicos, sociais, políticos; entre outras palavras, não deve ser somente definida por meio de um índice científico ou técnico, mas devem ser inseridos na análise outros aspectos, tal como a capacidade de resposta institucional, que muitas vezes não é adequada à situação de risco vivenciada ou a uma crise existente.

Por fim, cabe destacar que, embora a vulnerabilidade seja uma importante variável na avaliação de risco de uma dada área, a modelagem e a avaliação da vulnerabilidade da população e suas construções frente a um movimento de massa ainda apresenta alta complexidade (UZIELLI et al., 2008). Van Westen, Van Asch e Soeters (2006) salientam que determinar a vulnerabilidade dos elementos em risco pode ser problemático e o processo demorado, especialmente, por ausência de informações sobre danos e pela dificuldade de mensurar e prever a magnitude de um possível deslizamento, já que depende da magnitude do evento deflagrador e das condições ambientais no momento do evento. No Brasil, onde as construções não apresentam um padrão mínimo de qualidade de construção, nem tão pouco homogeneidade na distribuição lateral das construções, essa tarefa torna-se difícil e desafiadora.

Vulnerabilidade, portanto, é entendida como a condição dos elementos expostos ao perigo, relacionada aos prejuízos de um tipo específico de processo sobre uma dada comunidade e à capacidade dessa comunidade em resistir ao perigo.

3.3.4 Análise de Risco

Varnes (1984) define risco como o número esperado de mortes, pessoas feridas, danos materiais e perturbação da atividade econômica devido a um fenômeno danoso em uma determinada área em um referido período. Para Van Westen, Van Asch e Soeters (2006), quando está se lidando com perdas físicas, especificamente, o risco pode ser quantificado como um produto da vulnerabilidade,

da quantidade de elementos em risco e da probabilidade de ocorrência de um evento de determinada magnitude/intensidade.

O Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres Naturais define risco como a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas (mortes, lesões, propriedade, meios de subsistência, atividade econômica interrompida ou ambiente danificado) resultantes de interações entre perigos naturais ou humanos e condições vulneráveis (UN/ISDR, 2004). Para o Ministério das Cidades (BRASIL; IPT, 2007), risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade.

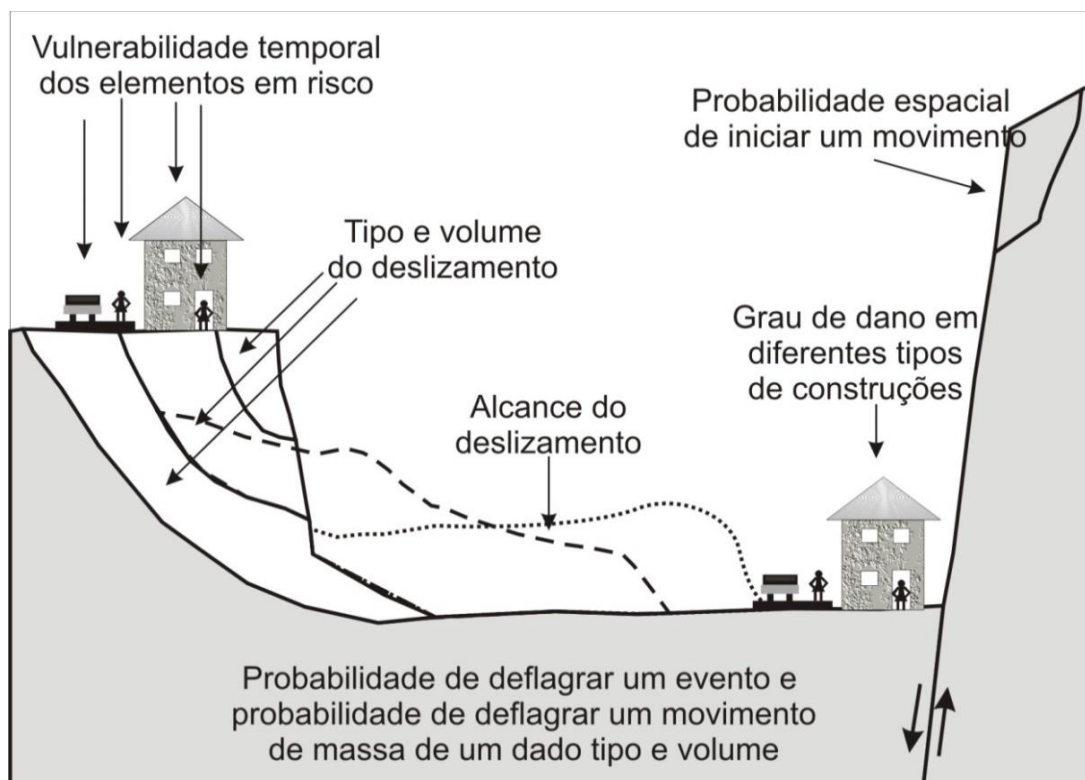
Risco, para Veyret (2015, p.24), é a percepção de um perigo possível, mais ou menos previsível, por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto a tal perigo. Risco designa, ao mesmo tempo, tanto um perigo potencial quanto a sua percepção e indica uma situação percebida como perigosa na qual se está ou cujos efeitos são sentidos (VEYRET, 2015, p.25).

Os mapeamentos de risco são executados no mundo todo e de forma geral são calculados de forma a relacionar o perigo, a vulnerabilidade e os danos e as consequências sobre os elementos em risco. Entretanto, há muitas dificuldades envolvidas no cálculo do risco, que começa já na obtenção dos parâmetros de perigo e vulnerabilidade, como visto nas seções anteriores. A Figura 7, adaptada de Van Westen, Van Asch e Soertes (2006), ilustra algumas das dificuldades envolvidas no cálculo do risco a movimentos de massa, especialmente, quanto ao cálculo da vulnerabilidade.

Nesse esquema, há a representação de duas construções (elementos em risco) que possuem diferentes vulnerabilidades uma vez que estão localizados geograficamente em posições distintas. Logo, podem ser afetados por diferentes tipos de movimentos de massa e em diferentes formas (ruptura e impacto). A vulnerabilidade é determinada pelo tipo de construção (material das construções, tipo de fundação) que determina a capacidade de uma construção de resistir ao impacto e à erosão. De acordo com o uso, a estrutura e o tamanho, o valor das construções será diferente. No cálculo, cada uma das construções terá um valor diferente para um mesmo perigo. Quando calculado o risco para as pessoas, a vulnerabilidade considerada será tanto para as pessoas nas construções quanto

para as pessoas que se encontram externamente em locais de risco (VAN WESTEN; VAN ASCH; SOERTES, 2006).

Figura 7 - Elementos a serem considerados na avaliação de risco a movimentos de massa



Fonte: Adaptação de Van Westen, Van Asch e Soertes (2006).

Na concepção teórica do presente trabalho, o perigo é representado pela probabilidade espacial de ocorrência de um evento com potencial para causar dano a uma comunidade e está relacionado aos fatores naturais e antrópicos que condicionam o processo. A vulnerabilidade e os danos e consequências são referentes aos elementos expostos ao perigo e buscam fornecer a informação do prejuízo associado a um tipo específico de processo sobre uma dada comunidade e definir qual a capacidade dessa comunidade em resistir ao perigo. O risco, então, é produto do perigo, da vulnerabilidade e das consequências sobre os elementos em risco.

2.4 EMPREGO DAS GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DE ÁREAS DE RISCO

As últimas décadas foram marcadas por um rápido desenvolvimento nas ferramentas digitais tais como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Processamento Digital de Imagem (PDI), Fotogrametria Digital e Sistemas de Posicionamento Global (GPS) (VAN WESTEN; CASTELLANOS; KURIAKOSE, 2008). Essas ferramentas permitiram o avanço e a automatização de muitos processos nas Geociências, especialmente, no tocante à geração de mapas e no cruzamento e na integração de informações espaciais. Atualmente, praticamente todas as pesquisas de suscetibilidade a movimentos de massa e mapeamentos de perigo e risco utilizam ferramentas digitais para o manuseio de dados espaciais. Os autores (op. cit) consideram que os avanços, especialmente em SIGs, determinam o atual estado da arte dos mapeamentos de suscetibilidade a movimentos de massa e as avaliações de perigo e risco.

O levantamento de Wu et al (2015), sobre as tendências globais em pesquisas sobre deslizamentos, mostra que a suscetibilidade a movimentos de massa é o assunto mais pesquisado e que SIGs e Sensoriamento Remoto despontam como as principais tecnologias utilizadas nas pesquisas sobre movimentos de massa, atualmente.

De acordo com Alexander (2008), o desenvolvimento dos SIGs e de técnicas de sensoriamento remoto permitiu uma mudança de enfoque nos estudos sobre movimentos de massa. Até então, os trabalhos estavam focados na classificação e na taxonomia dos processos, bem como nos mecanismos de ruptura, estando restritos muito mais aos trabalhos de engenharia, que consideravam os deslizamentos de forma pontual. Com o advento dos SIGs, os estudos puderam ser realizados com muito mais acurácia, de maneira mais rápida e com redução de trabalho manual. Os estudos de âmbito regional passaram a ter maior significância e se buscou privilegiar também dados de magnitude e frequência.

Alexander (2008) destaca ainda que os estudos de movimentos de massa apresentaram bons avanços no conhecimento dos processos, no desenvolvimento de técnicas diretas e no sensoriamento remoto de monitoramento das áreas. Ressalta ainda as melhores e mais consistentes referências dos movimentos de massa no espaço geográfico, além de se conhecer e espacializar ocorrências em todas as partes do mundo.

Quanto aos processos de classificação e de entendimento dos movimentos no contexto urbano, de infraestrutura e ambiental, Alexander (2008) enfatiza que os progressos foram modestos. Os SIGs contribuíram muito para o entendimento do movimento de massa como um perigo, mas muito pouco no entendimento como desastre, isso porque se tem um uso extensivo de SIGs no entendimento do fenômeno a nível regional, mas muito pouco no ambiente urbano (ALEXANDER, 2008).

Assim como enfatizado por Alexander (2008), no que se refere ao pouco uso dos SIGs nos estudos de detalhe, Fell et al (2008) sinalizam que os levantamentos de risco em grande escala e em escala de detalhe carecem ainda de avanços na automatização dos processos para, assim, privilegiar análises quantitativas, de base estatística e probabilística, em detrimento de análises qualitativas. Essa mudança de abordagem tende a reduzir a subjetividade das análises ora baseadas na experiência e no conhecimento do especialista. As geotecnologias, nesse sentido, devem ser melhor exploradas, especialmente, nas avaliações de risco, em que a variável vulnerabilidade deve ser considerada.

Além dos SIGs, o desenvolvimento de aplicativos do suíte do Google como Google Earth e Google Street View permitiu o acesso gratuito a imagens de satélite e a fotografias aéreas, em uma plataforma de interface simples e interativa, em um ambiente georreferenciado (TOOTH, 2015). A grande vantagem no uso do aplicativo Google Earth, segundo Tooth (2015), é o acesso a um banco de dados de imagens atualizadas regularmente, capturadas nos últimos anos praticamente em todo o mundo e a possibilidade de buscar as imagens históricas. O Google Street View, por sua vez, é uma extensão da plataforma Google Earth, que fornece imagens panorâmicas, capturadas ao nível do solo e das ruas em uma visão horizontal de 360° e vertical de 290° (ANGUELOV et al., 2010; RUNDLE et al., 2011).

Com o uso dessas ferramentas geotecnológicas pode-se citar o trabalho de Nucci, Ferreira e Valaski (2014), em que o Google Street View foi utilizado para reconhecimento de características da paisagem para o mapeamento da cobertura do solo em escala de detalhe. Sobre o Google Street View, cabe destaque ainda o trabalho de Rundle et al (2011) que aponta para o aplicativo como uma eficiente ferramenta para coleta de dados de características físicas e urbanas do meio e, entre as vantagens do uso dessa geotecnologia, os autores citam: menor custo e simplificação de logística, quando comparados com os levantamentos *in loco*;

facilidade na supervisão e no controle de qualidade, e a segurança quando os trabalhos são realizados em áreas de alta criminalidade cujo acesso é perigoso.

O uso dos aplicativos da Google é enfatizado ainda por Boardman (2016), por exemplo, que utilizou as ferramentas disponíveis no Google Earth para o mapeamento de erosões em West Sussex, no sul da Inglaterra. Entre as vantagens elencadas pelo autor, estão a redução de tempo e de custo nos levantamentos de erosão e a possibilidade de cobertura de áreas maiores que, em campo, ficariam mais de 50% descobertas, pois despenderia muito mais tempo.

Van Westen, Castellanos e Kuriakose (2008) apresentam uma listagem de informações utilizadas para os mapeamentos de suscetibilidade, perigo e risco. Essa listagem traz inventários de ocorrências, fatores ambientais (geomorfologia, geologia, solos, etc), fatores deflagradores e elementos em risco como dados a serem organizados em SIGs, para modelagem de áreas propensas a movimentos de massa.

A Tabela 1 sumariza os dados críticos relevantes aos mapeamentos em escala de detalhe e a frequência ideal de atualização desses dados. Há a necessidade de atualização dos dados de forma contínua para o inventário de ocorrências, precipitação e temperatura/evapotranspiração. A hidrologia da encosta deve ser atualizada de forma diária e o monitoramento do movimento necessita de atualização mensal. Os fatores ambientais devem ter atualização semestral, anual e decenal, a depender do dado e de quanto cada informação varia, por exemplo, o uso da terra carece de atualização semestral por conta da dinâmica da ocupação, enquanto o tipo de solo ou a litologia pode ser atualizado com menor frequência. As informações relativas aos elementos em risco, por sua vez, deveriam ser atualizadas anualmente devido também à dinâmica da população/ocupação.

Um levantamento realizado por Brito (2014) a partir de 55 artigos publicados entre 2000 e 2013, nas principais revistas da área, revelou que declividade, geologia, uso do solo e cobertura vegetal, orientação das encostas, distância de cursos d'água, distância de lineamentos e distância de estradas são os fatores condicionantes de movimentos de massa mais utilizados nos modelos para suscetibilidade a movimentos de massa.

Tabela 1 - Principais fatores considerados nas modelagens em escala de detalhe de movimentos de massa e frequência de atualização do dado recomendada

Classe principal	Dado	Frequência de atualização
Inventário de Ocorrências	Inventário de Ocorrência	Contínuo
	Atividade do movimento	Decenal a anual
Fatores ambientais	Monitoramento do movimento	Mensal
	MDE	Anual
	Declividade/orientação da vertente	Anual
	Acúmulo de fluxo	Decenal
	Litologia	Decenal
	Estruturas	Decenal
	Falhas	Decenal
	Tipo de solo	Decenal
	Profundidade de solo	Decenal
	Hidrologia da encosta	Diário
	Uso da terra	Semestral
Fatores deflagradores	Mudanças no uso da terra	Semestral
	Precipitação	Contínuo
Elementos em risco	Temperatura/Evapotranspiração	Contínuo
	Construções	Decenal a anual
	Redes de transporte	Decenal a anual
	Facilidades essenciais	Anual
	Dados de população	Anual
	Dados econômicos	Anual

Fonte: Adaptação de Van Westen, Castellanos e Kuriakose (2008).

Nesse trabalho, foram utilizados fatores geológicos (distância de lineamentos), geomorfológicos (declividade e forma das vertentes) e antrópicos (densidade de ocupação e forma de ordenamento da ocupação) para a análise de áreas propensas a movimentos de massa. Esses fatores foram escolhidos a partir da revisão bibliográfica e considerando a disponibilidade de dados pré-existentes. As seções subsequentes exploram cada tema.

2.4.1 Fatores Geológicos

A geologia é um dos fatores principais nos modelos de suscetibilidade a movimentos de massa. Esse fator engloba as características subsuperficiais e superficiais de rochas e solos.

De acordo com Kanungo et al (2009), a litologia envolve composição, textura, grau de intemperismo, assim como outros detalhes que influenciam no comportamento físico-químico e de engenharia, tais como permeabilidade e resistência ao cisalhamento de rochas e solos.

Além da litologia, outro fator geológico importante no condicionamento de movimentos de massa, apontado pela bibliografia, diz respeito aos lineamentos, que correspondem às descontinuidades geológicas, tais como acamadamento, juntas e falhas, dobras e zonas de cisalhamento em encostas (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; KANUNGO et al, 2009; CRUDEN; VANDINE, 2013). A inter-relação de descontinuidades e encostas é muito importante particularmente nos movimentos de rocha, como quedas, deslocamentos e tombamento, para permitir o entendimento da ruptura.

Os lineamentos descrevem zonas ou planos de fraqueza, fraturas e falhas e, ao longo dessas zonas, a suscetibilidade a escorregamentos é maior. Observa-se que a probabilidade de ocorrência de escorregamentos aumenta com a proximidade dos lineamentos, que não só afetam a estrutura do material superficial como também contribuem para a permeabilidade do terreno causando as instabilidades nas encostas (KANUNGO et al, 2006). Áreas com ocorrência de lineamentos são apontadas como áreas preferenciais de fluxo de água e estão associadas a áreas intensamente intemperizadas (IETTO ET AL., 2016).

Para Brito (2014), o uso da variável distância de lineamentos como condicionante de área suscetível a movimentos de massa justifica-se porque “as zonas de falha e de cisalhamento constituem-se em importantes planos de fraqueza, uma vez que apresentam maior facilidade de infiltração de água, o que implica na redução da resistência da rocha, e portanto, do solo formado” (BRITO, 2014, p. 80).

Pourghasemi, Pradhan e Gokceoglu (2012) salientam que as falhas formam uma linha ou mesmo uma zona de fraqueza caracterizada por rochas intensamente fraturadas e que, geralmente, quanto maior a distância das estruturas tectônicas, menor é o número de deslizamentos registrados. Segundo os autores, a erosão

seletiva e o movimento da água pelos planos de falha são responsáveis por tal fenômeno.

2.4.2 Fatores Geomorfológicos

Os fatores geomorfológicos estão relacionados à forma da superfície. Neste trabalho, optou-se por utilizar parâmetros geomorfométricos primários (declividade, plano de curvatura e perfil de curvatura). Muñoz (2009) enfatiza que os fatores geomorfométricos mais conhecidos e utilizados nos estudos são, além de declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura, que serão utilizados neste trabalho, a amplitude e a orientação das vertentes.

A declividade é o ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal (VALERIANO, 2008). Seus valores podem variar entre 0° e 90°, embora seja mais comumente expressa em percentagem, de zero a infinito. A declividade corresponde à primeira derivada da elevação em relação à distância horizontal (MUÑOZ, 2009). Kanungo et al. (2009) enfatizam que a declividade tem um efeito direto no desenvolvimento de movimentos de massa de tipo gravitacional, uma vez que as forças gravitacionais são acentuadas com o aumento da declividade. Dessa forma, quanto maior a declividade, maior tende a ser a suscetibilidade a movimentos de massa.

O perfil de curvatura ou a curvatura vertical, refere-se às formas côncavas e convexas do terreno em uma análise de perfil. É paralela à declividade e indica a direção de máxima declividade. Afeta a aceleração e a desaceleração do fluxo pela superfície da encosta e está relacionada à migração e à acumulação de água, minerais e matéria orgânica no solo ao longo da superfície, sob ação da gravidade. Nas vertentes côncavas, os materiais tendem a fluir com maior aceleração, apresentando, assim, maior propensão a movimentos de massa. Valores negativos indicam que a superfície é convexa e que o fluxo é desacelerado. Valores positivos indicam que a superfície é côncava e que o fluxo sofre aceleração. O valor zero indica que a superfície é plana (VALERIANO, 2008, p. 90; ESRI, 2017).

O plano de curvatura ou curvatura horizontal é perpendicular à direção de máxima declividade e está relacionada à convergência e à divergência de um fluxo pela superfície. Os valores de saída são positivos, negativos ou zero e representam, teoricamente, a divergência, a convergência ou a linearidade dos planos,

respectivamente (ESRI, 2017). Os planos divergentes são mais estáveis que os convergentes, já que a água e a umidade também são importantes instabilizadores e desencadeadores de movimentos de massa. A curvatura do plano, quando associada a outras variáveis, como curvatura do perfil e declividade, de acordo com Hilberts et al. (2004), pode exercer importante controle sobre a vazante dos fluxos superficiais.

2.4.3 Fatores Antrópicos

As mudanças no uso da terra, como desmatamento, exploração dos recursos naturais e substituição das encostas vegetadas por áreas edificadas resultam em ocorrências de escorregamentos (KANUNGO et al, 2009). A ação antrópica é apresentada por diversos autores (DAI, LEE, 2002; KANUNGO et al, 2006; KANUNGO et al, 2009; HIGHLAND; VEDOVELLO; MACEDO, 2007; BOBROWSKY, 2008; TOMINAGA, 2009; CRUDEN; VANDINE; 2013) como um dos agentes condicionantes dos movimentos de massa.

Entre as alterações que o homem causa ao meio em seu processo de apropriação do espaço geográfico estão escavações da encosta, comumente com altas declividades, e sopé da encosta, uso de aterros mal executados e instáveis para construção, sobrecarga de encosta e crista da encosta, rebaixamento e aterramento de reservatório, supressão da vegetação e, muitas vezes, substituição da vegetação nativa por espécies inadequadas para encostas, irrigação, mineração, vibrações artificiais e lançamento e concentração de águas servidas (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; KANUNGO et al, 2009; TOMINAGA, 2009; CRUDEN; VANDINE, 2013; NUNES, 2015).

A ação antrópica desordenada que dá origem às áreas de risco no Brasil é contemporânea ao início do processo de urbanização do Brasil, nas décadas de 1940 e 1950. Sobre o processo de urbanização do Brasil, Ott (2004, p. 17) salienta que:

O processo de transformação do Brasil de um país rural para urbano foi essencialmente predatório e desigual gerando exclusão social da classe da população sem condições para adquirir terrenos em áreas próximas às áreas urbanas principais, ocupando em sua maioria, terrenos que deveriam ser protegidos para preservação das águas, encostas, fundos de vale entre outros.

Nunes (2015, p.15) destaca que a expansão dos centros urbanos é resultado da demanda de áreas e da restrição política que direciona o uso da terra. A forma de ocupação está associada *“à vulnerabilidade da população, pois em muitos casos esse avanço se dá em direção a ambientes frágeis, como florestas, encostas e mananciais”* (NUNES, 2015, p.15).

Dessa forma, o processo de ocupação dos espaços pelo ser humano de forma desigual, sem estudos geotécnicos pretéritos e sem qualquer orientação técnica, contribui para o surgimento de áreas de risco em áreas com propensão natural ao desenvolvimento de algum processo como escorregamento. Nunes (2015, p.14) enfatiza que as consequências negativas de um desastre, por vezes, podem estar mais associadas às formas de ocupação do que ao próprio processo desencadeador. Assim, os desastres naturais são resultado da interação do meio natural e da (des)organização e (des)estruturação da sociedade no território (LARED, 1993 apud NUNES, 2015, p.16).

Como fatores antrópicos que condicionam os movimentos de massa, Vedovello e Macedo (2007) trazem o tipo de ocupação urbana e a densidade de ocupação. Essas características indiretamente estão relacionadas a processos que influenciam mais ou menos no condicionamento dos movimentos de massa: autoconstrução, cortes e aterros mal executados; lançamento de lixo e entulhos; ausência de saneamento básico, acarretando em ausência de drenagem pluvial e no lançamento de águas servidas, entre outros.

2.5 ATUAÇÃO DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, empresa do Governo Federal ligada ao Ministério de Minas e Energia, integra o Programa Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres do Governo Federal, e desde 2011 vem sendo o responsável pelo mapeamento sistemático de áreas de risco geológico, classificadas como de muito alto e alto risco, relacionadas, principalmente, com movimentos de massa e inundações, em municípios brasileiros prioritários. Essa ação é uma resposta aos desastres decorrentes de eventos naturais que, nos últimos anos, causaram uma série de danos em todo o país e um atendimento ao inciso IV do artigo 6º da Lei nº 12.608 de 2012 que estabelece que “compete à União apoiar os

Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco” (BRASIL, 2012).

O Projeto “Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações” tem por objetivo:

A identificação, a delimitação e a caracterização de áreas ou setores de uma encosta ou planície de inundação sujeitas à ocorrência de processos destrutivos de movimentos de massa, enchentes de alta energia e inundações. Todo o acervo de dados é disponibilizado para órgãos e instituições do governo federal, de estados e de municípios que atuam na prevenção e no monitoramento de eventos climáticos catastróficos, visando contribuir para a redução dos danos e para a diminuição das perdas, de vidas e materiais, relacionados aos desastres naturais (CPRM, 2018a).

Para a setorização de risco a movimentos de massa, a metodologia consiste na avaliação em campo das áreas com registro pretérito de eventos ou aquelas áreas com potencial natural ou induzido de ocorrência de algum evento. São observadas características locais como declividade da encosta ou talude, exposição do solo e/ou tipo de cobertura vegetal, lançamento de águas servidas, condições de saneamento básico e evidências de instabilidade como o registro de rupturas pretéritas, presença de trincas no terreno, nas paredes das edificações, surgência de água na base da encosta, degraus de abatimento ou processo erosivo avançado. Em escritório, o trabalho é complementado com a análise de imagens aéreas e de satélites, dando uma visão mais ampla do terreno. A avaliação e a classificação do risco são feitas de forma heurística, baseadas nas observações de campo e nas percepções e experiências do pesquisador.

Os dados resultantes deste trabalho são disponibilizados em caráter primário para as defesas civis de cada município e os dados finais alimentam o banco nacional de dados do Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, ligado ao Ministério de Ciência e Tecnologia, que é o órgão responsável pelos alertas de ocorrência de eventos climáticos de maior magnitude que possam colocar em risco vidas humanas; e do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD, ligado ao Ministério da Integração Nacional, que entre algumas de suas atribuições, inclui monitoramento, previsão, prevenção, preparação, mitigação e resposta aos desastres, além de difusão de alertas nos estados e municípios.

Esse mapeamento foi realizado pela CPRM em 1320 municípios brasileiros (CPRM, 2018a). O mapeamento em Porto Alegre data de setembro de 2013 e identificou 118 setores de risco (CPRM, 2013).

O segundo projeto desenvolvido pela CPRM, no âmbito da prevenção de desastres naturais, é o projeto Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Teve início em 2012 como um documento cartográfico complementar ao Objeto 0602 do Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, incluído no Plano Plurianual 2012-2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Sua elaboração considera, entre outras referências, as diretrizes contidas no manual para zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco a deslizamento de Fell et al (2008).

O objetivo do projeto é “cartografar áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundação, classificadas como alto, médio e baixo, relacionadas, principalmente, com movimentos de massa e inundações, em municípios brasileiros priorizados pelo Governo Federal” (CPRM, 2018b). A abrangência é nacional e as escalas de trabalho são 1:50.000 para os municípios dos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima, e 1:25.000 para os demais estados da federação.

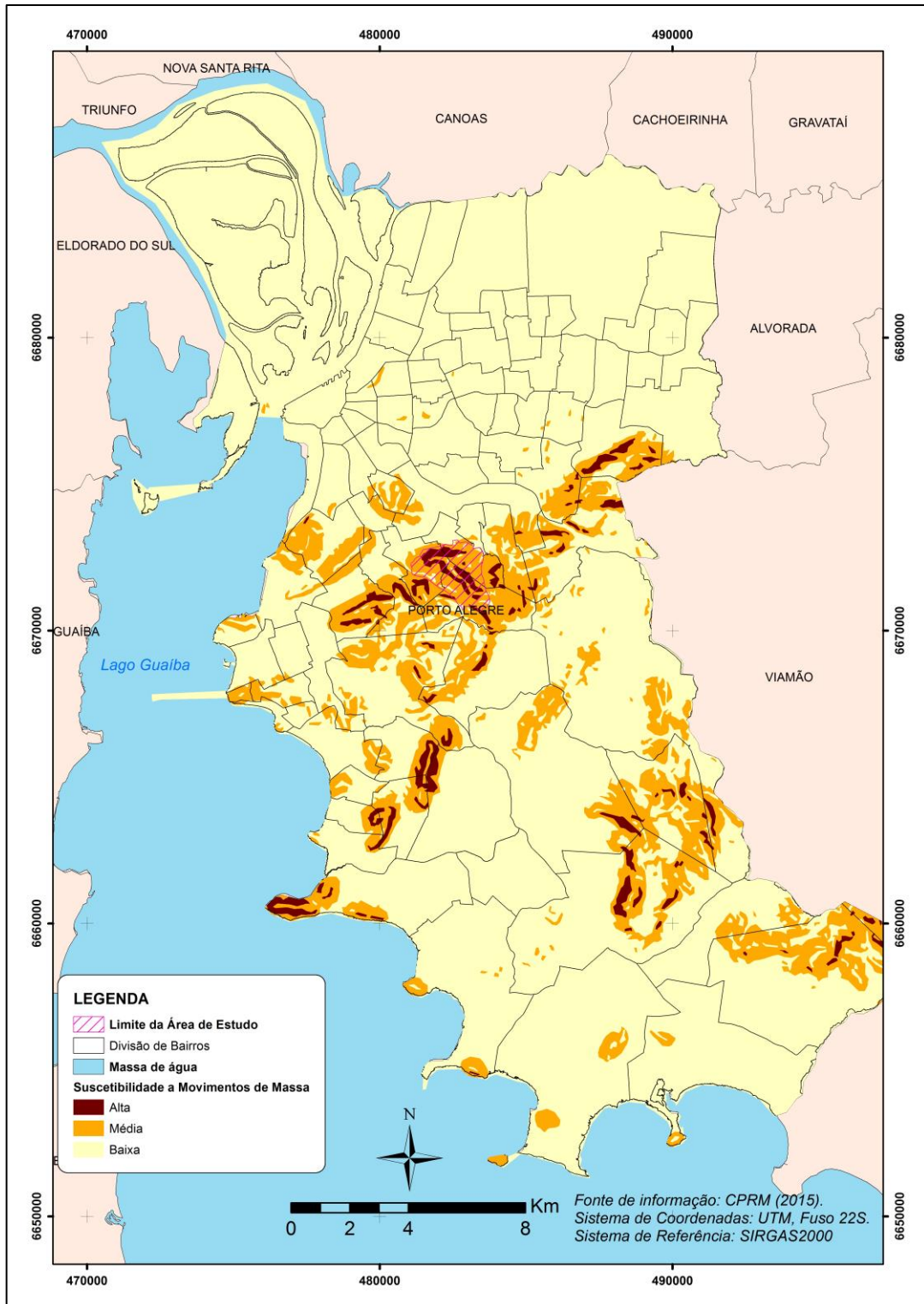
A metodologia empregada para a confecção das cartas é a modelagem estatística, uma vez que há disponibilidade restrita de dados temáticos e se tem a necessidade de mapeamento de abrangência nacional que permita a comparação entre as suscetibilidades das diferentes regiões (CPRM; IPT, 2014).

Os fatores condicionantes de movimentos de massa utilizados para a elaboração dos modelos de suscetibilidade foram declividade, curvatura da encosta e densidade de lineamentos estruturais (correlatos a fraturas, juntas, zonas de falhas e outras discontinuidades). Esses fatores são indicados pela literatura técnico-científica como associados à distribuição de cicatrizes, apresentam possibilidade de mapeamento dentro do escopo do projeto e refletem as características geomorfológicas, hidrológica-pedológicas e geológicas (CPRM; IPT, 2014).

A Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do município de Porto Alegre apontou 9,5km² de área de alta suscetibilidade a movimentos de massa, o que corresponde a 1,2% da área total do município; 82,5km² de área de média suscetibilidade a movimentos de massa, o que corresponde a 10,2% da área do município e 718,5km² de área de baixa

suscetibilidade, o que corresponde a 88,8% da área do município (CPRM, 2015). A carta de suscetibilidade a movimentos de massa, elaborada por CPRM (2015), é apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Carta de suscetibilidade a movimentos de massa de CPRM (2015)

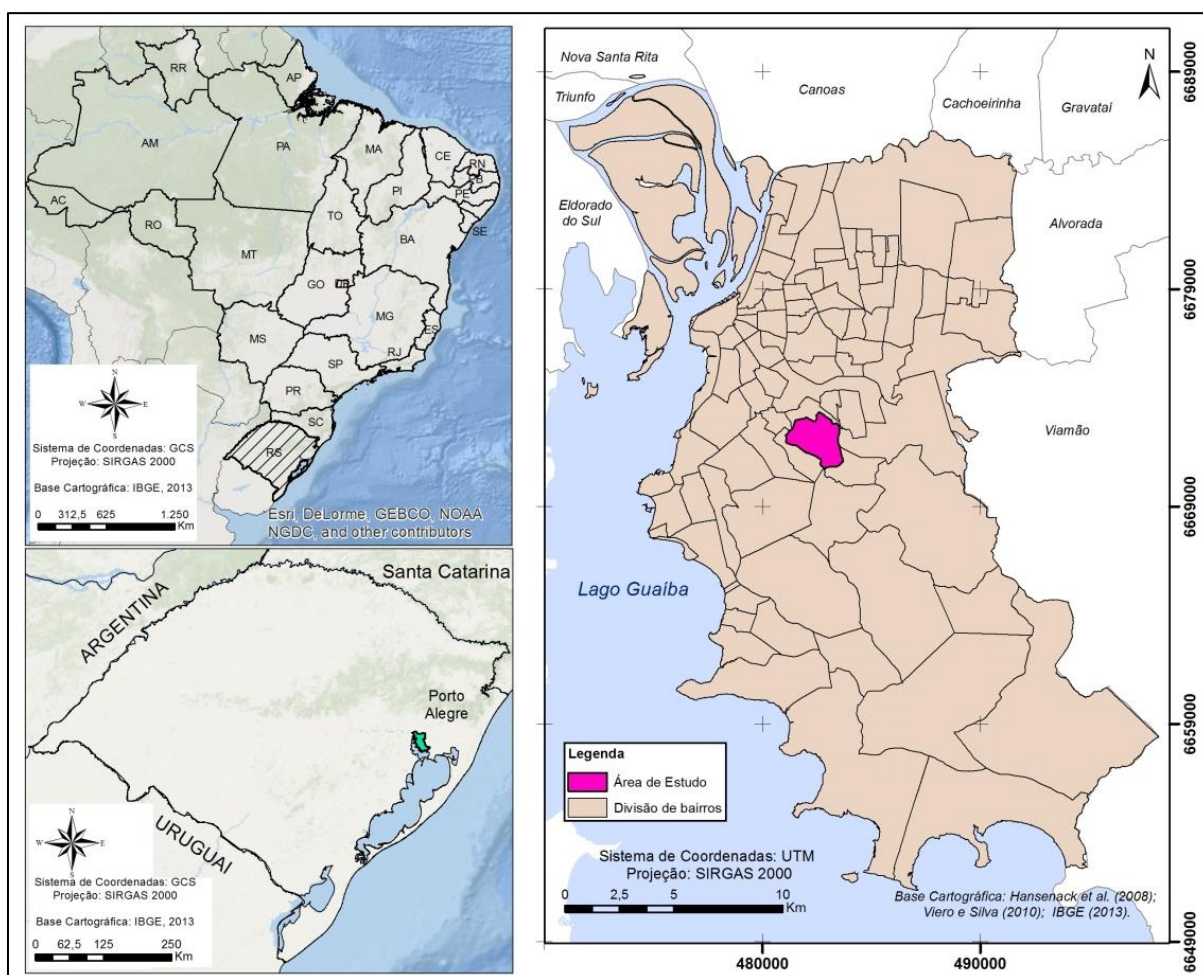


Fonte: Elaborada pela autora com base em CPRM (2015).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o Morro da Polícia, localizado na porção central do município de Porto Alegre, englobando os bairros Cascata, Glória e Coronel Aparício Borges (Figura 9). Porto Alegre é a capital do Estado do Rio Grande do Sul e está localizada na porção leste do estado, entre as latitudes $29^{\circ}55'S$ e $30^{\circ}16'S$ e longitudes $51^{\circ}01'W$ e $51^{\circ}17'W$. O município possui uma área total de 496,682 km² (IBGE, 2015) e se limita ao norte com os municípios de Canoas e Cachoeirinha; a noroeste com os municípios de Eldorado do Sul, Triunfo e Nova Santa Rita, a leste com Viamão e Alvorada; e a sul e a oeste com o Lago Guaíba.

Figura 9 - Localização da área de estudo

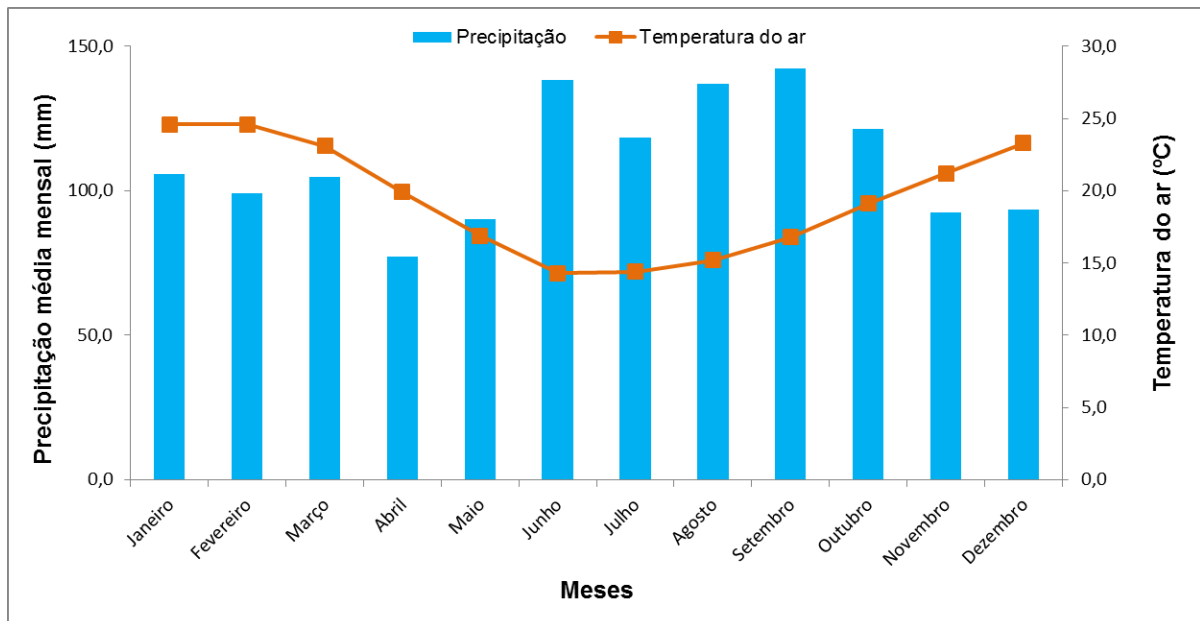


Fonte: Elaborada pela autora.

3.1 CARACTERÍSTICAS REGIONAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Porto Alegre apresenta clima classificado, conforme W. Köppen, como zona climática fundamental temperada (C), tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (Cfa), com precipitação pluvial bem distribuída ao longo do ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (MORENO, 1961). A precipitação média anual é em torno de 1320 mm (MORENO, 1961; LIVI, 2006; INMET, 2009), com boa distribuição ao longo dos meses. As quatro estações do ano também são bem marcadas com temperaturas médias abaixo dos 15°C e mínimas abaixo de 0°C nos meses mais frios (junho e julho), temperaturas amenas nos meses da primavera e do outono com médias entre 16 e 20°C e temperaturas médias acima de 23° no verão, com máximas podendo atingir 39°C (LIVI 2006; INMET, 2009). A Figura 10 apresenta a precipitação e a temperatura mensal média para o município de Porto Alegre-RS, baseadas nos dados do INMET (2009), entre os anos de 1961 e 1990.

Figura 10 - Temperatura mensal média e precipitação mensal média no município de Porto Alegre para o período de 1961 a 1990.



Fonte: Elaborada pela autora, com base em INMET (2009).

Fisiograficamente, o município apresenta altitudes que variam de 31 metros abaixo do nível do mar na Fossa de Itapuã até 311 metros acima do nível do mar no

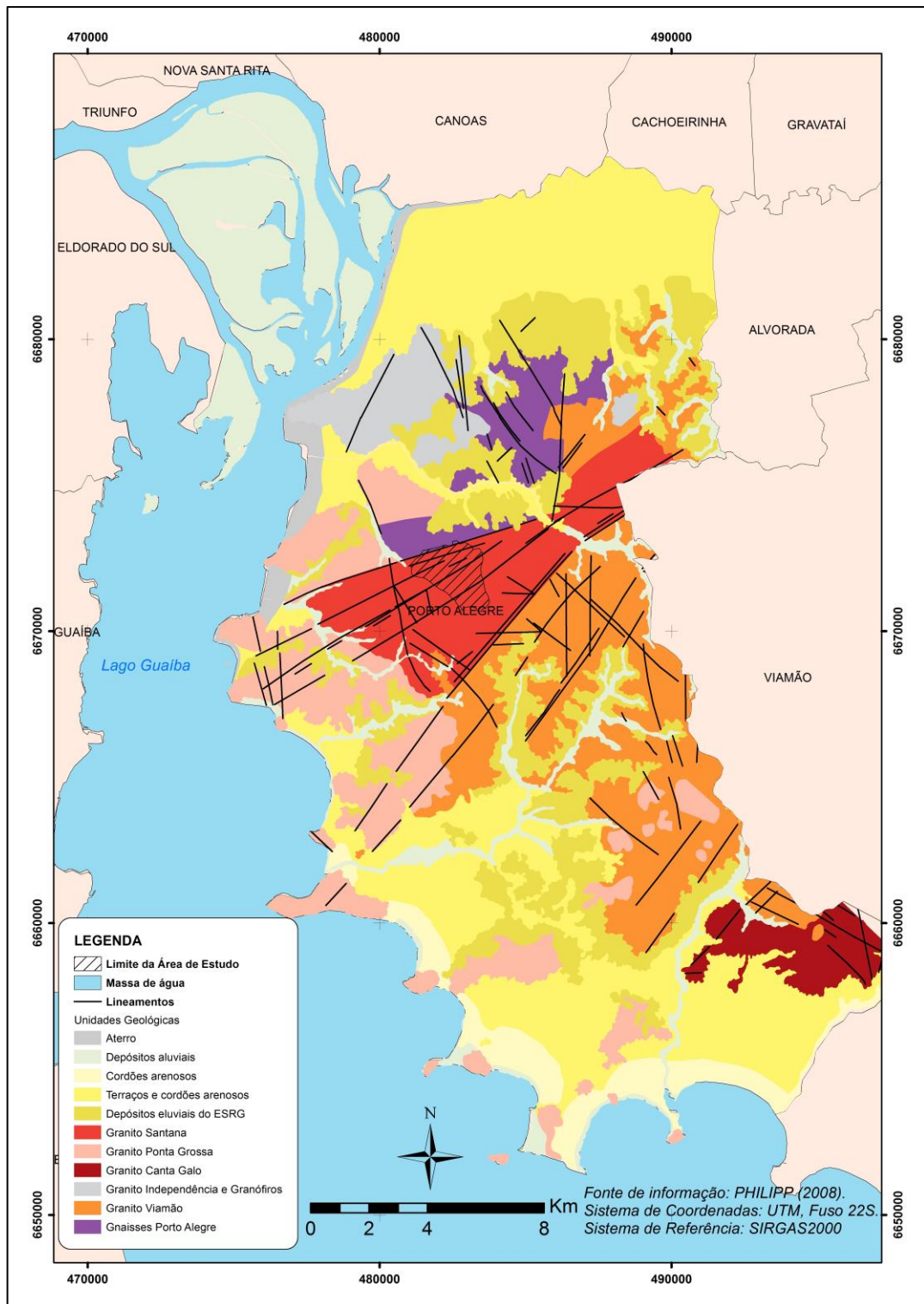
topo do Morro Santana (MENEGAT; HASENACK; CARRARO, 2006). No relevo da cidade, destacam-se áreas altas na forma de cristas de morros e morros isolados que ocupam 24% da área do município, além de colinas e áreas mais baixas formadas pelas ilhas fluviais do Delta do Jacuí, planícies e terraços fluviais vinculados à dinâmica atual do Rio Gravataí e arroios (e.g. Arroio Dilúvio, Arroio do Salso, Arroio Feijó e Arroio Lami), e cordões arenosos e terraços lacustres associados à dinâmica atual do lago Guaíba e remanescentes de ambiente marinho (MENEGAT; HASENACK; CARRARO, 2006).

Quanto ao contexto geológico, apresentado na Figura 11, Porto Alegre desenvolveu-se sobre terrenos pré-cambrianos, associados ao Cinturão Dom Feliciano – uma cadeia de montanhas formada por rochas da antiga crosta continental da Plataforma sul-americana, representada pelos Gnaisses Porto Alegre, e por corpos graníticos pós-colisionais pertencentes ao Batólito Pelotas. Esses terrenos pré-cambrianos são em parte recobertos por sedimentos terciários e quaternários provenientes da dinâmica marinha, fluvio-lacustre e das encostas (PHILIPP, 2008).

Os Gnaisses Porto Alegre são representados por gnaisses tonalíticos e granodioríticos, por vezes com presença de gnaisses dioríticos, com idade de 2,0 a 2,4 bilhões de anos. Podem ocorrer na forma de xenólitos nos corpos graníticos mais jovens. Os gnaisses são encontrados em áreas de relevo mais aplainado e estão intensamente afetados pela ação intempérica, formando perfil de alteração com espessuras entre 10 m e 35 m. Os granitos pertencentes ao Batólito Pelotas são os granitos Viamão, Independência, Canta Galo, Ponta Grossa e Santana. Foram formados em ambiente tectônico pós-colisional, entre 550 e 650 milhões de anos, durante o Ciclo Brasileiro (PHILIPP, 2008).

Os solos do município refletem as características geológicas-geomorfológicas do município. Schneider et al. (2008) definiram doze unidades de mapeamento de solo, sendo um grupo indiferenciado de solos, nove associações de solos, uma unidade de mapeamento simples e uma unidade de tipos de terrenos que correspondem aos solos alterados antropicamente, como aterros, remoções e terraplanagens. A Tabela 2 sintetiza as unidades de mapeamento de Schneider et al (2008) associando-as com as áreas de ocorrência. Na Figura 12, é apresentada a distribuição espacial das unidades de solo com base na classificação de Schneider et al (2008).

Figura 11 - Mapa geológico do município de Porto Alegre



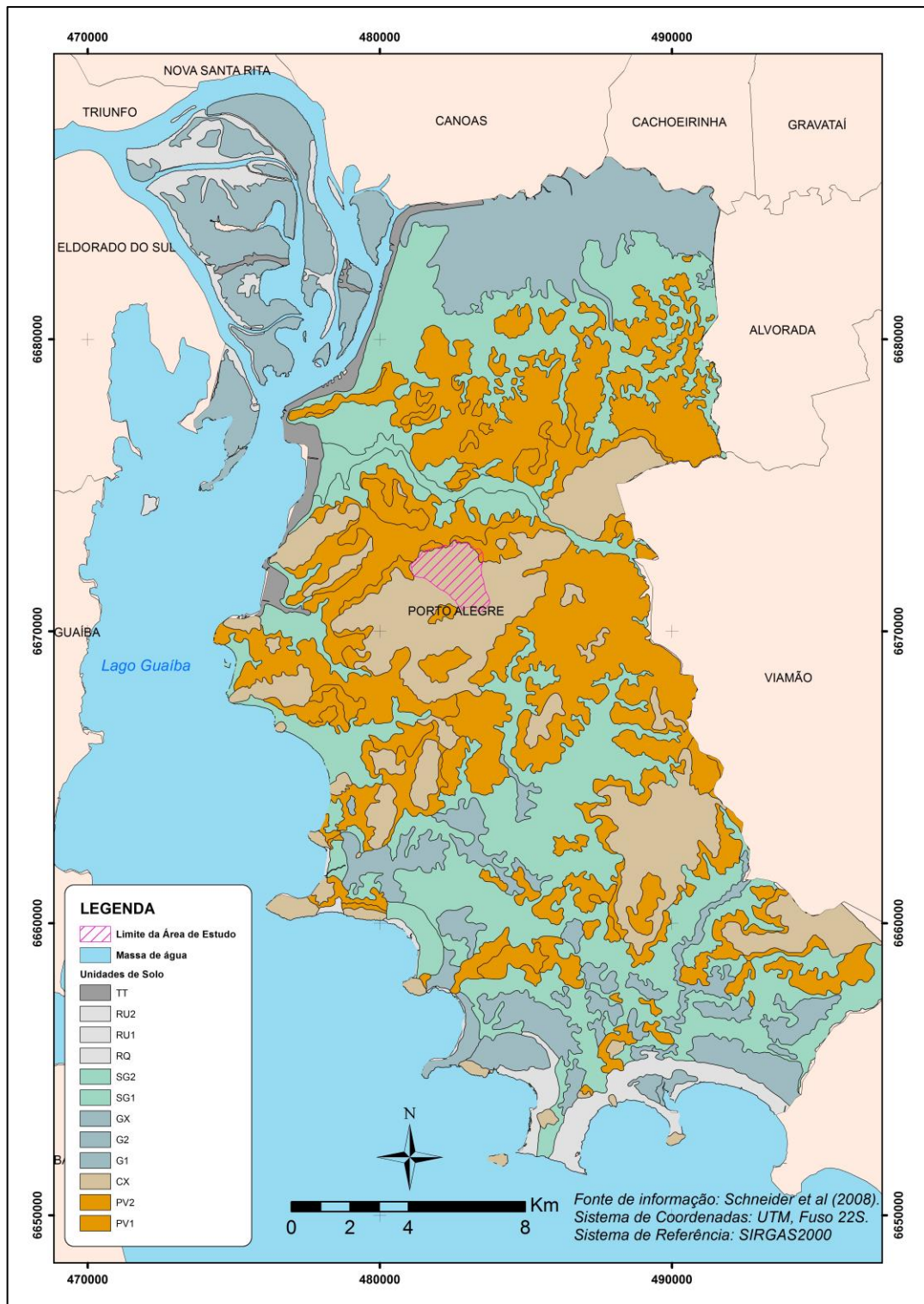
Fonte: Elaborado pela autora, com base em Philipp (2008).

Tabela 2 - Descrição geral das áreas de ocorrência das unidades de solo mapeadas no município de Porto Alegre.

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

Fonte: Adaptação de Schneider et al (2008, p.35).

Figura 12 - Mapa de unidades de solo do município de Porto Alegre

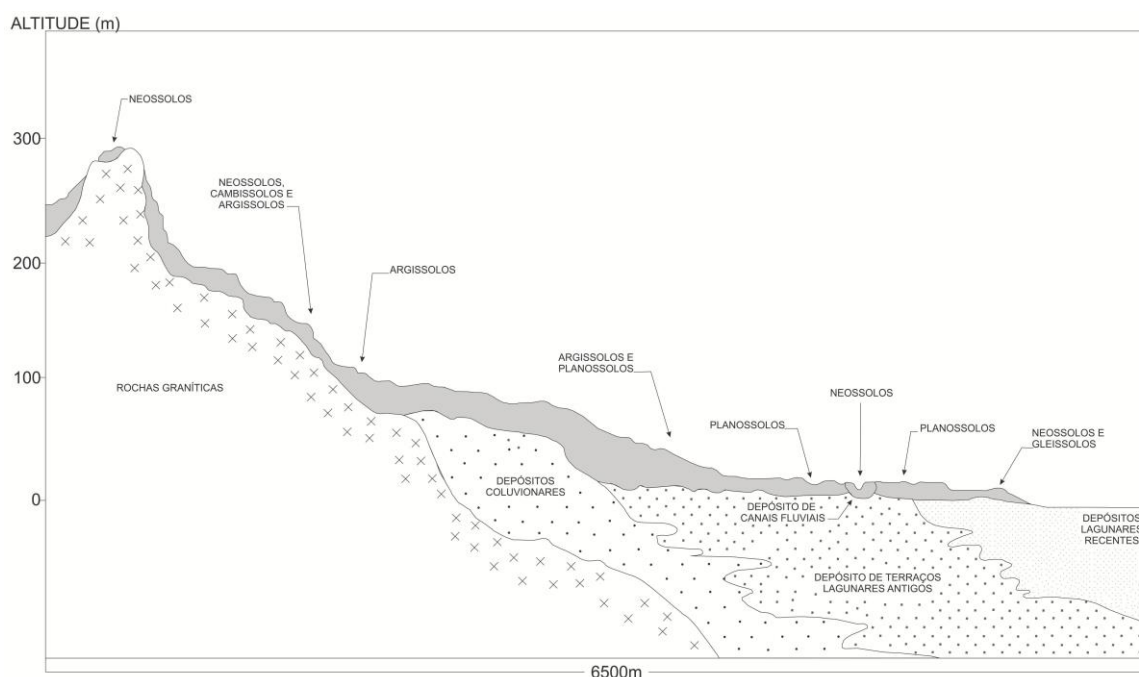


Fonte: Elaborado pela autora, com base em Schneider et al (2008).

Em uma topossequência hipotética do município de Porto Alegre, Valente (1999) representa os tipos de solos esperados em cada porção do perfil, desde o topo dos morros graníticos até o lago Guaíba (Figura 13). Os solos menos

desenvolvidos encontram-se nos topos e nas encostas dos morros, nas porções de maior declividade. Em direção à base da topossequência, com a diminuição da declividade, são esperados solos mais bem desenvolvidos como Argissolos e Planossolos. Associados à dinâmica fluvial e fluviolacustre, ocorrem Planossolos, Gleissolos e Neossolos. A distribuição das unidades de Schneider et al (2008) corrobora com o perfil de topossequência apresentada por Valente (1999).

Figura 13 - Perfil topossequência hipotética para o município de Porto Alegre.



Fonte: Adaptado de Valente (1999, p.66).

3.2 CARACTERÍSTICAS LOCAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Com base nos dados dos anos de 2015 e 2016 da Estação Meteorológica Glória do Centro Integrado de Comando da Cidade – CEIC, localizada sobre o Morro da Polícia, pode-se obter algumas características climáticas locais. A temperatura média para os meses mais quentes (janeiro e fevereiro) é de 23,75°C e as temperaturas máximas podem atingir 37°C. Para os meses mais frios do ano (junho e julho), a temperatura média é de 14°C, com mínimas próximas a 0°C. Verificou-se ainda que as temperaturas médias mensais ficam de 1 a 2°C mais baixas do que as temperaturas apresentadas em INMET (2009). A precipitação é bem distribuída

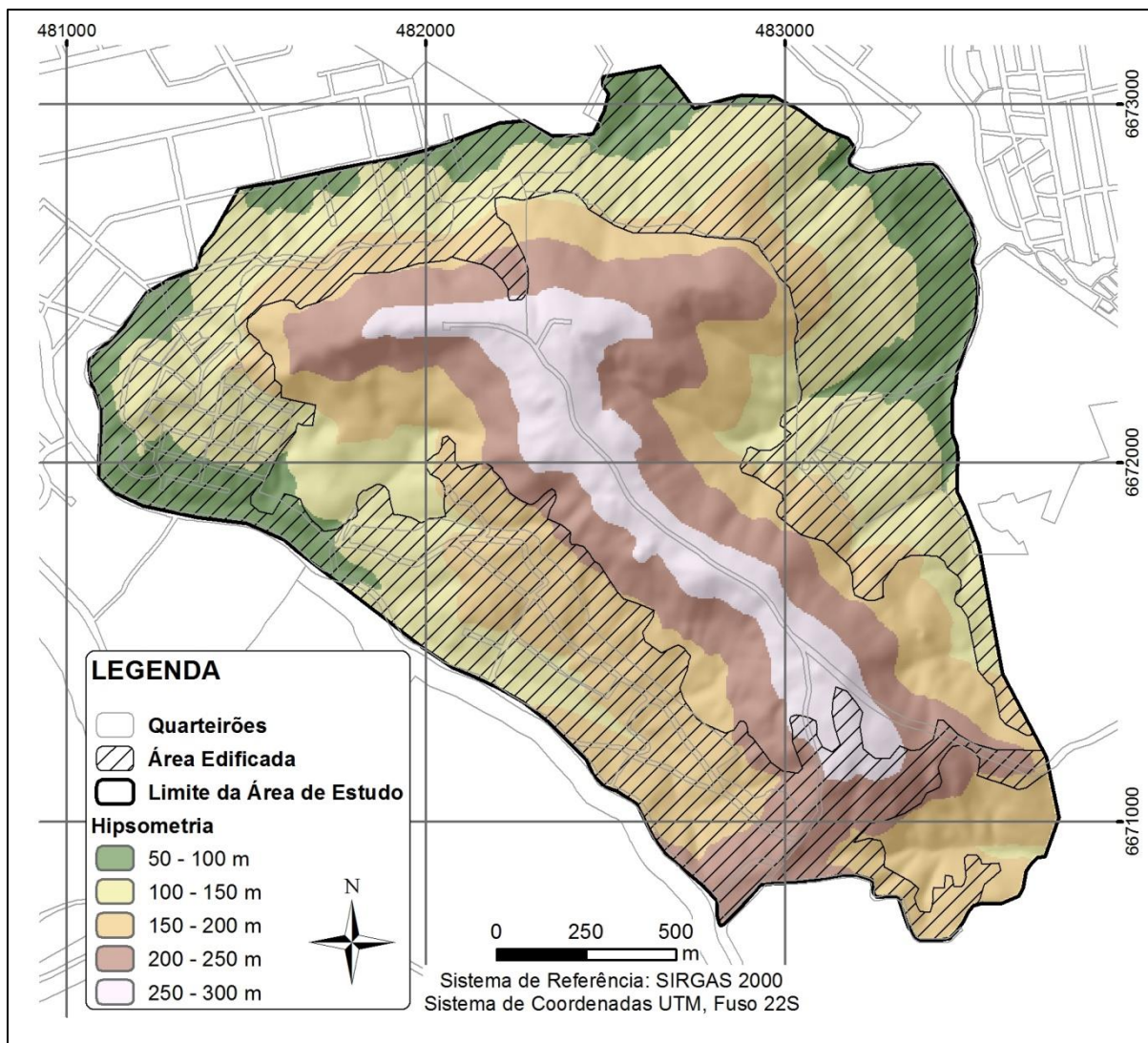
durante os doze meses do ano, sendo que a precipitação total média, entre os anos de 2015 e 2016, para a Estação Glória, foi de 1529,8 mm/ano. Embora com algumas particularidades, especialmente, devidas ao relevo, já que a diferença de cota entre a Estação Glória e a Estação do INMET no Jardim Botânico é de 240 m, o clima no Morro da Polícia responde ao mesmo padrão que o clima da cidade como um todo.

O Morro da Polícia é um morro de substrato granítico que faz parte do que se conhece por Crista de Porto Alegre (MENEGAT; HASENACK; CARRARO, 2006), uma unidade geomorfológica caracterizada por morros graníticos reunidos em forma de crista, com 22 km de extensão por 2 a 7 km de largura, que se destaca na topografia do município quando comparada às planícies fluvio-lagunares das demais porções. O substrato rochoso é composto pelo Granito Santana, de idade neoproterozoica, pertencente ao Batólito Pelotas (MENEGAT; HASENACK; CARRARO, 2006; PHILIPP; CAMPOS, 2004; PHILIPP, 2008).

Esse granito é classificado como um ortoclásio-microclínio granito, com textura equigranular grossa a média, composto por uma trama de feldspato alcalino e quartzo, com raras ocorrências de plagioclásio e biotita. Comumente apresenta uma estrutura magmática primária marcada pela orientação dimensional de cristais prismáticos de feldspato alcalino e alongamento do quartzo. Essa estrutura magmática está distribuída em todo o corpo granítico, transicionando para uma foliação protomilonítica na borda do corpo, marcada pela recristalização de quartzo e biotita, com formação menos comum de subgrãos de feldspato alcalino. Faixas de milonitos com espessura centimétrica podem ocorrer próximas ao contato desse granito com outras unidades. Além de diques ácidos de composição riolítica, subordinadamente dacítica, ocorrem estruturas do tipo zona de falhas e zonas de cisalhamento, distribuídas ao longo do corpo granítico (PHILIPP; CAMPOS, 2004; PHILIPP, 2008).

Na área de estudo, a altitude varia de 59,3 metros e 290,5 metros. Na Figura 14 é apresentado o mapa hipsométrico do Morro da Polícia obtido a partir de Hasenack, Weber e Lucatelli (2010), no qual é possível verificar que a porção sul-sudeste da área apresenta a menor amplitude e concentra as maiores altitudes da área de estudo.

Figura 14 - Mapa hipsométrico do Morro da Polícia



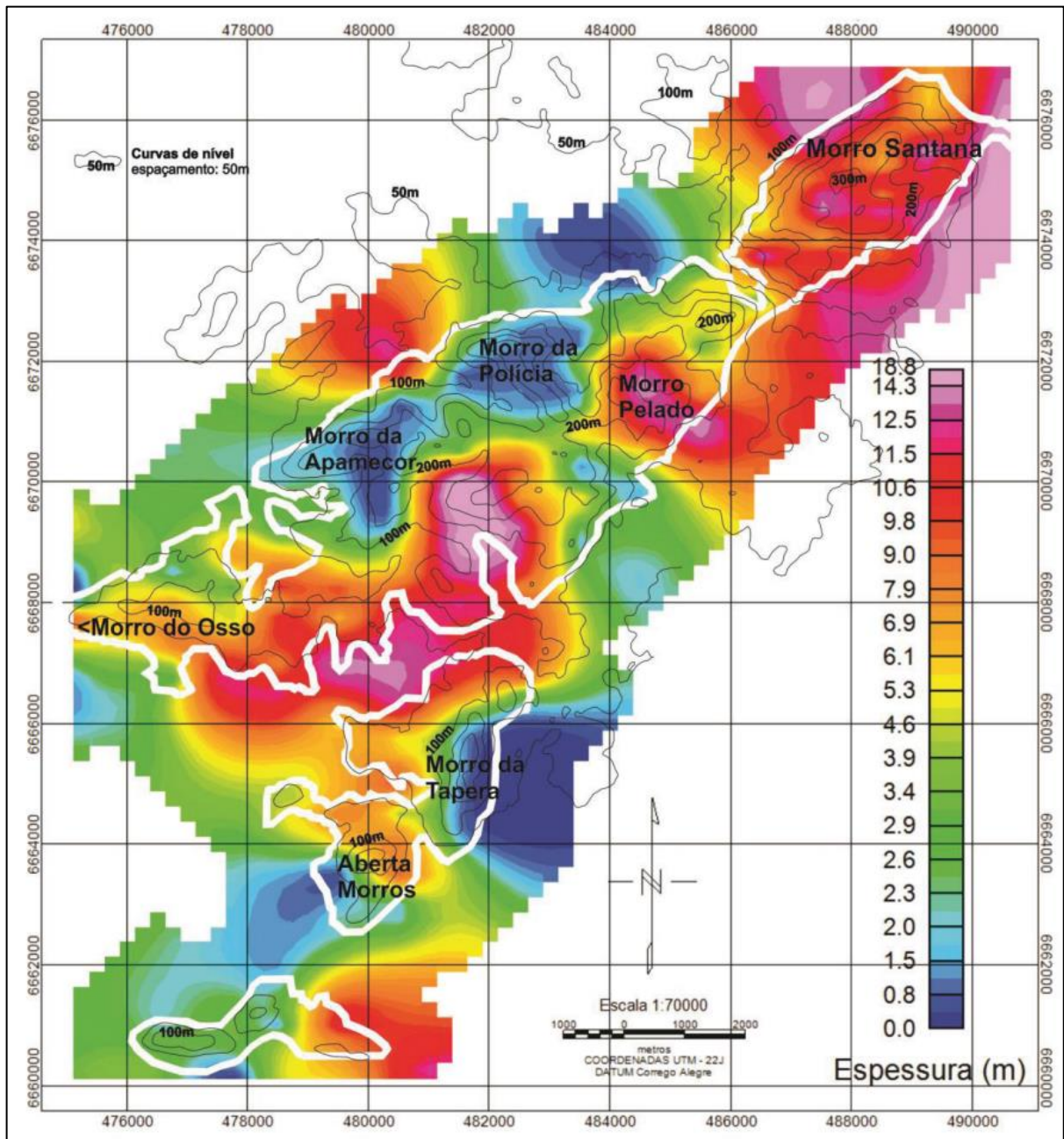
Fonte: Elaborada pela autora.

A declividade do Morro da Polícia varia de 0 a 83,5%, com uma declividade média em torno de 23%. No mapa de declividade apresentado na Figura 25, nota-se que, na distribuição das classes de declividade, o topo do morro apresenta baixa declividade, bem como nas porções basais. As maiores declividades concentram-se no terço superior das encostas, especialmente, na face norte-noroeste, próximas à crista.

Os solos descritos no Morro da Polícia são associação de Cambissolos háplicos, Neossolos litólicos e Neossolos regolíticos, que correspondem aos solos formados em áreas de maior declividade, localizadas no topo e em porções superiores de encostas; e associações de Argissolos vermelhos ou Argissolos vermelhos-amarelos localizados nas porções mais centro-basais das encostas do

Morro da Polícia (Schneider et al., 2008). Quanto à espessura de solos, Santos (2014) destaca que, no Morro da Polícia, é encontrada uma das mais baixas espessuras de solo sobre o Granito Santana, variando entre 0 a 2,5 m de espessura (Figura 15), comportamento esperado devido à remoção do material intemperizado e à exposição da rocha-fonte em áreas de cotas e declividades mais elevadas.

Figura 15 - Mapa da estimativa de espessura de solo média com curvas de nível e localização dos principais morros de Porto Alegre.



Fonte: SANTOS (2014, p. 134).

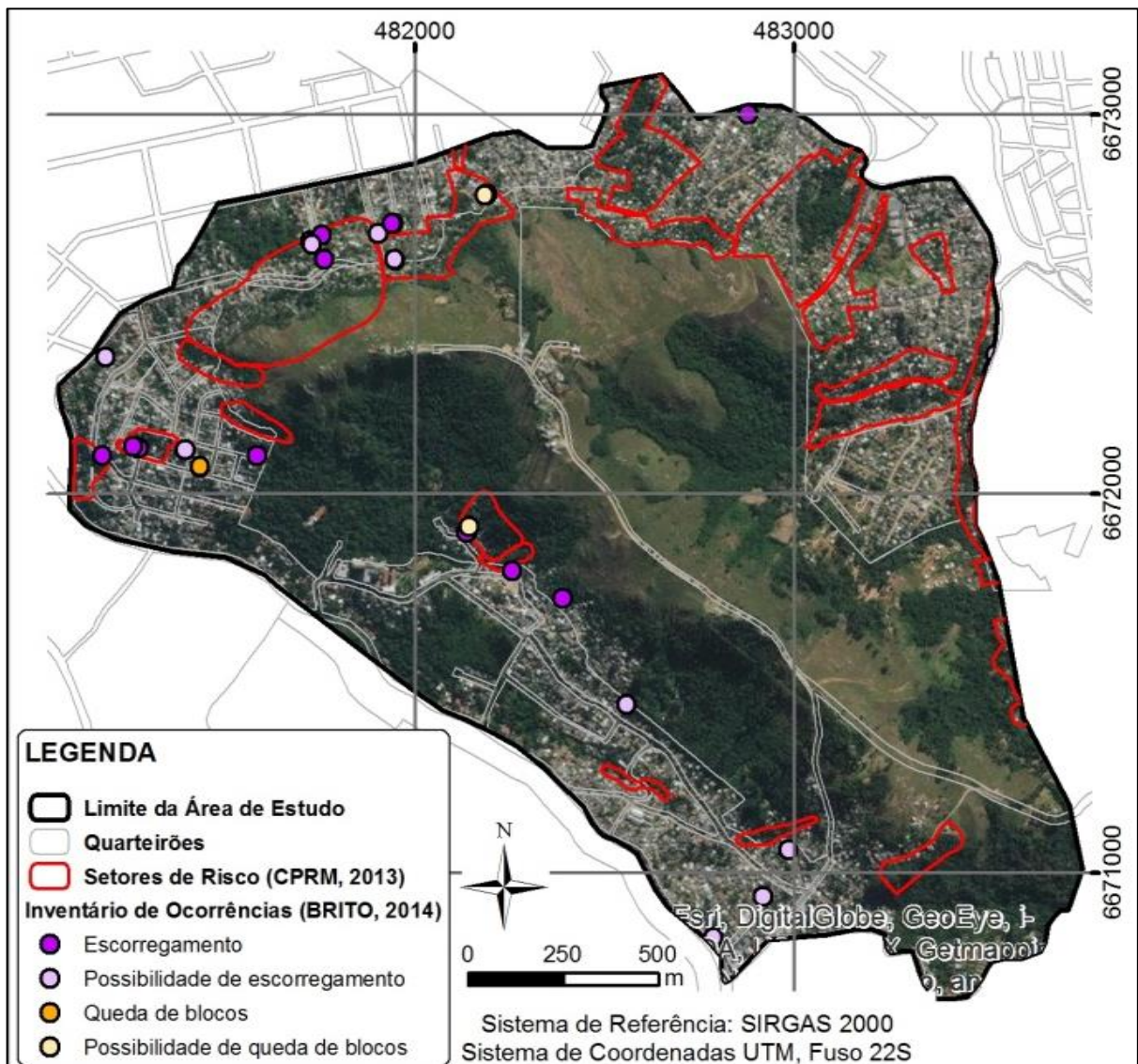
A ocupação desse morro intensificou-se a partir da década de 1970 em decorrência do processo de industrialização da capital, sendo que mais de 80% da população, em meados de 2001, era do interior do estado (LINDAU, 2001). A ocupação ocorre de maneira densa e desorganizada e se localiza, especialmente, sobre o terço médio-inferior e na base das encostas. O topo do morro é esparsamente ocupado. Em virtude do tipo e da localização da ocupação na encosta, desenvolveram-se áreas de risco ao longo das encostas e na base do Morro da Polícia. Os primeiros estudos de área de risco na área datam de 1991, quando um levantamento do município apontou 46 áreas de alto risco geotécnico e risco geotécnico não imediato (SMAM, 1991).

Um trabalho mais recente executado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM, no âmbito do projeto Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações, apontou que, na área de estudo, há 22 setores de risco alto e muito alto às diversas tipologias, a saber: deslizamentos, queda de blocos de rocha, corridas de massa, inundação, enxurrada e solapamento de margens por erosão fluvial. Foi estimado que 6.920 pessoas estavam em risco no Morro da Polícia (CPRM, 2013). Brito (2014) apontou 29 pontos de ocorrência e potencial ocorrência de movimentos de massa para o local, entre 2007 e 2013, em seu inventário de ocorrências. A Figura 16 combina e espacializa os dados de CPRM (2013) e Brito (2014).

Outros trabalhos realizados em Porto Alegre abordam ainda a problemática de áreas de risco no Morro da Polícia. Lindau (2001) destaca que a ação humana sobre as encostas do morro ocorre da seguinte forma: cortes e aterros para assentamento de moradias, pavimentação de vias de acesso às altas encostas sem canalização das águas pluviais, acúmulo de lixo ao longo de canais de drenagem e construção de depósitos de sedimentos oriundos de cortes dos terrenos. Para a autora, essas modificações antrópicas alteram a morfodinâmica das encostas e geram áreas de risco ao longo do Morro da Polícia. O trabalho de Reckziegel (2012) aponta as ocorrências de deslizamentos nas encostas do Morro da Polícia que somam mais de vinte registros entre 1995 e 2010.

Brito (2014) e CPRM (2015) geram mapas de suscetibilidade natural a movimentos de massa. Em ambos os trabalhos, o Morro da Polícia apresenta áreas de alta e média suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 16 - Ocorrências de movimentos de massa e setores de risco no Morro da Polícia



Fonte: Elaborada pela autora.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram dados vetoriais, como a base cartográfica do município de Porto Alegre e dados das áreas de risco do município, além de imagens da área de estudo, disponíveis nas plataformas Google Earth e Google Street View, e fotografias aéreas. No Quadro 6, é apresentada a relação de dados vetoriais e as respectivas fontes das informações.

Quadro 6 - Dados vetoriais utilizados neste trabalho

Dados vetoriais	Fonte dos dados
Base Altimétrica Vetorial Contínua de Porto Alegre, escala 1:1.000	HASENACK; WEBER; LUCATELLI (2010)
Lineamentos	PHILIPP (2008)
Edificações	OSM (2018)
Setorização de Risco de Porto Alegre	CPRM (2013)
Estrutura urbana de Porto Alegre (ex. quarteirões, logradouros)	PMPA (2010)
Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações de Porto Alegre	CPRM (2015)
Inventário de ocorrências e potenciais ocorrências	BRITO (2014)

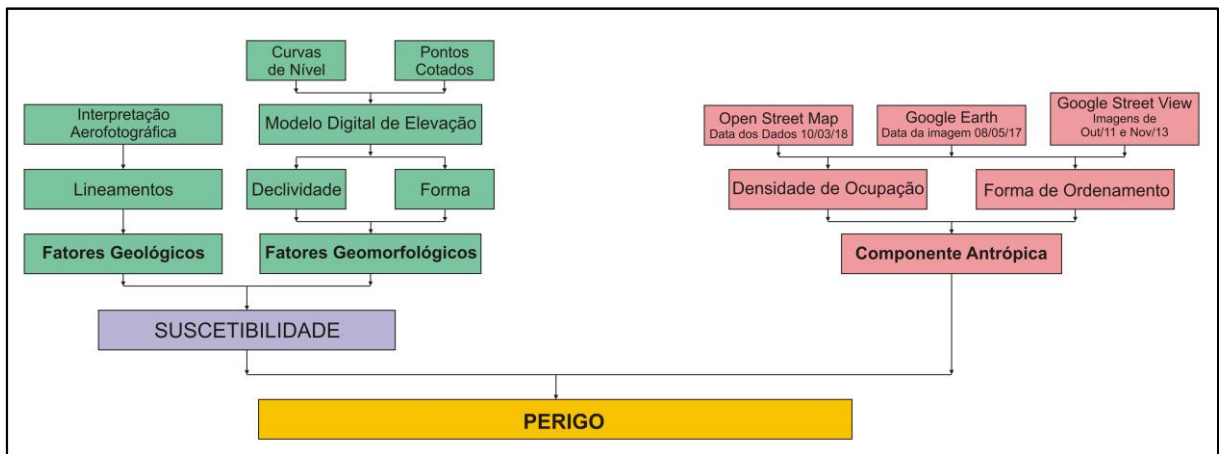
Fonte: Elaborado pela autora.

As imagens utilizadas foram: fotografias aéreas nº 14843 e 14844 de Novembro de 1964, escala 1:60.000, proveniente do Projeto USAF (USAF, 1968); imagem do Google Earth datada de 08 de maio de 2017; imagem Basemap disponibilizada pelo software ESRI ArcGIS com data de 22 de junho de 2014; e banco de imagens do Google Street View com imagens de outubro de 2011 e novembro de 2013.

As etapas metodológicas deste trabalho, de modo geral, contemplam a compilação de informações bibliográficas e cartográficas, produção de informações a partir de fotointerpretação, classificação dos dados, integração das informações em ambiente SIG, classificação dos dados finais e validação das informações a partir de análise comparativa entre produtos existentes para a área de estudo.

Essas etapas subsidiaram a elaboração de dois produtos principais: o modelo de suscetibilidade, a partir dos fatores geológicos e geomorfológicos, e o modelo de perigo, a partir do cruzamento do modelo de suscetibilidade com uma componente antrópica. O fluxo de trabalho é apresentado na Figura 17 e cada processo está detalhado nas seções subsequentes deste capítulo.

Figura 17 - Fluxograma síntese da metodologia utilizada neste trabalho



Fonte: Elaborada pela autora.

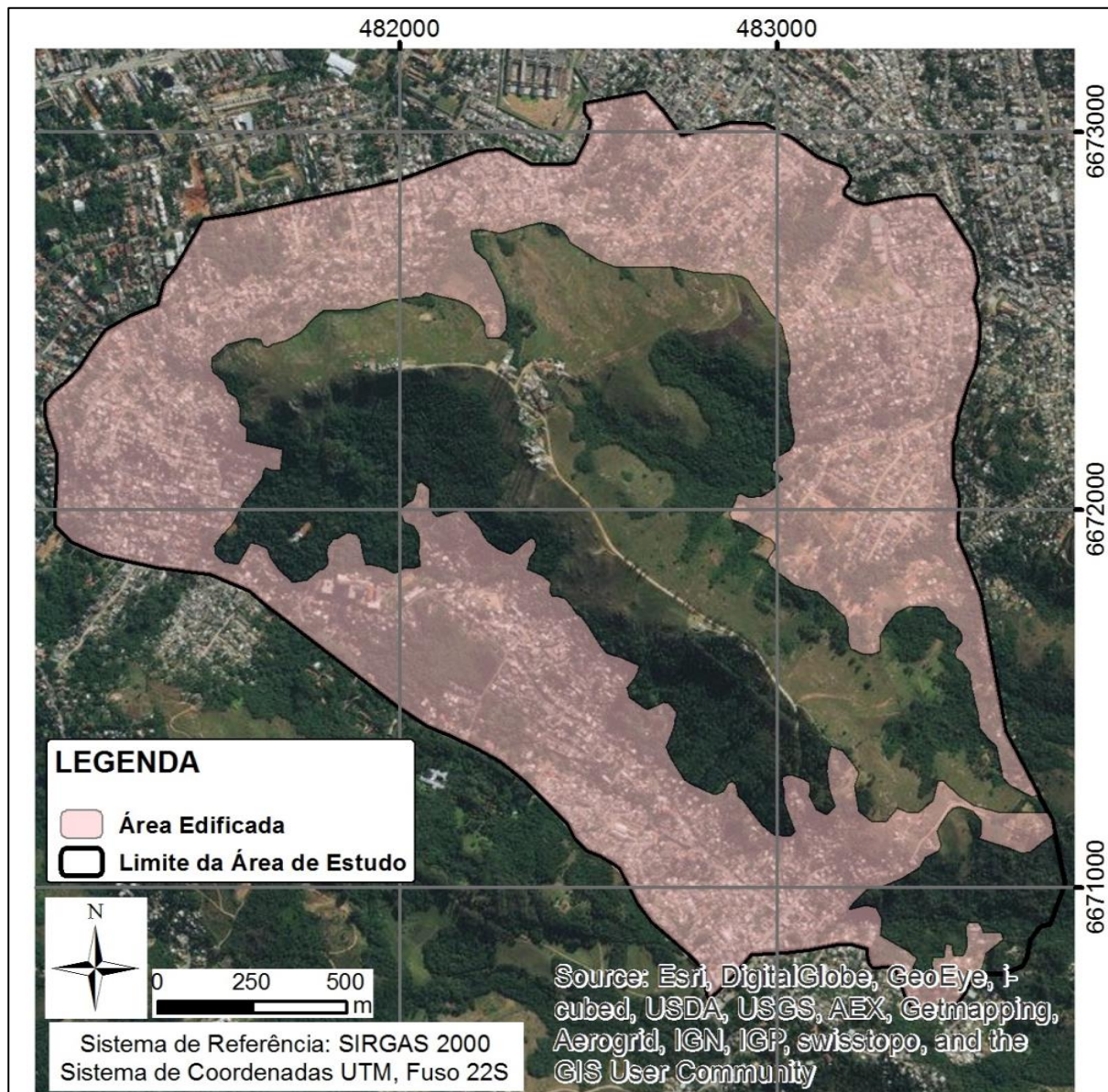
4.1 PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS ESPACIAIS

A preparação da base cartográfica deteve-se à obtenção e à padronização de dados espaciais, vetoriais e matriciais, existentes para a área, a fim de serem incorporados ao SIG do projeto. Uma vez obtidos os dados, a base foi padronizada para a escala de trabalho (1:10.000), para o Sistema Cartográfico de Referência SIRGAS 2000, sistema oficial brasileiro, e para o Sistema de Coordenadas Projetadas Universal Transversa de Mercator (UTM). A escala de trabalho adotada é de semidetalhe e, conforme Fell et al (2008), está adequada para os trabalhos de mapeamento de perigo.

Para estruturação da base cartográfica, delimitou-se o Morro da Polícia levando em consideração a topografia do terreno. Posteriormente, a área ocupada nas encostas do morro foi delimitada a partir do Google Earth, que apresentava a imagem mais recente. A Figura 18 apresenta a delimitação da área total de interesse deste estudo e a área ocupada. O topo do Morro da Polícia é ocupado por antenas

de telefone e rádio, sem a existência de edificações residenciais, por isso, o topo foi desconsiderado na delimitação da área ocupada.

Figura 18 - Delimitação da área de estudo e da área edificada



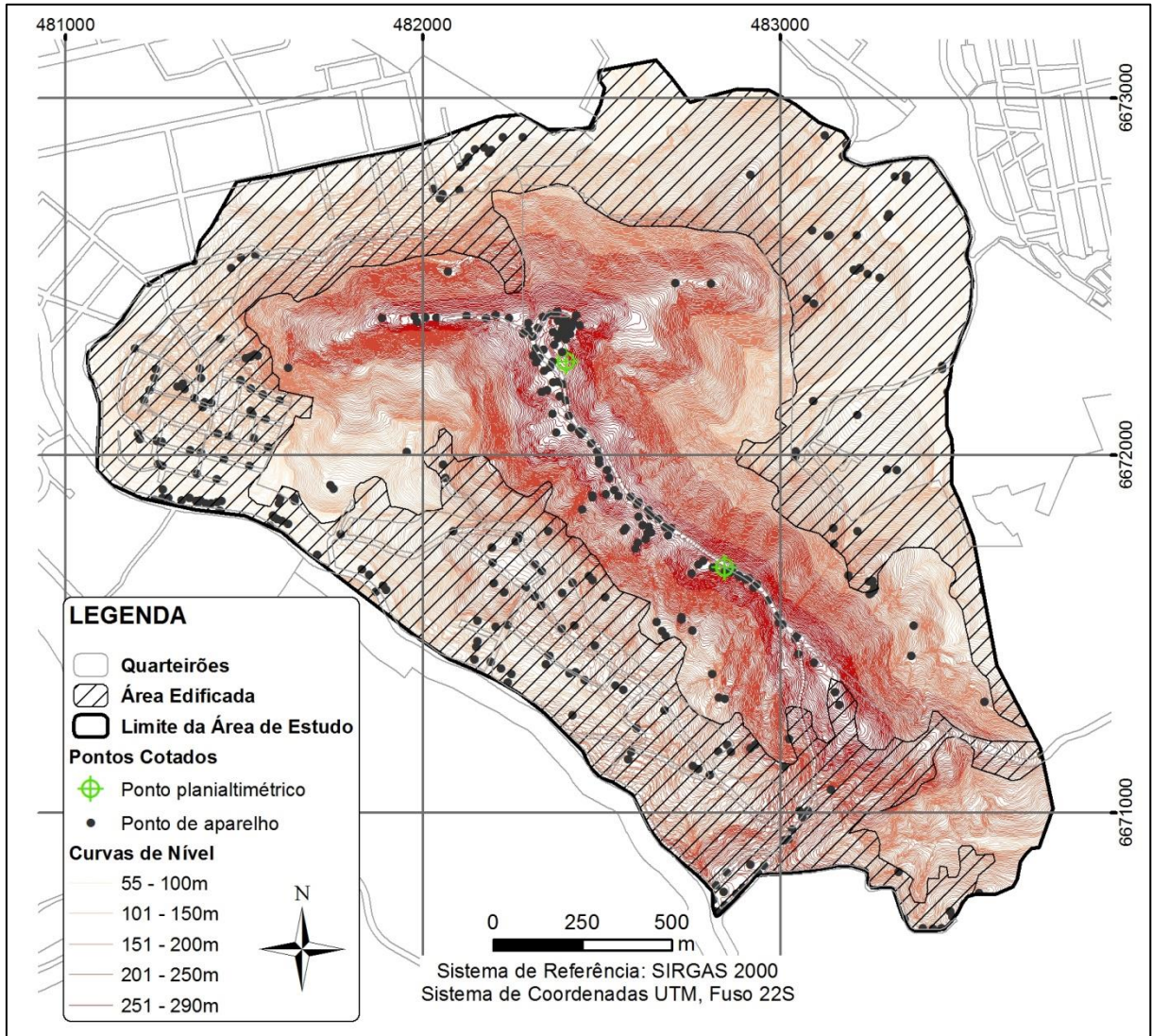
Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.1 Fatores Geomorfológicos

Para a obtenção dos parâmetros geomorfológicos, fez-se um recorte das informações de pontos cotados e curvas de nível da base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre – RS, que apresenta escala 1:1.000,

disponível em Hasenack, Weber e Lucatelli (2010). Esses dados são apresentados na Figura 19.

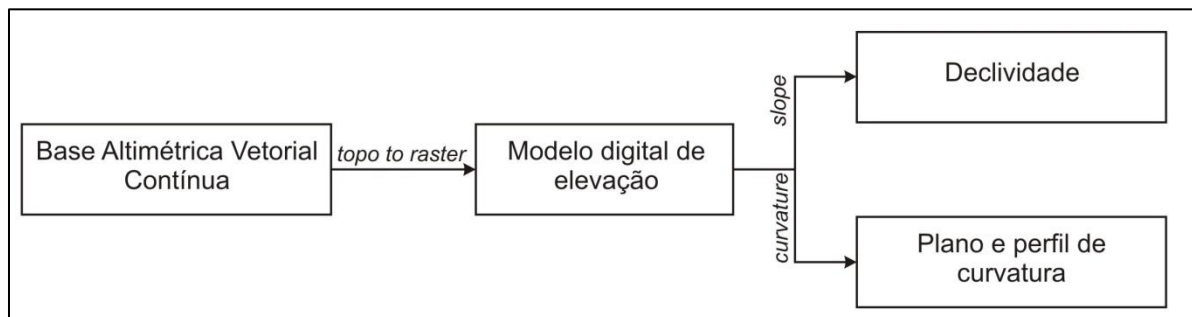
Figura 19 - Base altimétrica vetorial contínua recortada para a área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir desses dados vetoriais, foi obtido o modelo digital de elevação (MDE) da área por meio da ferramenta *Topo to Raster* do software Esri ArcGIS 10.2. A resolução do MDE foi de 5 m. A partir do MDE gerado, foram obtidos os mapas de declividade, plano de curvatura e perfil de curvatura por meio das ferramentas *Slope* e *Curvature*, respectivamente, cujas funções estão presentes no software Esri ArcGIS 10.2. A Figura 20 apresenta o fluxograma das etapas de obtenção dos parâmetros geomorfológicos no software ArcGIS.

Figura 20 - Fluxograma para obtenção de parâmetros de declividade e plano e perfil de curvatura

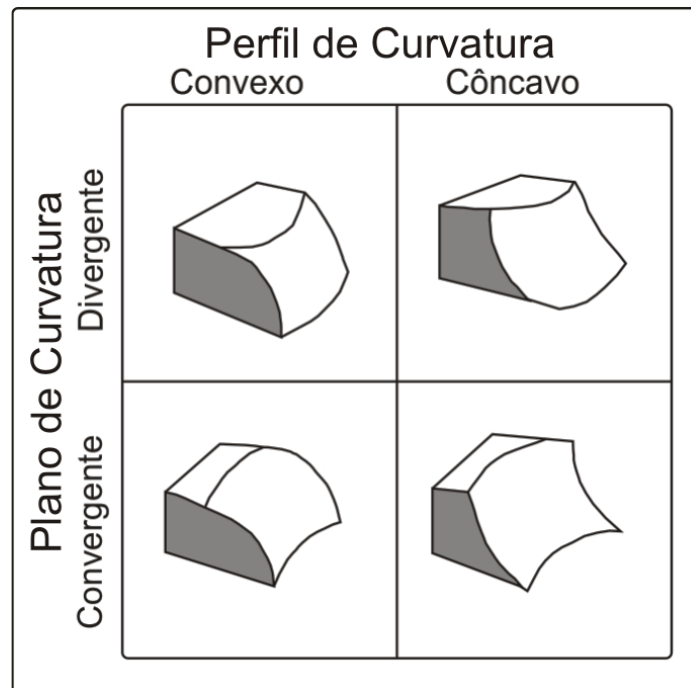


Fonte: Elaborado pela autora.

O mapa de declividade foi classificado em cinco intervalos: 0- 15%, 15-30%, 30-45%, 45-60% e >60%. Essas classes foram definidas com base em Brasil (1979), Embrapa (1979), De Biasi (1992) e Bitar, Freitas e Ferreira (2012). O valor de 15% representa a faixa que define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura, o valor de 30% refere-se ao limite máximo de urbanização sem restrições, definida pela Lei 6.766 de 1979 e o valor de 45% separa os relevos ondulados dos montanhosos, definidos por Embrapa (1979). O limiar de 45% também é o valor aproximado a partir do qual não é permitida a derrubada de florestas pelo Código Florestal. O valor de 60% é baseado em Bitar, Freitas e Ferreira (2012) que definem esse valor como o limiar a partir do qual qualquer ocupação deve ser condicionada a estudos específicos e detalhados.

Quanto ao plano e perfil de curvatura das encostas, eles foram integrados a fim de caracterizarem a forma da vertente quanto à convexidade-concavidade e quanto à divergência-convergência dos fluxos superficiais. No presente trabalho, optou-se por trabalhar apenas com quatro classes de forma de vertente. Utilizou-se, portanto, o valor zero para separar as classes convergente e divergente na análise do plano de curvatura e para separar as classes côncavas e convexas na análise do perfil de curvatura. A combinação dessas classes permitiu obter, então, as seguintes formas das vertentes: convexa-divergente; convexa-convergente; côncava-divergente e côncava-convergente (Figura 21).

Figura 21 - Formas de vertente obtidas a partir da combinação do plano e do perfil de curvatura



Fonte: Adaptação de Summerfield (1997, p.182).

4.1.2 Fatores Geológicos

Uma vez que a litologia da área de estudo é composta pelo Granito Santana, sem variação de unidade litológica, a litologia não foi utilizada na modelagem espacial neste estudo. Entretanto, optou-se por incorporar os lineamentos na modelagem de suscetibilidade na forma de intervalos de distância aos lineamentos, sendo o parâmetro geológico inserido no modelo.

Os lineamentos foram extraídos de Philipp (2008) e ajustados para a escala do trabalho, por meio de fotointerpretação de fotografias aéreas. As fotografias aéreas utilizadas são provenientes do Projeto USAF de 1968 e o estereopar foi formado pelas fotografias de número 14843 e 14844. As fotografias foram digitalizadas e interpretadas por meio de estereoscopia digital, possível a partir da obtenção de um anaglifo, que permitiu a interpretação das feições diretamente na tela do computador com o auxílio de um óculos 3D. A imagem foi georreferenciada no ArcGIS 10.2 e os lineamentos foram interpretados e vetorizados diretamente em ambiente SIG.

Uma vez obtidos os lineamentos, a distância dos lineamentos foi calculada por meio da ferramenta *Multiple ring buffer*. Os intervalos de distância definidos foram 0-20 m, 20-40 m, 40-60 m, 60-80 m, 80-100 m e >100 m. O limite de 100 m foi definido com base em Brito (2014), que determinou que 33,6% dos deslizamentos em Porto Alegre ocorreram até 100 m de distância do lineamento, e se baseando no fato de mais de 60% da área estar a até 100 m dos lineamentos.

4.1.3. Componente Antrópica

A ação antrópica é apresentada por diversos autores (e.g. VEDOVELLO; MACEDO, 2007; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; KANUNGO et al, 2009; TOMINAGA, 2009; CRUDEN; VANDINE, 2013; SEPÚLVEDA; PETLEY, 2015) como um dos agentes condicionantes dos movimentos de massa.

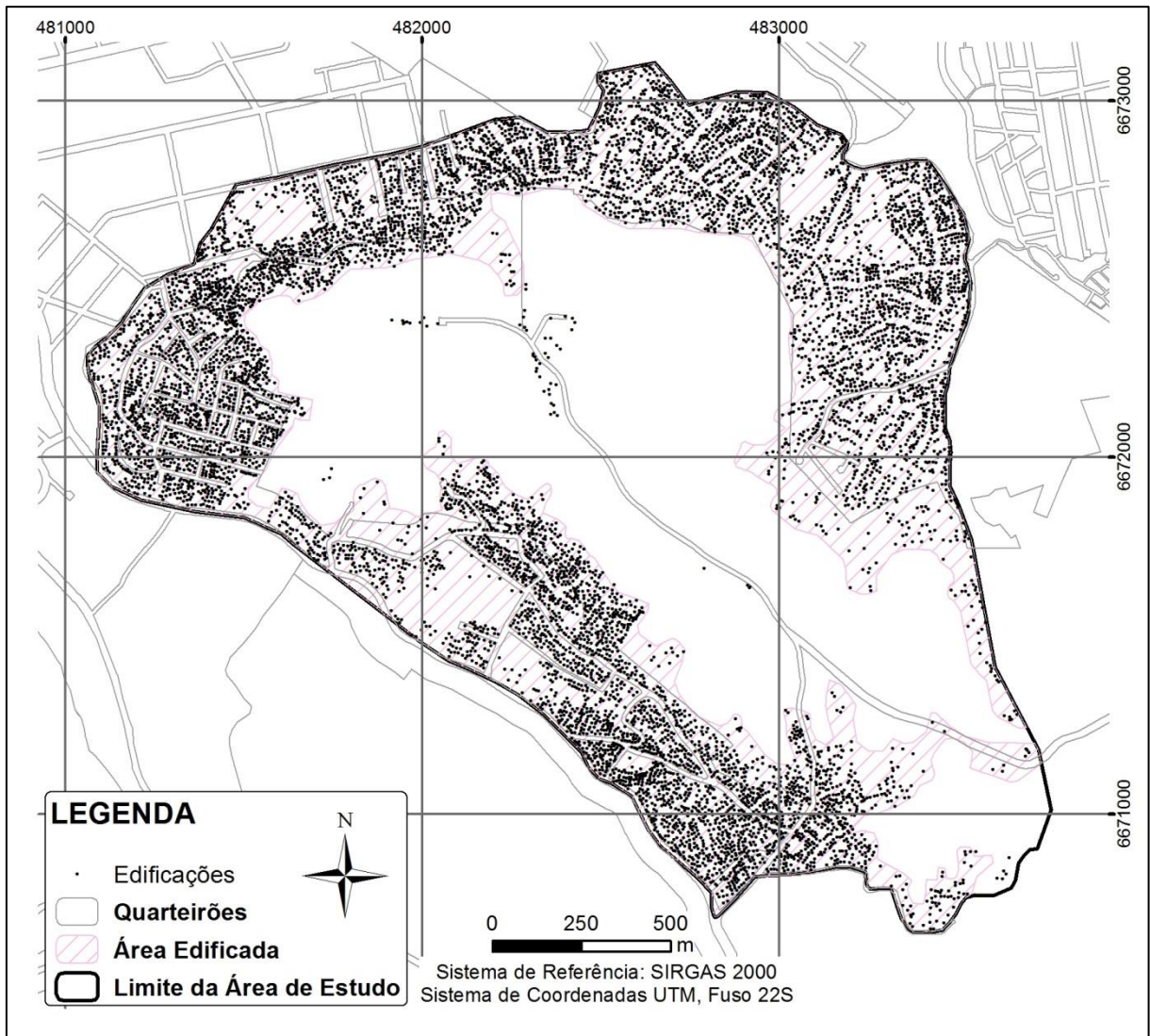
Tominaga (2009, p. 37) apresenta a ocupação desordenada das áreas com alta suscetibilidade a escorregamentos como o principal causador do expressivo aumento do número de acidentes associados a deslizamentos nas encostas urbanas. O trabalho de Lindau (2001) revela que as modificações antrópicas alteram a morfodinâmica das encostas e geram áreas propensas aos movimentos de massa ao longo do Morro da Polícia. Portanto, para a avaliação de perigo, optou-se por qualificar a influência da ocupação urbana no desenvolvimento dos movimentos de massa nas encostas do Morro da Polícia.

Os parâmetros utilizados foram a forma de ordenamento e a densidade de ocupação, apresentados por Vedovello e Macedo (2007) como indicativos da ação antrópica sobre o meio no condicionamento dos movimentos de massa. A forma de ordenamento classificou a ocupação em ordenada ou desordenada e a densidade de ocupação classificou a ocupação em baixa densidade e alta densidade. Considerou-se que o adensamento populacional e a forma de ordenamento da ocupação estão indiretamente relacionados às alterações no meio, executadas pelo ser humano, que induzem os escorregamentos.

Para a elaboração do mapa de densidade de ocupação utilizou-se um recorte de dados vetoriais de edificações, disponibilizados pelo banco de dados *Open Street Map*, disponível em OSM (2018). Com auxílio da imagem de satélite do Google Earth de 08 de maio de 2017, foi possível refinar os polígonos referentes a cada edificação presente na área de estudo, adicionando ou mesmo excluindo polígonos

conforme a necessidade. Cada polígono, que correspondia a uma edificação, foi transformado em um ponto, colocado ao centro do polígono, para permitir o cálculo de densidade de pontos. A Figura 22 apresenta o mapa de edificações utilizado no cálculo da densidade de ocupação.

Figura 22 - Mapa das edificações existentes na área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora.

A densidade de ocupação foi obtida a partir da ferramenta *Point Density*, disponível no *software* ArcGIS 10.2. Os parâmetros utilizados para o cálculo da densidade foram o mapa de pontos das edificações, tamanho do pixel: 1 m e o raio do círculo de influência, de 6,30 m.

Para definir o valor de raio do círculo de influência, partiu-se da premissa de que a área mínima de um lote em zona residencial de interesse social é 125 m²

(PMPA, 2010). Considerando a área de um círculo como $A = \pi r^2$, tem-se que 6,3 m é o raio mínimo esperado de um lote circular hipotético com uma área de 125 m².

Para a classificação da densidade de ocupação em baixa e alta densidade, considerou-se o valor 0,008 lote/m² como o padrão mínimo de urbanização. Esse valor foi obtido considerando-se que, segundo o Plano Diretor Municipal (PMPA, 2010), a área máxima de um quarteirão é de 22.500 m² e a área mínima de um lote em zona de interesse social é de 125 m², linearmente, um quarteirão poderia conter no máximo 180 lotes, resultando em 0,008 lote/m². Esses seriam os parâmetros mínimos para se considerar uma área urbanizada.

Para classificar a forma de ordenamento em ordenado ou desordenado, realizou-se a interpretação visual de imagens do Google Earth e do Google Street View. A data das imagens que corresponde à classificação é 08 de maio de 2017 para Google Earth e outubro de 2011 e novembro de 2013 para Google Street View. A análise foi realizada em nível de quarteirão.

Para definir o que é ordenado e o que é desordenado, partiu-se do parágrafo 5º do artigo 2º da Lei nº 6.766 de 1979 que define que:

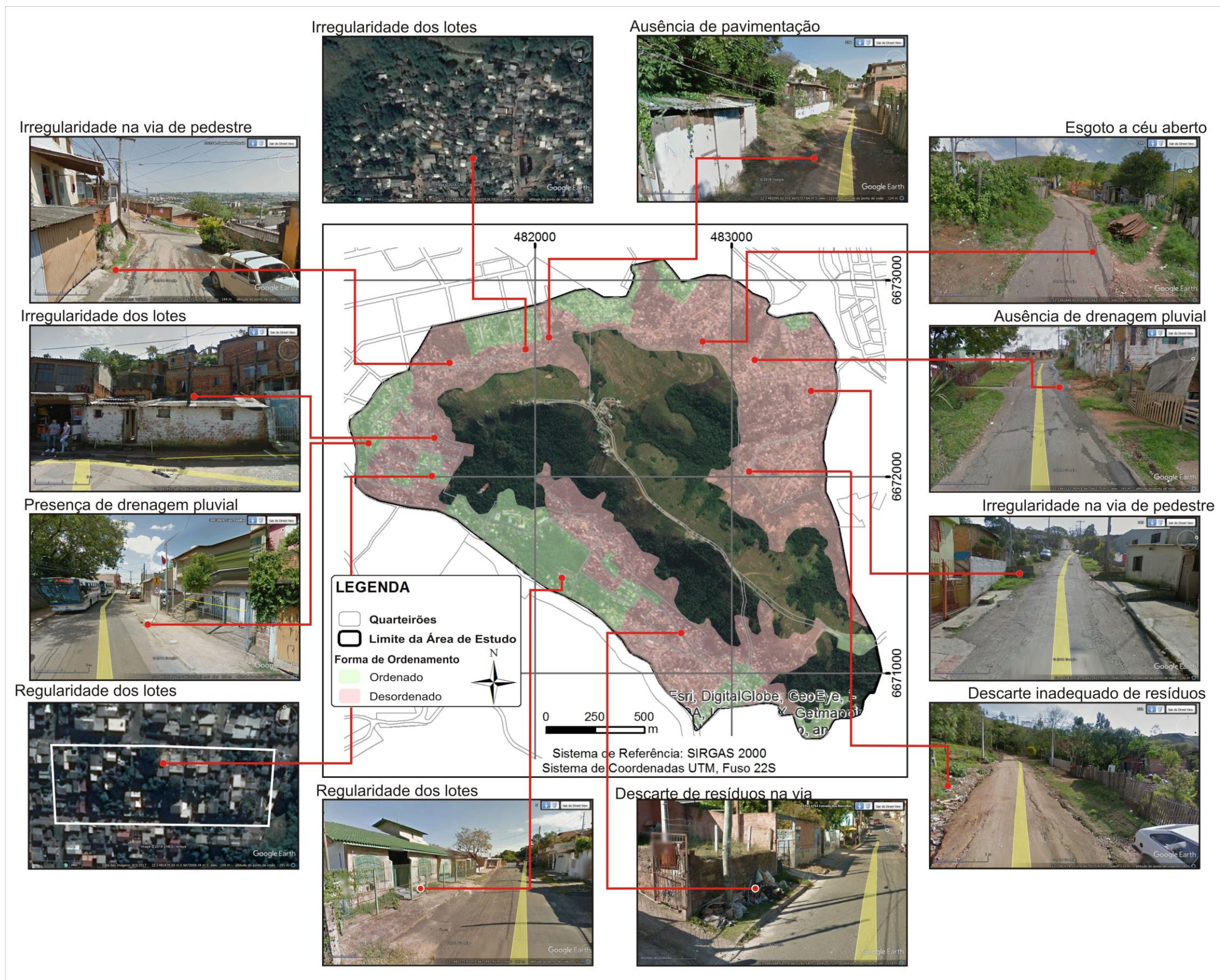
A infraestrutura básica dos parcelamentos é constituída pelos equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação (BRASIL, 1979).

Utilizou-se também uma adaptação do conceito de Aglomerados Subnormais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que define que, para um setor censitário ser definido como aglomerado subnormal, ele deve ser constituído de 51 habitações ou mais, que não possuam título de posse e que apresentem urbanização fora dos padrões vigentes - refletido por vias de circulação estreitas e de alinhamento irregular, lotes de tamanhos e formas desiguais e construções não regularizadas por órgãos públicos; além de precariedade de serviços públicos essenciais como coleta de lixo, rede de esgoto, rede de água, energia elétrica e iluminação pública (IBGE, 2009).

Dessa forma, considerou-se como um padrão de ocupação desordenado os quarteirões que apresentaram no mínimo duas das características: irregularidade na delimitação do lote (lotes de tamanhos e formas desiguais), vias de circulação irregulares, ausência de drenagem pluvial, ausência de pavimentação das vias,

lançamento de esgoto a céu aberto, ausência de calçadas para circulação de pedestres, ausência de iluminação pública. A Figura 23 apresenta alguns exemplos de situações visualizadas no Google Earth e Google Street View e que qualificam os quarteirões em ordenados ou desordenados.

Figura 23 - Características consideradas na classificação da forma de ordenamento



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2 MODELAGEM ESPACIAL

A etapa de modelagem espacial permitiu a obtenção de modelos de suscetibilidade e perigo. Essa etapa foi desenvolvida em ambiente SIG, utilizando ferramentas disponíveis no software ESRI ArcGIS.

4.2.1 Modelo de Suscetibilidade a Movimentos de Massa

Uma vez que a suscetibilidade é entendida como a propensão natural de desenvolvimento de movimentos de massa em uma área, que é resultado das características naturais do meio, optou-se pela utilização de variáveis que refletissem as características naturais das encostas para a obtenção do modelo de suscetibilidade a movimentos de massa da área de estudo. As variáveis utilizadas foram declividade e forma da vertente, representando os aspectos geomorfológicos, e a distância dos lineamentos, representando os aspectos geológicos.

Partindo da premissa de que quanto maior a declividade, maior é a instabilidade da área, e que a declividade está relacionada à indução de fluxos de água e de outros materiais afetando a velocidade dos fluxos superficiais e subsuperficiais (CATANI ET AL, 2005; KANUNGO et al, 2009; KANNAN; SARANATHAN; ANABALAGAN, 2013), o maior peso foi atribuído à declividade. As cinco classes (0-15%, 15-30%, 30-45%, 45-60% e >60%) receberam notas de acordo com o valor de declividade, sendo a nota mais alta para a classe de maior declividade e a nota mais baixa para a classe de menor declividade.

A forma da vertente classificou as vertentes conforme o plano e o perfil de curvatura em quatro classes: convexa-divergente, côncava-divergente, convexa-convergente e côncava-convergente. Como nas vertentes côncavas os materiais tendem a fluir com maior aceleração quando comparadas às vertentes convexas e como as vertentes convergentes são mais instáveis que as divergentes (HILBERTS et al., 2004; VALERIANO, 2008, p. 90; ESRI, 2017), a menor nota foi atribuída às vertentes convexa-divergentes, e a maior nota atribuída às vertentes côncava-convergentes. As vertentes convexa-convergentes e côncava-divergentes receberam a mesma nota.

A distância de lineamentos foi classificada em intervalos de 0-20 m, 20-40 m, 40-60 m, 60-80 m, 80-100 m e >100 m. Quanto mais próximo aos lineamentos,

maior é a suscetibilidade a movimentos de massa, uma vez que os lineamentos podem representar planos de descontinuidades e fraqueza para o condicionamento de escorregamentos planares e planos de fraturas relacionados ao fraturamento das rochas que estão relacionados aos processos de queda de blocos (KANUNGO et al., 2006; KANUNGO et al., 2009; POURGAHSEMI; PRADHAN; GOKCEOGLU, 2012; BRITO, 2014; IETTO et al., 2016).

O Quadro 7 apresenta a valoração dos fatores considerados na modelagem de suscetibilidade e o peso atribuído a cada classe.

Quadro 7 - Valoração dos fatores considerados na modelagem de suscetibilidade

FATOR CONDICIONANTE	Peso	Nota
Declividade		
0 – 15%	5	0
15 – 30%		3
30 - 45%		5
45 – 60%		8
>60%		10
Forma da Vertente		
Convexa-Divergente	2	3
Côncava-Divergente		5
Convexa-Convergente		5
Côncava-Convergente		10
Distância de Lineamentos		
>100m	3	1
80-100m		2
60-80m		4
40-60m		6
20-40m		8
0-20m		10

Fonte: Elaborado pela autora.

Uma vez realizada a valoração de cada classe das respectivas camadas de informações, realizou-se uma álgebra de mapas para a obtenção do índice de suscetibilidade. O índice de suscetibilidade foi obtido a partir da equação:

$S = (5 \times d) + (2 \times f) + (3 \times l)$, em que S corresponde ao índice de suscetibilidade; d corresponde à declividade, f corresponde à forma da vertente e l corresponde à distância de lineamentos.

O modelo de suscetibilidade foi classificado em três graus de suscetibilidade, alto (S3), médio (S2) e baixo (S1), de acordo com pesos e notas atribuídos a cada parâmetro. Utilizou-se o método estatístico de quebras naturais de classes (JENKS, 1967) para a classificação do índice de suscetibilidade.

4.2.2 Modelo de Perigo a Movimentos de Massa

Para a obtenção do modelo de perigo, partiu-se da premissa de que uma área de perigo corresponde a uma área com propensão a ocorrência de um evento físico que pode causar danos à propriedade, perturbação social e econômica e até perdas de vidas, com origem natural ou decorrente da atividade humana. O modelo de perigo foi obtido a partir da soma dos fatores naturais, representados pelo modelo de suscetibilidade, com a componente antrópica. O perigo está, dessa forma, limitado às áreas com presença de ocupação, e a componente antrópica é inserida no cálculo para representar as alterações no ambiente natural produzidas pelo ser humano e que induzem os movimentos de massa.

A componente antrópica representa o resultado da interação do ser humano com o meio natural no condicionamento dos movimentos de massa. Para a obtenção dessa componente, partiu-se da premissa de que quanto pior as condições de urbanização, mais negativo é o impacto da ação antrópica sobre o meio do ponto de vista do desencadeamento dos movimentos de massa. Assim, o cruzamento da forma de ordenamento e da densidade de ocupação teve por objetivo mensurar as condições de urbanização do meio e indiretamente inferir os locais mais impactados.

A partir do cruzamento da densidade da ocupação e da forma de ordenamento, obtiveram-se quatro condições de urbanização: ordenado com baixa densidade, ordenado com alta densidade, desordenado com baixa densidade e desordenado com alta densidade. Considerou-se, todavia, que a forma de ordenamento impacta mais sobre o meio do que a densidade, portanto, as

condições de ordenado com baixa densidade e ordenado com alta densidade foram agrupadas em uma única classe. A componente antrópica foi, então, classificada em três classes, de menor para maior influência negativa sobre o meio: ordenado (A1), desordenado com baixa densidade (A2) e desordenado com alta densidade (A3).

A partir da matriz de cruzamento (Figura 24) das classes de suscetibilidade (S1, S2 e S3) e da componente antrópica (A1, A2 e A3), obtiveram-se três classes de perigo: baixa (P1), média (P2) e alta (P3).

Figura 24 - Matriz de cruzamento para obtenção do perigo.

	S1	S2	S3
A1	P1	P1	P2
A2	P1	P2	P3
A3	P2	P3	P3

Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 COMPARAÇÃO DO PRODUTO COM TRABALHOS PRETÉRITOS

Esse trabalho não contemplou a validação dos modelos gerados em campo. Esta atividade não foi possível devido às condições de segurança no Morro da Polícia. Ainda, considera-se fundamental a elaboração de modelos pré-campo que integrem dados relevantes para a compreensão dos processos e que subsidiem uma etapa de campo futura.

Para a validação dos modelos gerados, portanto, foram utilizados trabalhos pretéritos existentes para a área de estudo, como os trabalhos de CPRM (2015), Brito (2014) e CPRM (2013) e realizada uma análise comparativa, a fim de verificar a representatividade dos modelos de suscetibilidade e perigo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos neste trabalho. O capítulo está organizado de acordo com os seguintes temas: modelagem espacial da suscetibilidade a movimentos de massa, modelagem espacial do perigo a movimentos de massa e validação dos resultados.

5.1 MODELO DE SUSCETIBILIDADE

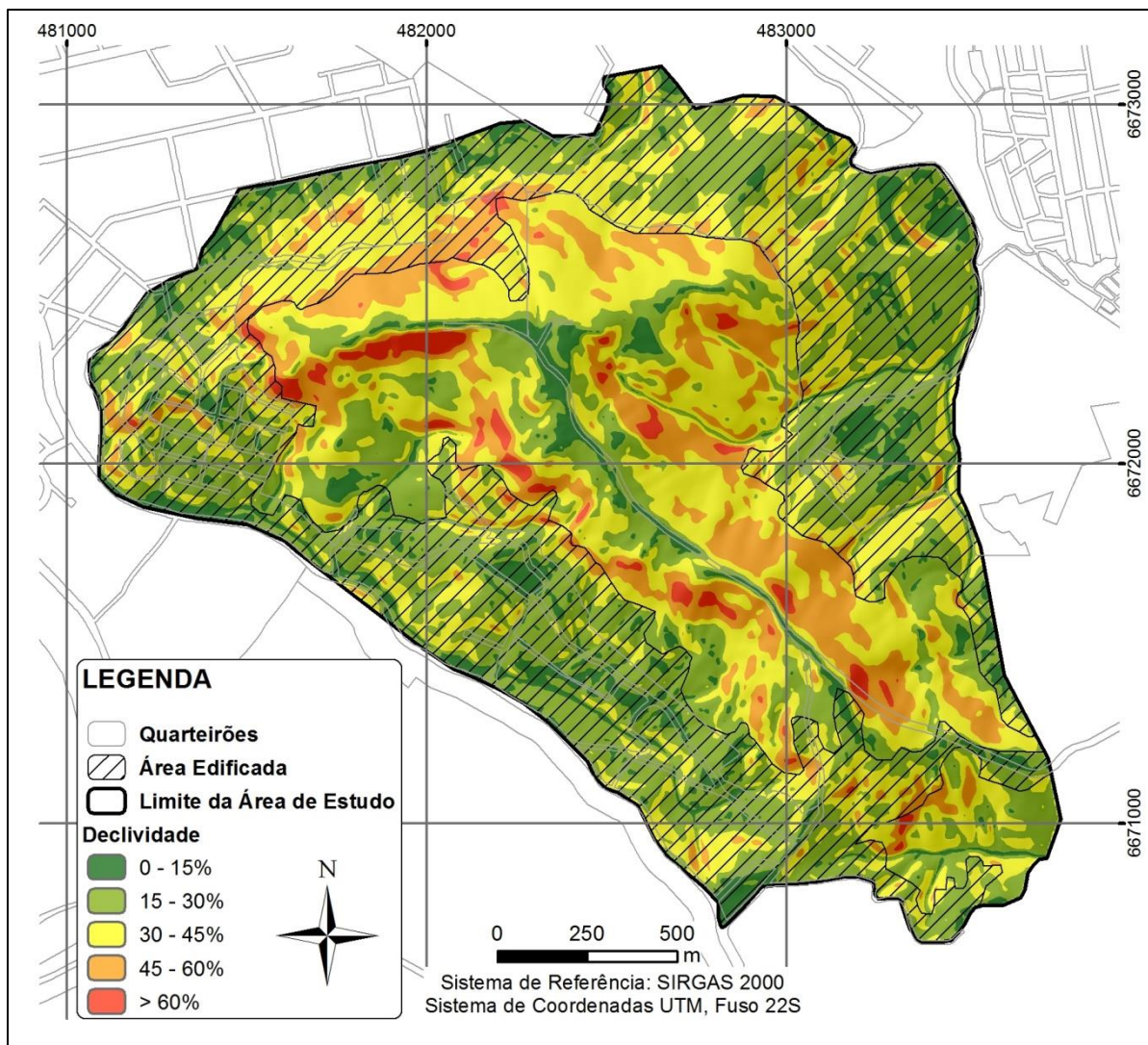
O modelo de suscetibilidade foi obtido a partir dos dados de declividade, formas das vertentes e distância de lineamentos.

Quanto à declividade, no Morro da Polícia, a classe que ocorre com maior frequência (39,2%) é a classe que comporta as declividades entre 15 e 30%, seguida pelo intervalo de 30 a 45%, com ocorrência em 34,6% da área. Declividades entre 45 e 60% correspondem a 14,8%, 0 a 15% correspondem a 9,4% e declividades superiores a 60% correspondem a 1,9%.

Na área ocupada do Morro da Polícia, a maior ocorrência de declividade é do intervalo entre 15 e 30%, com 49,7% de frequência, seguido pelo intervalo com declividade entre 30 e 45%, com frequência de 30,7%. As declividades entre 45 e 60% e maiores do que 60% correspondem às declividades mais críticas sob a ótica dos escorregamentos, ocorrem, respectivamente, em 6,8% e 0,3% da área ocupada do Morro da Polícia. A área ocupada com declividade entre 0 e 15% corresponde a 12,4%.

A Figura 25 apresenta a distribuição das classes de declividade na área de estudo. Destaca-se a ocorrência das classes mais altas no terço médio e superior das encostas do Morro da Polícia e em algumas porções basais. O topo do morro apresenta topografia ondulada com declividades abaixo de 15%. A Tabela 3 apresenta a ocorrência das classes de declividade referente à área total e à área ocupada do Morro da Polícia.

Figura 25 - Distribuição das classes de declividade do Morro da Polícia



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 3 - Ocorrência de classes de declividade na área total e na área ocupada do Morro da Polícia

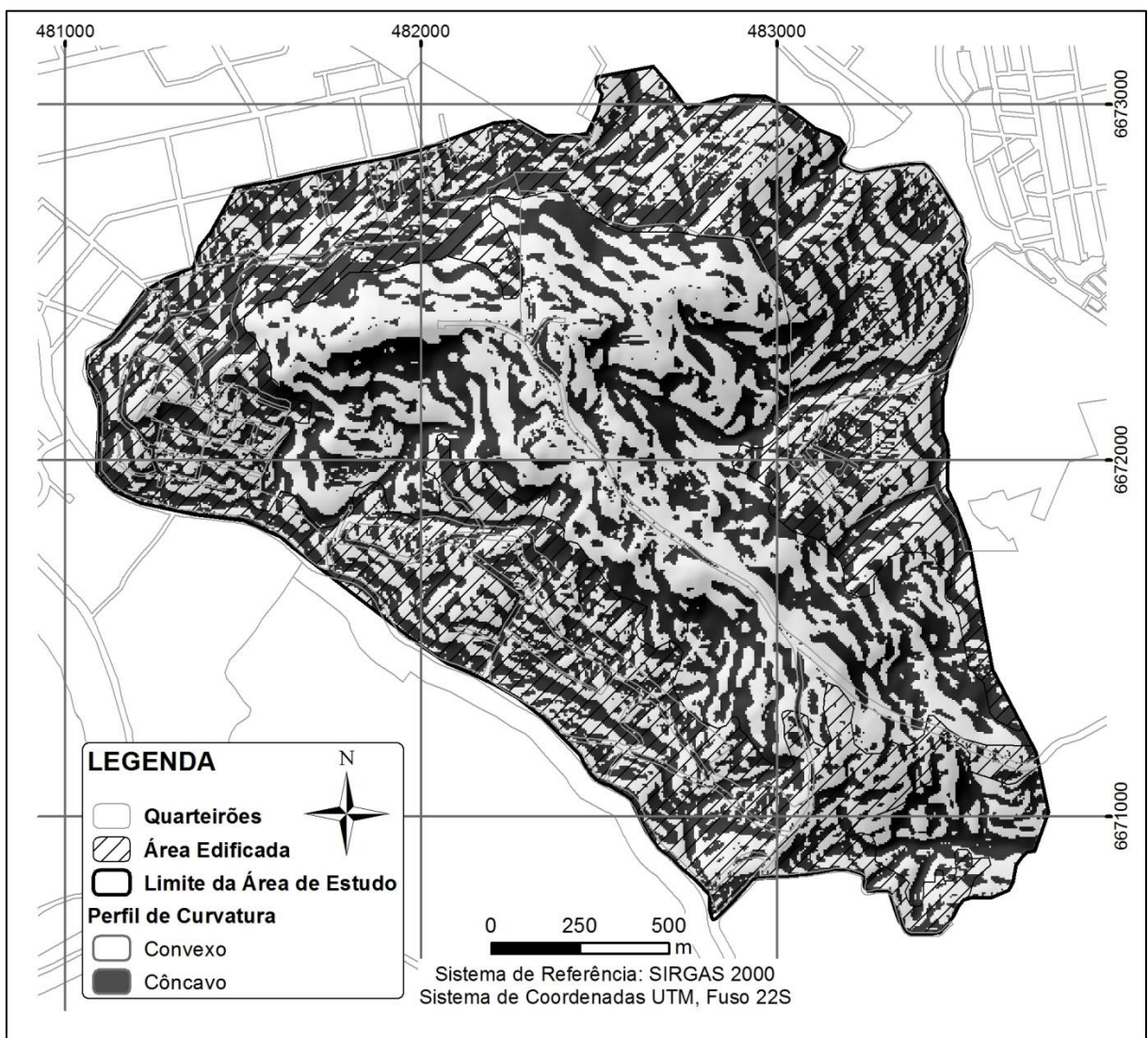
Classes de Declividade	Área Total	Área Ocupada
0 – 15%	9,4%	12,4%
15 – 30%	39,2%	49,7%
30 – 45%	34,6%	30,7%
45 – 60%	14,8%	6,8%
>60%	1,9%	0,3%

Fonte: Elaborada pela autora.

A forma da vertente, que classificou as vertentes em convexo-divergente, côncavo-divergente, convexo-convergente e côncavo-convergente, foi obtida a partir

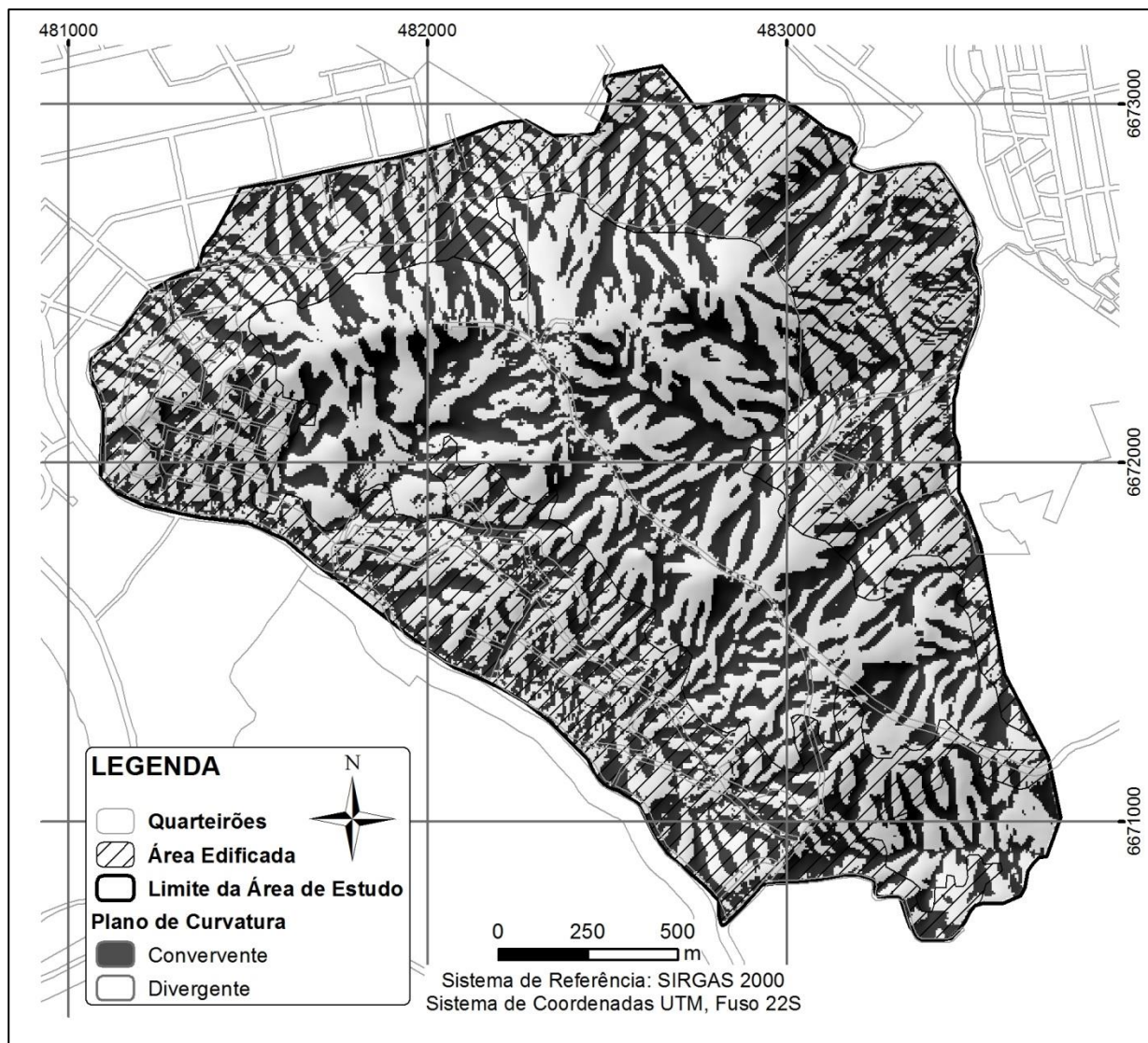
do cruzamento das informações de perfil de curvatura e de plano de curvatura. A distribuição das vertentes côncavas e convexas é apresentada na Figura 26. As vertentes côncavas representam 50,2% da área de estudo e as vertentes convexas, por sua vez, correspondem a 49,8%. A Figura 27 apresenta o mapa de plano de curvatura, que classifica as vertentes em convergentes e divergentes. As vertentes divergentes correspondem a 55,8% da área e as vertentes convergentes correspondem a 44,2%.

Figura 26 - Mapa de perfil de curvatura do Morro da Polícia



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 27 - Mapa de plano de curvatura do Morro da Polícia

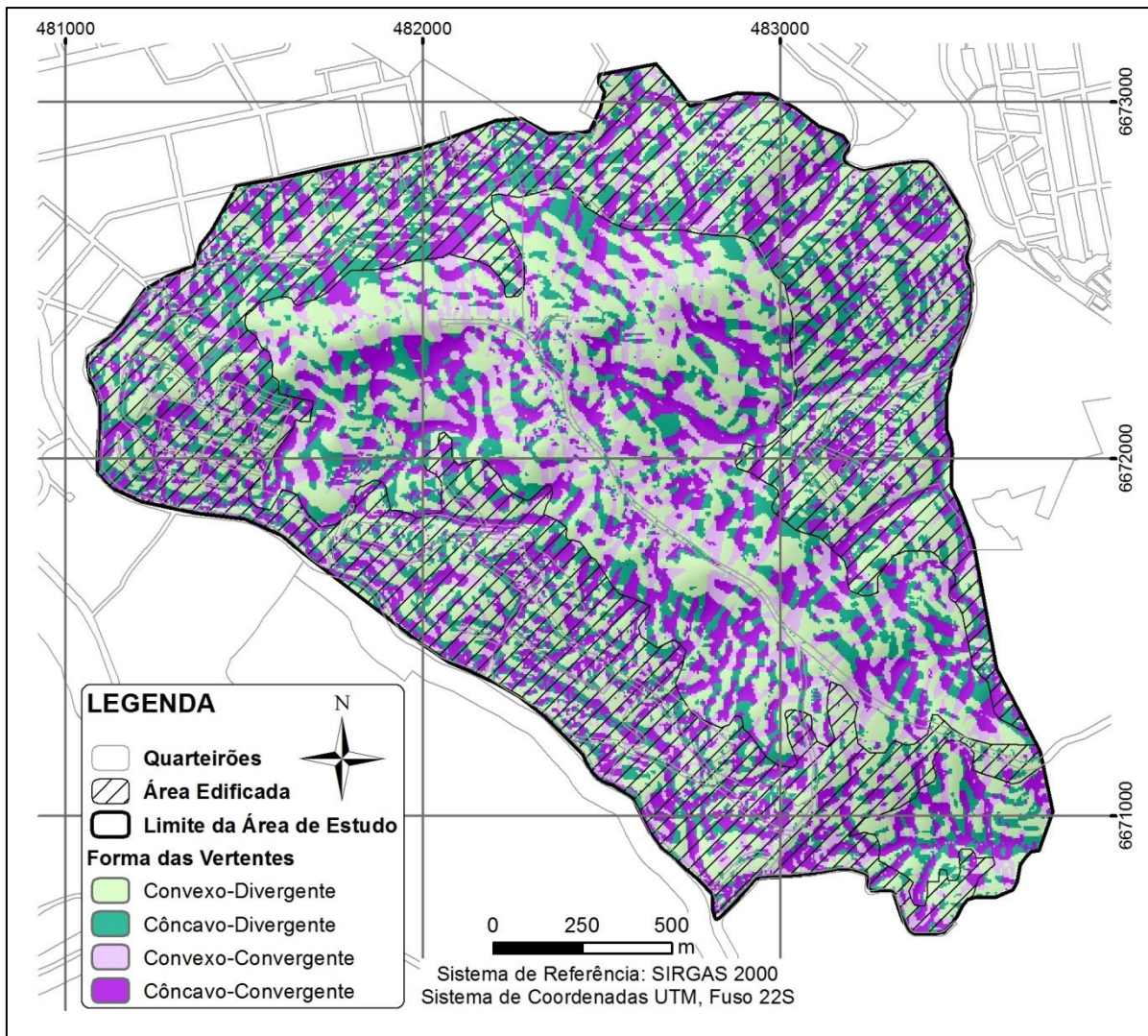


Fonte: Elaborada pela autora.

Do cruzamento dos mapas apresentados acima, pode-se classificar, quanto à forma, 34,4% das vertentes como convexo-convergentes, 21,4% como côncavo-divergentes, 16,4% como convexo-convergente e 27,8% como côncavo-convergente. Com relação à área ocupada, a proporção se mantém, com 33,5% de vertentes convexo-divergentes, 22,8% de vertentes côncavo-divergentes, 14,5% de vertentes convexo-convergentes e 29,2% de vertentes côncavo-convergentes.

A Figura 28 apresenta o mapa de forma de vertentes da área de estudo total. A síntese da ocorrência das formas de vertentes com relação à área total e à área ocupada do Morro da Polícia é apresentada na Tabela 4.

Figura 28 - Distribuição de formas das vertentes do Morro da Polícia



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 4 - Ocorrência de formas de vertentes na área total e na área ocupada do Morro da Polícia

Forma de Vertentes	Área Total	Área Ocupada
Convexo-Divergente	34,4%	33,5%
Côncavo-Divergente	21,4%	22,8%
Convexo-Convergente	16,4%	14,5%
Côncavo-Convergente	27,8%	29,2%

Fonte: Elaborada pela autora.

O terceiro fator natural utilizado para a modelagem de suscetibilidade foi a distância de lineamentos. Esse fator representa a influência da geologia no

condicionamento dos movimentos de massa. Seis intervalos de distância de lineamentos foram definidos de maior a menor influência sobre o processo estudado.

Da área total, 15,3% da área está no intervalo de 0 a 20 m de distância de lineamentos, no intervalo de 20 a 40 m são 15,3%, entre 40 e 60 m são 14,3% da área total, 12,2% da área está entre 60 e 80 m dos lineamentos, 10,6% entre 80 e 100m, e a área a mais de 100 m dos lineamentos corresponde a 32,3%. Com relação à área ocupada, 14% está até 20 m dos lineamentos, 13,8% está entre 20 e 40 m de distância dos lineamentos, 13% está entre 40 e 60 m, 11,1% está entre 60 e 80 m, 9,3% está entre 80 e 100 m e 38,8% estão a uma distância maior que 100 m dos lineamentos.

O percentual de ocorrência dos intervalos de distância de lineamentos na área total e na área ocupada é apresentado na Tabela 5. A distribuição dos lineamentos e as respectivas distâncias são apresentadas na Figura 29.

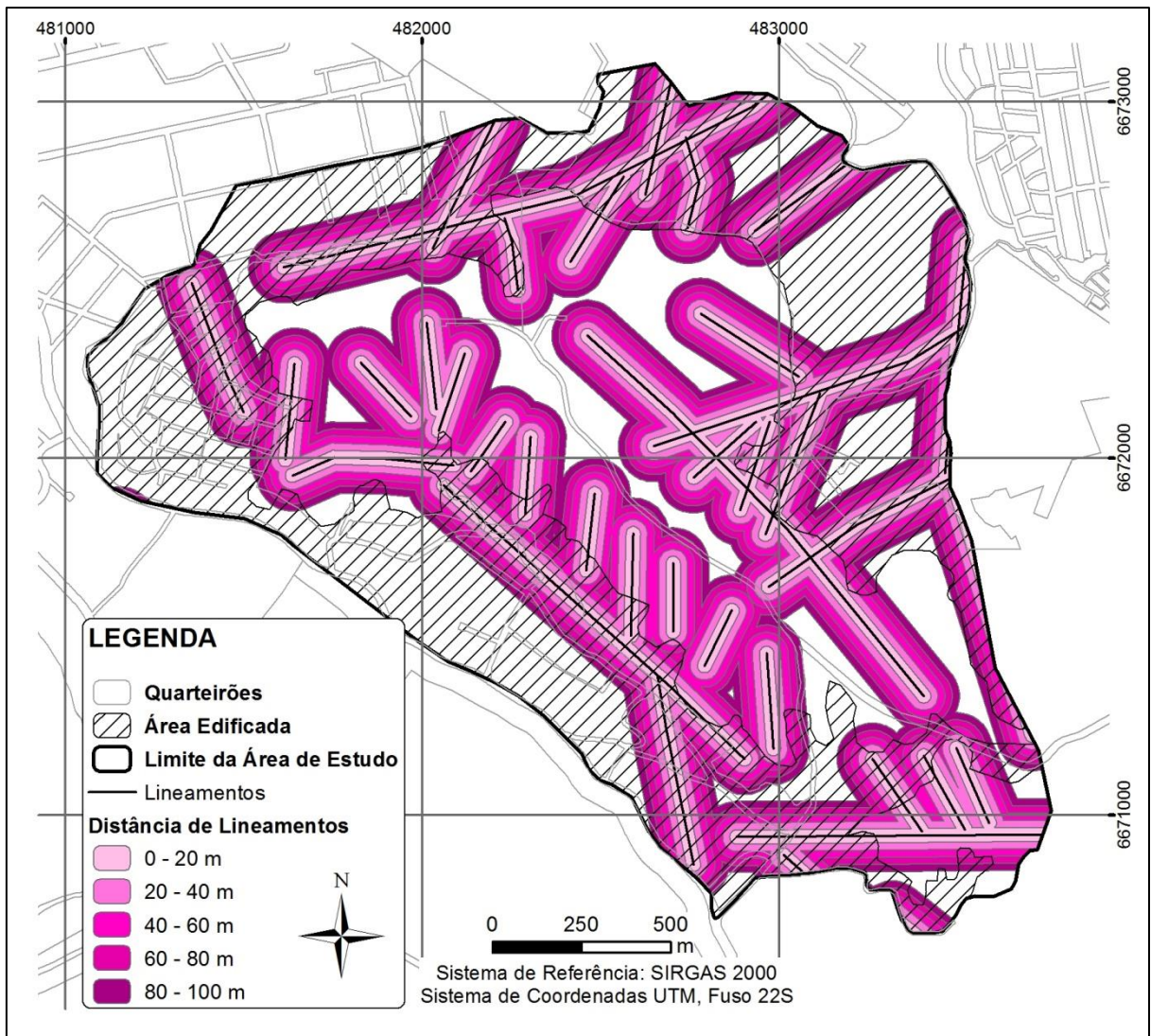
Tabela 5 - Ocorrência de intervalos de distância de lineamentos.

Distância de Lineamentos	Área Total	Área Ocupada
0-20m	15,3%	14,0%
20-40m	15,3%	13,8%
40-60m	14,3%	13,0%
60-80m	12,2%	11,1%
80-100m	10,6%	9,3%
>100m	32,3%	38,8%

Fonte: Elaborada pela autora.

Quanto aos lineamentos, cabe destacar, ainda, as orientações preferenciais de noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste. Aproximadamente 68% da área de estudo está a menos de 100 m de distância de lineamentos, indicando a importância do controle estrutural nos morros graníticos de Porto Alegre, corroborando com as descrições geológicas de Philipp (2008).

Figura 29 - Mapa de distribuição de distância de lineamentos do Morro da Polícia



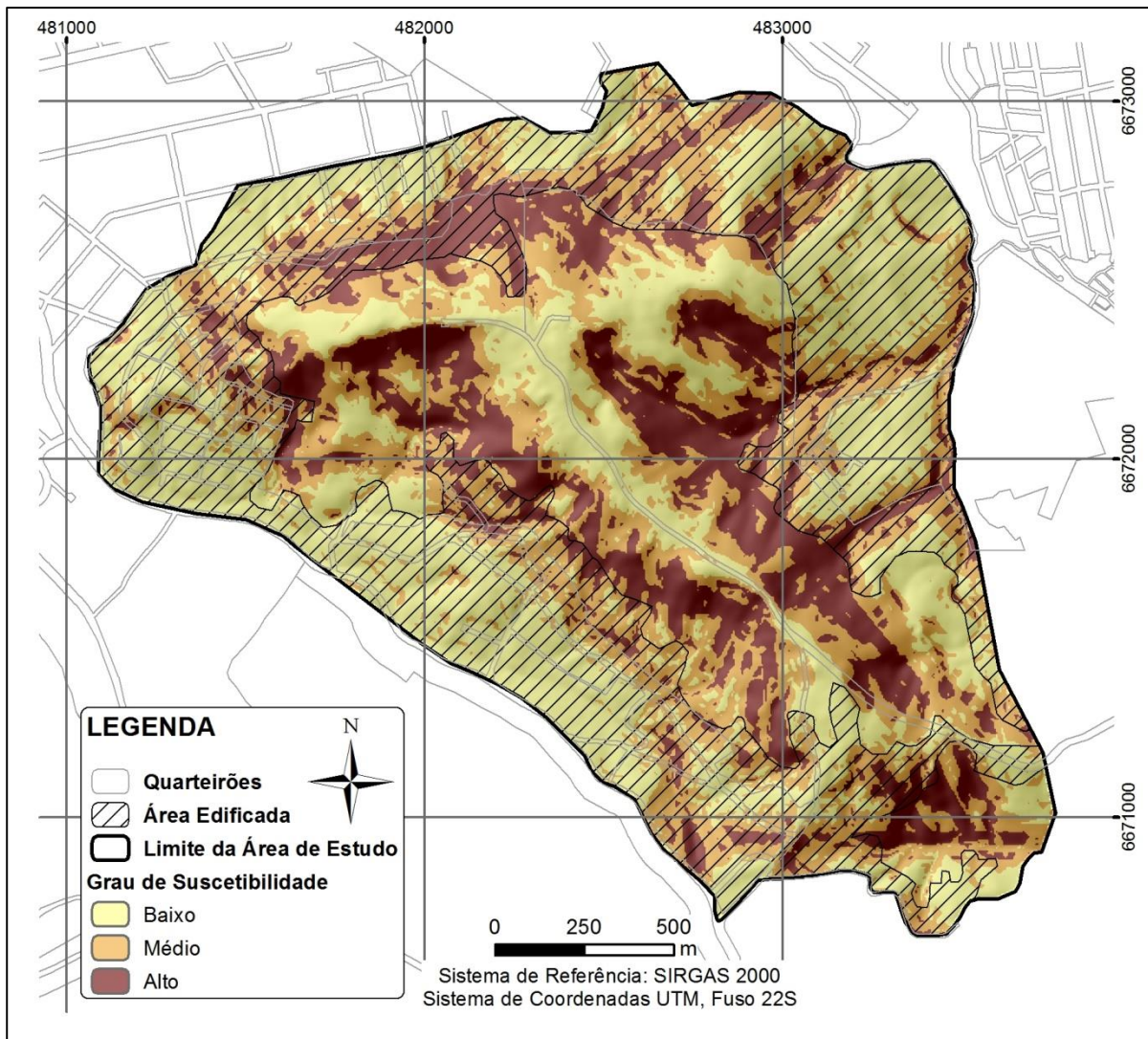
Fonte: Elaborada pela autora.

Uma vez obtida cada camada de informação, o seu cruzamento deu origem ao modelo de suscetibilidade a movimentos de massa para o Morro da Polícia. A Figura 30 apresenta esse modelo que representa os fatores naturais que condicionam a ocorrência de movimentos de massa, conforme conceituado por Reckziegel (2012) e Riffel, Guasselli e Bressani (2016). O modelo foi classificado em três classes: alta (S3), média (S2) e baixa (S1) suscetibilidade.

As porções de alto grau de suscetibilidade correspondem a 24,1% da área total e, de maneira geral, estão distribuídas nos terços médio e superiores das encostas, concordantes com as declividades mais altas. Relacionam-se também às áreas mais próximas aos lineamentos e às vertentes com forma côncavo-convergente. As porções de baixo grau de suscetibilidade ocorrem na base e no

topo do Morro da Polícia, correspondendo a 40,7% da área total, e são concordantes às áreas de mais baixas declividades, afastadas dos lineamentos e, preferencialmente, englobam as vertentes convexo-divergentes.

Figura 30 - Modelo de suscetibilidade a movimentos de massa do Morro da Polícia



Fonte: Elaborada pela autora.

As porções de médio grau de suscetibilidade, por sua vez, correspondem a 35,2% da área do Morro da Polícia e compreendem as porções de transição entre alto e baixo grau; correspondem às áreas com classes médias de cada parâmetro avaliado ou às áreas em que um dos parâmetros está representado por classes de notas baixas. O Quadro 8 apresenta os limiares calculados para cada classe e as respectivas características considerando os parâmetros em análise.

Quadro 8 - Limiares de classificação de suscetibilidade e respectivas características

Grau de Suscetibilidade	Limiar	Características
ALTA	$59 < S < 100$	Vertentes com declividades entre 15 e 30%, de forma côncava-convergente, distante até 40 m do lineamento; vertentes com declividades entre 30 e 45%, com formas côncava-divergente, convexa-convergente e côncava-convergente, distantes até 60 m dos lineamentos; todas as vertentes côncava-convergentes de declividade entre 45 e 60%, independentemente da distância dos lineamentos, demais vertentes com declividade entre 45 e 60%, distantes até 80 m dos lineamentos; todas as vertentes com declividade acima de 60%.
MÉDIO	$39 < S < 59$	Vertentes com declividade entre 15 e 30%, independentemente da forma, distantes até 60 m dos lineamentos, à exceção das vertentes côncava-convergentes que ocupam essa classe as vertentes com distância de lineamentos entre 40 e 80m; vertentes com declividade entre 30 e 45%, com forma convexa-divergente, côncava-divergente e convexa-convergente distante entre 20 e 80 m dos lineamentos, e com forma côncava-convergente distante a partir de 60 m dos lineamentos. Vertentes com declividade entre 45 e 60%, com exceção da forma côncava-convergente, distante mais de 60m dos lineamentos.
BAIXO	$9 < S < 39$	Vertentes com declividade abaixo de 15%, declividades entre 15 e 30%, distantes mais de 60m dos lineamentos, independentemente da forma; vertentes convexa-divergente, côncava-divergente ou convexa-convergente, com declividade entre 30 e 45%, distantes mais de 80 m dos lineamentos.

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 MODELO DE PERIGO

O modelo de perigo foi obtido a partir da soma do modelo de suscetibilidade e da componente antrópica. Os resultados são descritos a seguir.

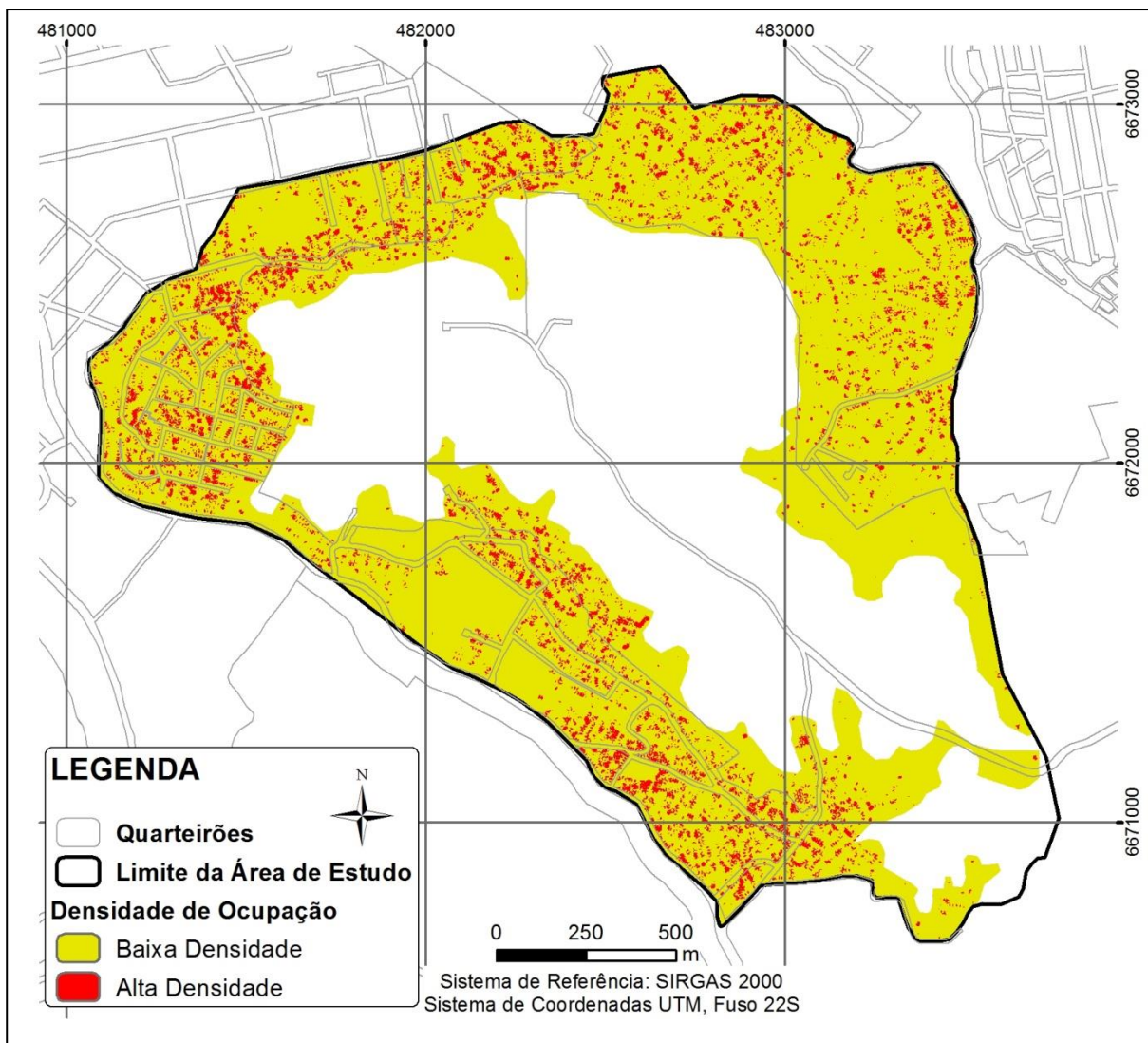
5.2.1 Componente Antrópica

A componente antrópica representa a ação antrópica no condicionamento dos movimentos de massa. Parte-se da premissa de que quanto piores as condições de

urbanização de uma dada área, maior a ocorrência de cortes e aterros mal executados, lançamento concentrado de águas servidas diretamente sobre o terreno, lançamento de resíduos sobre as encostas, impermeabilização e vazamentos nas canalizações, ou qualquer outra modificação que impacte negativamente na dinâmica natural do meio.

Para obtenção da componente antrópica, calculou-se a densidade de ocupação (Figura 31) e se classificou a forma de ordenamento (Figura 32) da área de estudo.

Figura 31 - Distribuição de classes de densidade de ocupação da área de estudo



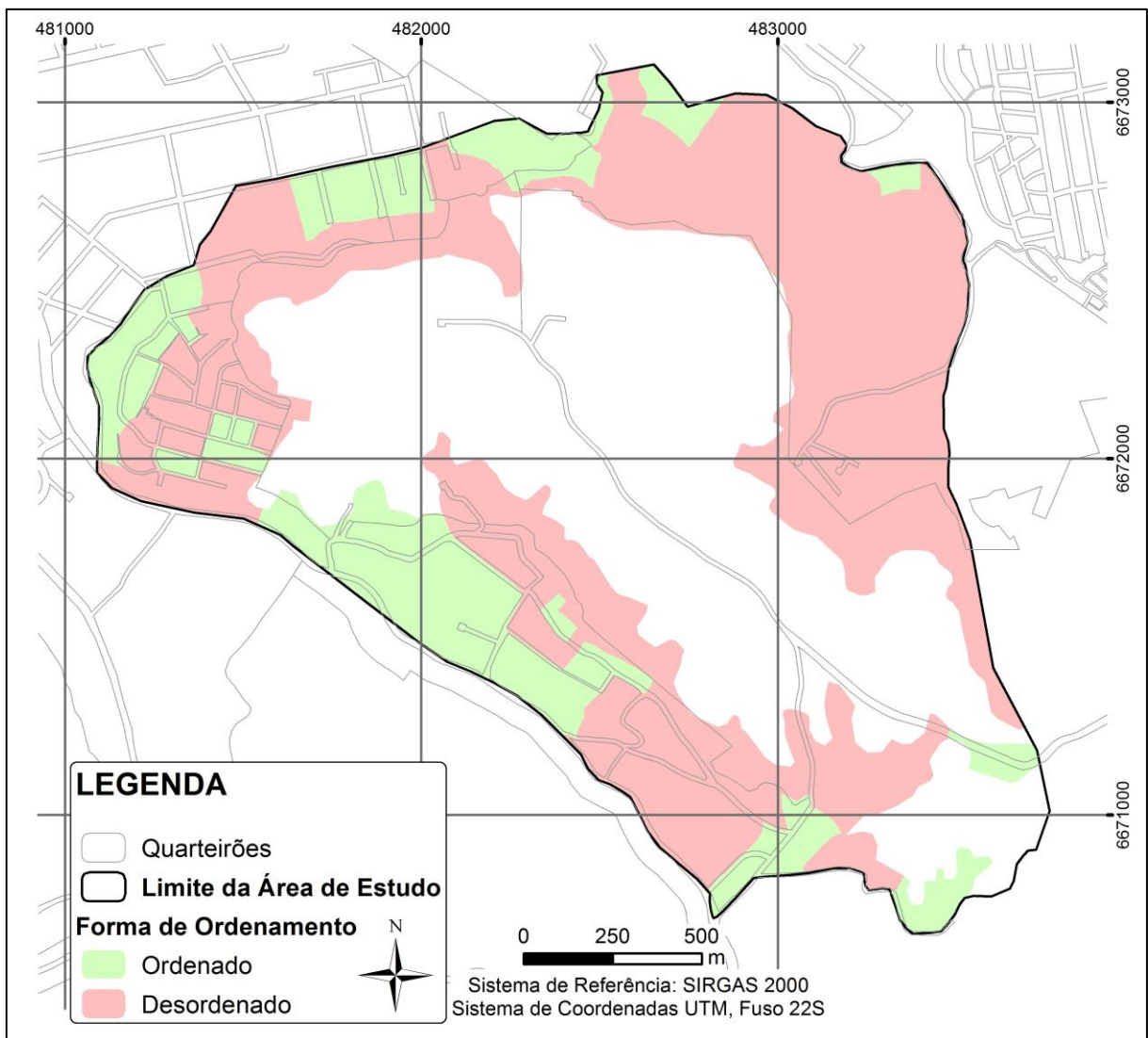
Fonte: Elaborada pela autora.

A densidade de ocupação, analisada em nível de lote, classificou a área em baixa densidade e alta densidade considerando o índice de 0,008 lote/m² como o

padrão de urbanização. Obteve-se como de baixa densidade 90,5% da área que apresentava densidade abaixo deste valor. O restante da área, 9,5%, foi classificado como de alta densidade por apresentar densidades superiores a esse índice.

Quanto à forma de ordenamento, classificou-se a área de estudo, em nível de quarteirão, em ordenado e desordenado. Da área ocupada do Morro da Polícia, 26,7% apresenta padrão de ocupação ordenado e 73,3% apresenta padrão desordenado.

Figura 32 - Classificação da forma de ordenamento



Fonte: Elaborada pela autora.

Entre as características verificadas das áreas classificadas como desordenada está a ausência de pavimentação e de estruturas de drenagem pluvial nas vias (ex. bueiros); evidências de esgoto sanitário lançado diretamente no solo;

vias de circulação de pedestres irregulares ou inexistentes; irregularidade dos lotes; e inexistência de acessos regulares às residências.

O cruzamento dessas duas informações – densidade de ocupação e forma de ordenamento – permitiu obter a componente antrópica condicionante dos movimentos de massa. Foram obtidas quatro classes: ordenado com baixa densidade; ordenado com alta densidade; desordenado com baixa densidade e desordenado com alta densidade, que representam 24,5%, 2,1%, 66,0% e 7,4% da área, respectivamente. A Tabela 6 sintetiza as características da ocupação e o percentual de área que elas ocupam.

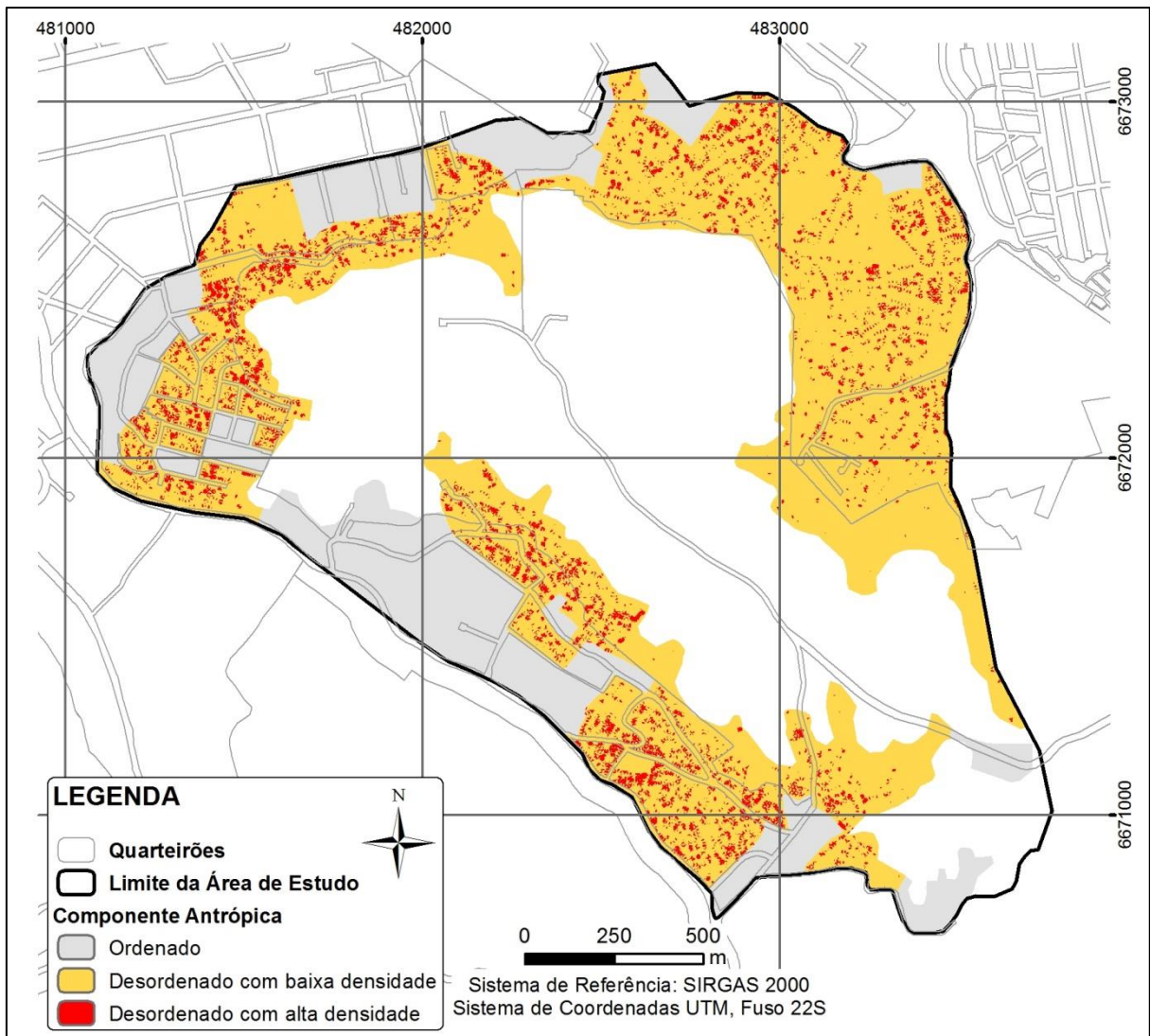
Tabela 6 - Ocorrência de cada componente do fator antrópico

Camada de Informação	Percentual
Densidade	
Baixa densidade	90,5%
Alta densidade	9,5%
Forma de Ordenamento	
Ordenado	26,7%
Desordenado	73,3%
Fator Antrópico	
Ordenado com baixa densidade	24,5%
Ordenado com alta densidade	2,1%
Desordenado com baixa densidade	66,0%
Desordenado com alta densidade	7,4%

Fonte: Elaborada pela autora.

Considerou-se a forma de ordenamento como a característica mais relevante dessa análise e as classes ordenado com baixa densidade e ordenado com alta densidade foram agrupadas em uma classe única. Dessa forma, o mapa final de componente antrópica apresenta três classes: ordenado (A1), de menor peso no condicionamento dos movimentos de massa; desordenado com baixa densidade (A2), de peso médio; e desordenado com alta densidade (A3), com maior influência no condicionamento dos movimentos de massa. A Figura 33 apresenta a distribuição das três classes do fator antrópico na área de estudo.

Figura 33 - Mapa de distribuição da componente antrópica



Fonte: Elaborada pela autora.

Destaca-se a porção nordeste-leste da área com ocupação desordenada, a porção oeste e norte com ocorrência de quarteirões ocupação ordenada e a porção noroeste e sudoeste com as maiores concentrações de áreas com ocupação desordenada e de alta densidade.

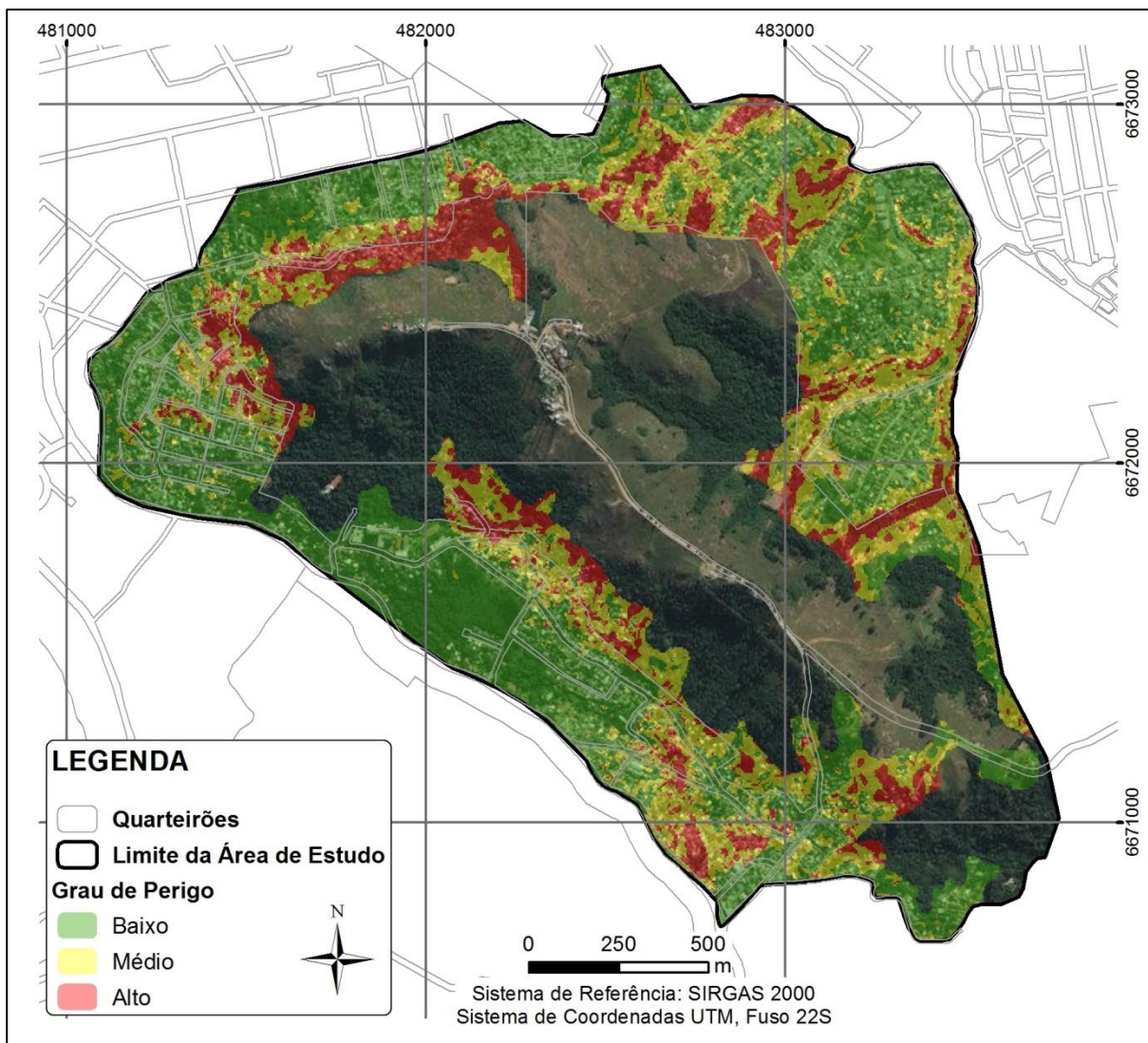
5.2.2 Modelo de Perigo

Uma vez obtidos os mapas de suscetibilidade e a componente antrópica e a partir do cruzamento dessas informações, tornou-se possível a geração do mapa de perigo, que indica as áreas propensas à ocorrência de movimentos de massa condicionados, não só pelas características naturais do terreno, como também pelas

modificações executadas pela população que habita essas áreas e que potencializam a ocorrência dos movimentos.

O modelo de perigo classificou a área de estudo em três classes: alto grau de perigo (P3), médio grau de perigo (P2) e baixo grau de perigo (P1). As áreas de alto grau correspondem a 16,64% da área estudada, as áreas de médio grau correspondem a 29,6% e as áreas de baixo grau correspondem a 53,8% da área estudada. A distribuição dos graus de perigo, na área de estudo, é apresentada na Figura 34.

Figura 34 - Mapa do modelo de perigo para o Morro da Polícia



Fonte: Elaborada pela autora.

Por área de baixo grau de perigo entende-se aquela que apresenta baixa influência antrópica e baixa suscetibilidade natural (18,2%) ou em que uma das

variáveis é de classe baixa e a outra é média (31,4%). Nessas áreas, no geral, a declividade é baixa a moderada, as vertentes apresentam formas divergentes e não há influência dos lineamentos estruturais; e a forma de ordenamento é ordenado ou desordenado com baixa densidade ocupacional.

As áreas de médio grau de perigo caracterizam-se por apresentar média suscetibilidade e médio grau de influência antrópica (26,6%) ou um parâmetro em classe alta e o outro em classe baixa (4,1%). Essas áreas apresentam, no geral, declividades médias, vertentes de forma côncava-divergente ou ainda convexa-convergente e estão sob certa influência dos lineamentos estruturais. Quanto à ocupação, correspondem às áreas de ocupação desordenada de baixa densidade.

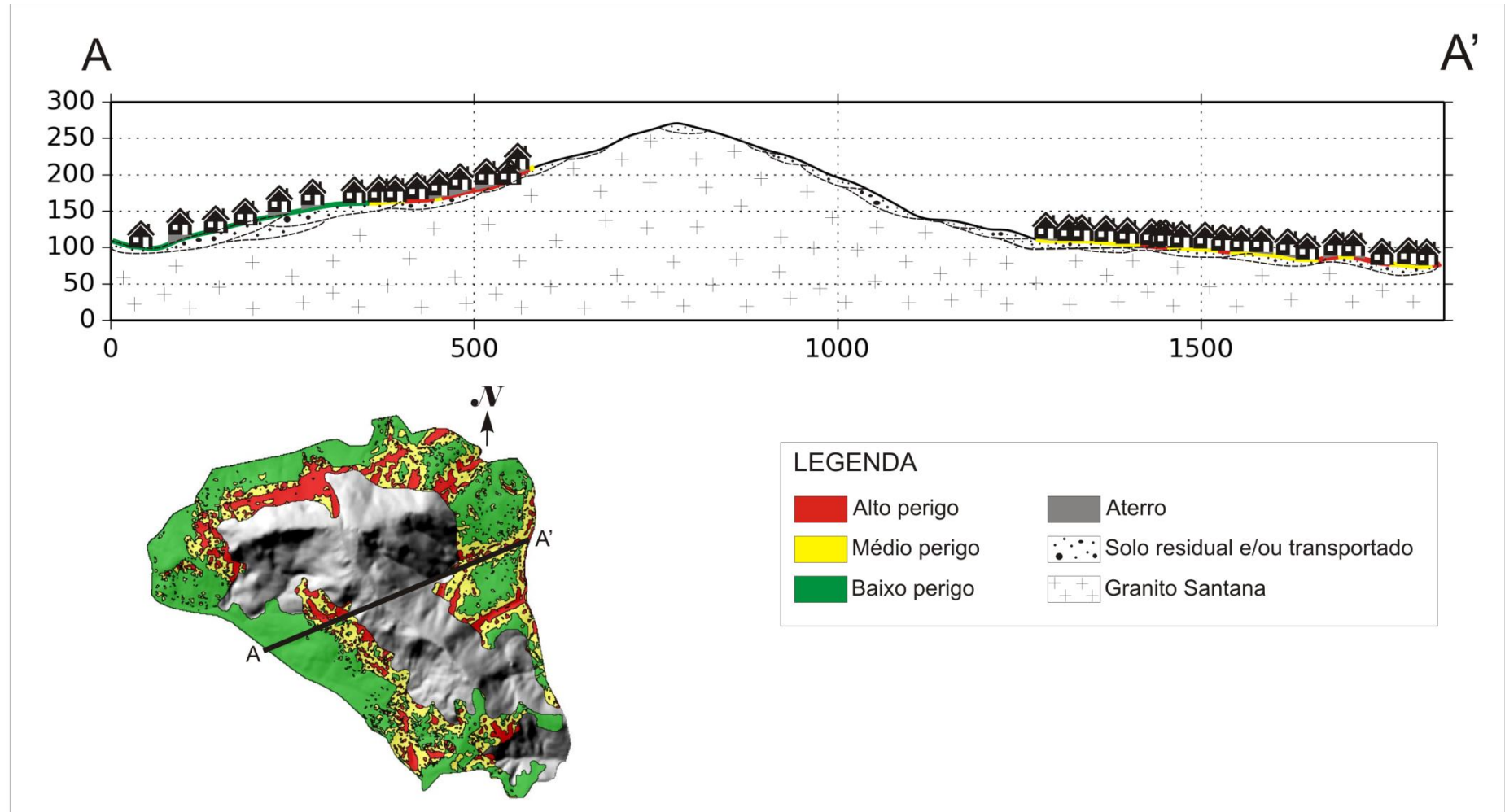
As áreas de alto grau de perigo correspondem às áreas com alta suscetibilidade e alta influência da ocupação (1,4%) ou com um parâmetro de classe média e o outro de classe alta (18,4%). Essas áreas caracterizam-se pelas áreas de maior declividade, com vertentes côncava-convergentes e às áreas mais próximas aos lineamentos estruturais. São áreas de ocupação desordenada.

Quanto à ocupação dessas áreas de perigo, estima-se que há 4.322 edificações em área de baixo grau de perigo, 2.793 em área de médio grau de perigo e 2.040 em área de alto grau de perigo.

Em um perfil topográfico W-SW – E-NE (Figura 35), é possível verificar de forma integrada as características naturais, em especial, geomorfológicas, e a ocupação que condicionam o grau de perigo na área de estudo. Nas áreas indicadas como de baixo grau de perigo, há menor declividade e predomínio de vertentes convexa-divergentes, bem como ocupação ordenada. As áreas indicadas como perigo médio passam a apresentar declividade acentuada, influência de lineamentos e as vertentes apresentam curvaturas côncavas ou convergentes. As áreas classificadas como de perigo alto estão relacionadas às maiores declividades, próximas aos lineamentos e com as vertentes côncava-convergentes, e ocupam as porções do terço médio e superior das encostas.

Outras características da área de estudo foram incorporadas ao perfil apresentado, como a geologia composta pelo Granito Santana (PHILIPP; CAMPOS, 2004; PHILIPP, 2008) e os solos pouco espessos e pouco desenvolvidos, podendo ser residual nas áreas do topo aplainado e transportado nas encostas e sopé do morro, conforme apresentado pela bibliografia (SCHNEIDER et al. 2008; SANTOS, 2014).

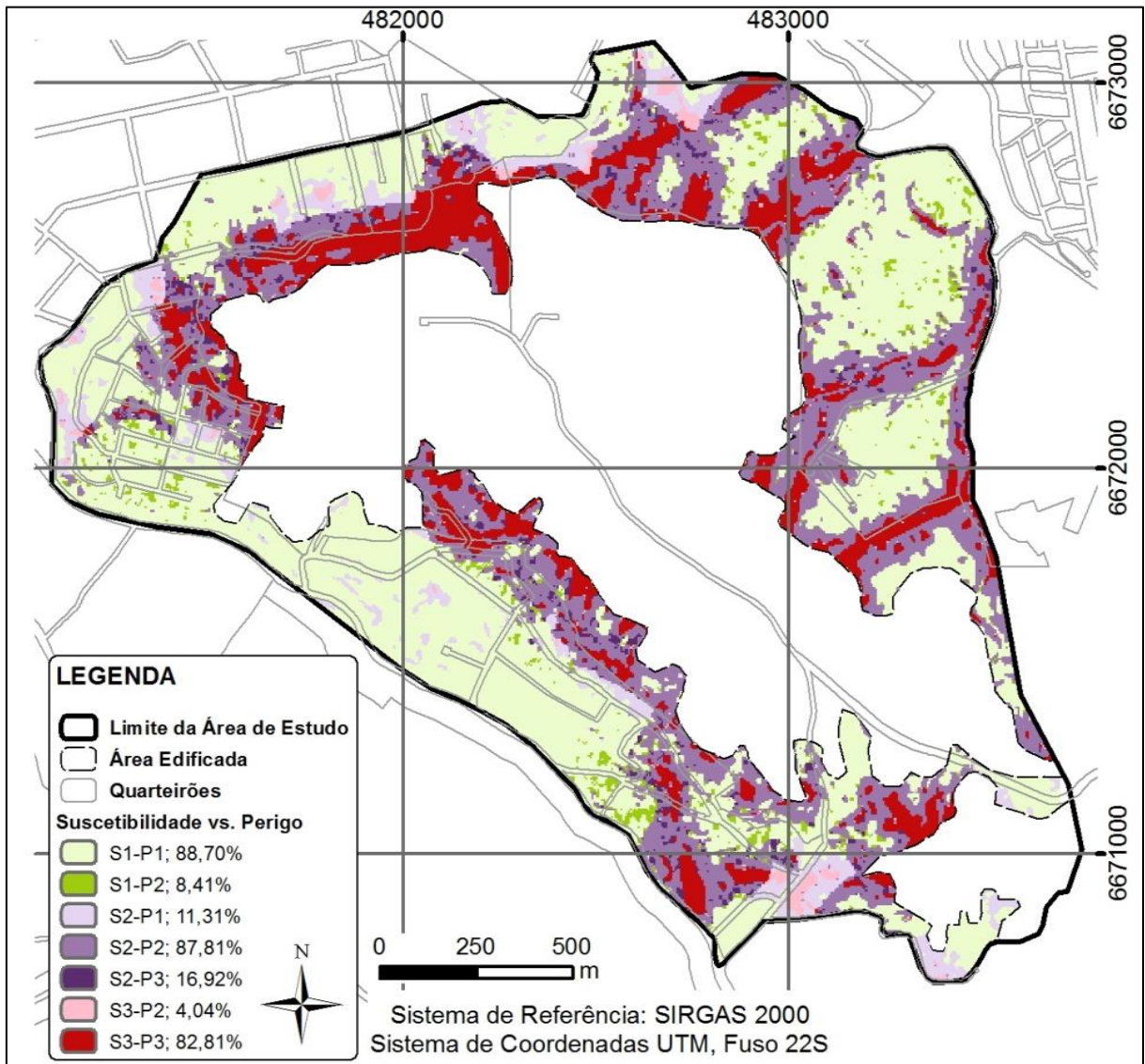
Figura 35 - Perfil topográfico W-SW – E-NE do Morro da Polícia com classificação de perigo.



Fonte: Elaborada pela autora.

No cruzamento dos modelos de perigo e suscetibilidade, é possível quantificar a influência antrópica sobre o meio natural, tanto de forma positiva quando de forma negativa. A Figura 36 apresenta a distribuição espacial do cruzamento das classes de perigo e suscetibilidade e as respectivas porcentagens de concordância entre elas.

Figura 36 - Distribuição da combinação das classes de perigo e suscetibilidade e a respectiva porcentagem de concordância



Fonte: Elaborada pela autora.

De forma positiva, 11,31% da área de baixo grau de perigo (P1) era classificada em médio grau de suscetibilidade (S2). Essa diminuição do grau deu-se pelo cruzamento com a componente antrópica de peso mínimo, relacionada a áreas

cuja forma de ordenamento era ordenado. Dessa mesma forma, 4,04% da área de perigo de grau médio (P2) foi classificada como de alta suscetibilidade (S3).

Por outro lado, áreas de baixa e média suscetibilidade tiveram seus graus de perigo elevados ao serem cruzadas com a componente antrópica de peso máximo, referente às áreas de padrão desordenado e alta densidade de ocupação. Nesse caso, 8,41% da área classificada como médio perigo (P2) apresenta suscetibilidade baixa (S1) e 16,92% da área classificada como perigo alto (P3) demonstra média suscetibilidade (S2). Assim, é possível verificar a influência da ação antrópica como condicionante dos processos de movimento de massa.

5.3 COMPARAÇÃO DOS MODELOS GERADOS COM TRABALHOS PRETÉRITOS

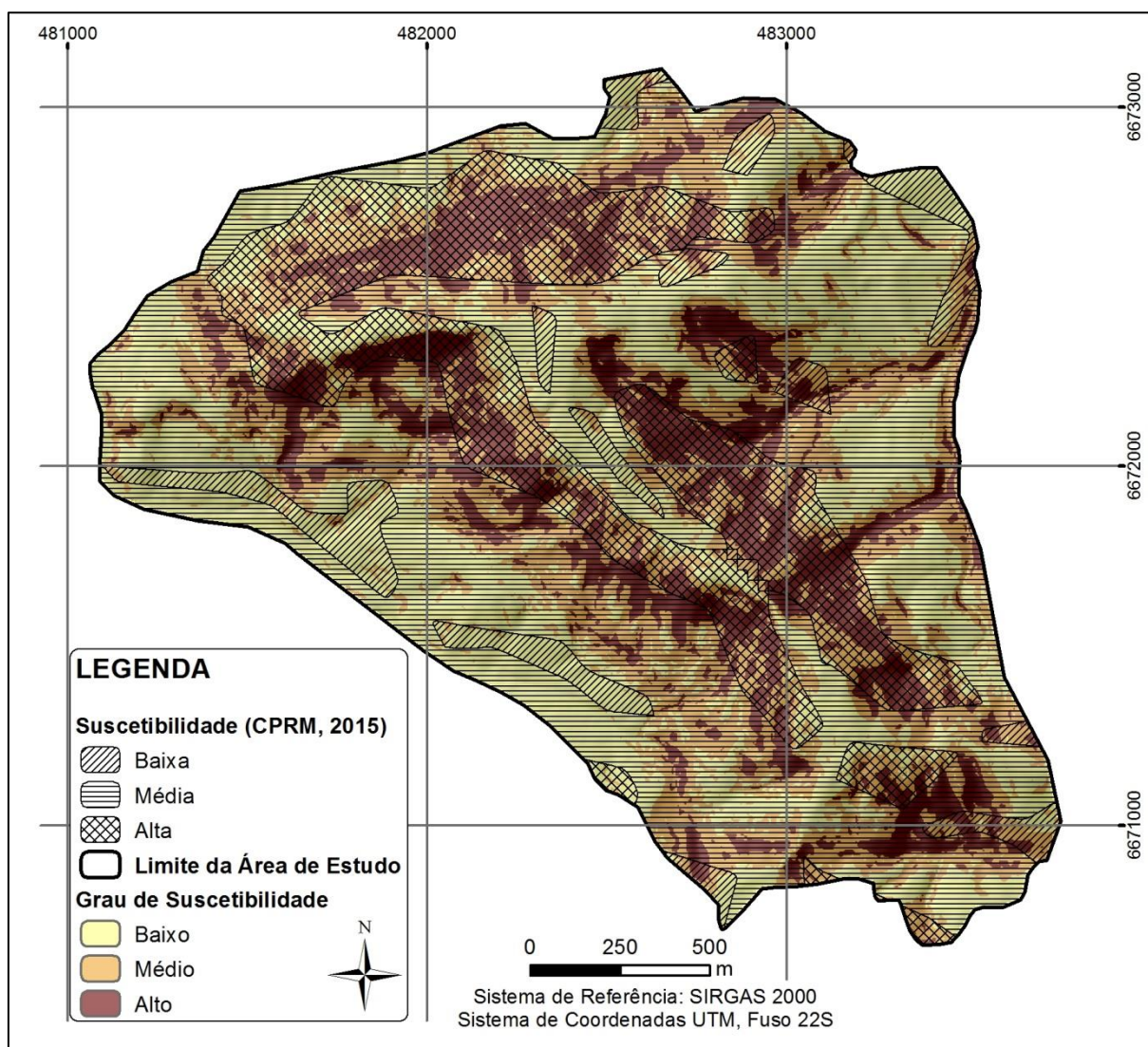
Essa comparação dos produtos gerados com os dados provenientes de trabalhos pretéritos teve por objetivo verificar a representatividade do dado gerado. Em um primeiro momento, comparou-se o modelo de suscetibilidade com a carta de suscetibilidade de CPRM (2015). Posteriormente, comparou-se o modelo de perigo com as ocorrências e potenciais ocorrências de escorregamentos e queda de blocos apresentadas em Brito (2014) e com os setores de risco a movimentos de massa de CPRM (2013).

5.3.1 Modelo de Suscetibilidade *versus* CPRM (2015)

O cruzamento do modelo de suscetibilidade com a carta de suscetibilidade a movimentos de massa de CPRM (2015) permitiu a comparação entre os dois produtos. Deve-se considerar, entretanto, que há uma diferença de escalas de trabalho entre o modelo gerado na presente dissertação, 1:10.000, e a Carta de Suscetibilidade de CPRM (2015), 1:25.000, havendo, neste último, uma maior generalização quando comparado ao produto de maior escala.

Verificou-se que os dois produtos destacam o terço médio e superior das encostas como o de maior suscetibilidade, devido às maiores declividades, e a base e o topo do Morro da Polícia com as suscetibilidades mais baixas, devido ao aplainamento dessas porções da área de estudo. A Figura 37 apresenta uma sobreposição dos produtos que permite comparar os resultados obtidos.

Figura 37 - Comparação entre o modelo de suscetibilidade gerado e a carta de suscetibilidade de CPRM (2015)



Fonte: Elaborada pela autora.

A combinação dos produtos permitiu verificar ainda a concordância entre eles, conforme apresentado na Tabela 7. Cabe destacar que, da classe baixa do modelo, 12,22% corresponde à classe baixa de CPRM (2015); da classe média do modelo, 66,72% também foi classificado como média em CPRM (2015); e da classe alta, a concordância é de 52,26%.

Tabela 7 - Porcentagem de concordância entre o modelo de suscetibilidade e a carta de CPRM (2015)

Classificação do modelo	Classificação de CPRM (2015)	Porcentagem de concordância
Baixa	Baixa	12,22%
Baixa	Média	76,36%
Baixa	Alta	10,92%
Média	Baixa	5,40%
Média	Média	66,72%
Média	Alta	27,88%
Alta	Baixa	2,65%
Alta	Média	45,09%
Alta	Alta	52,26%

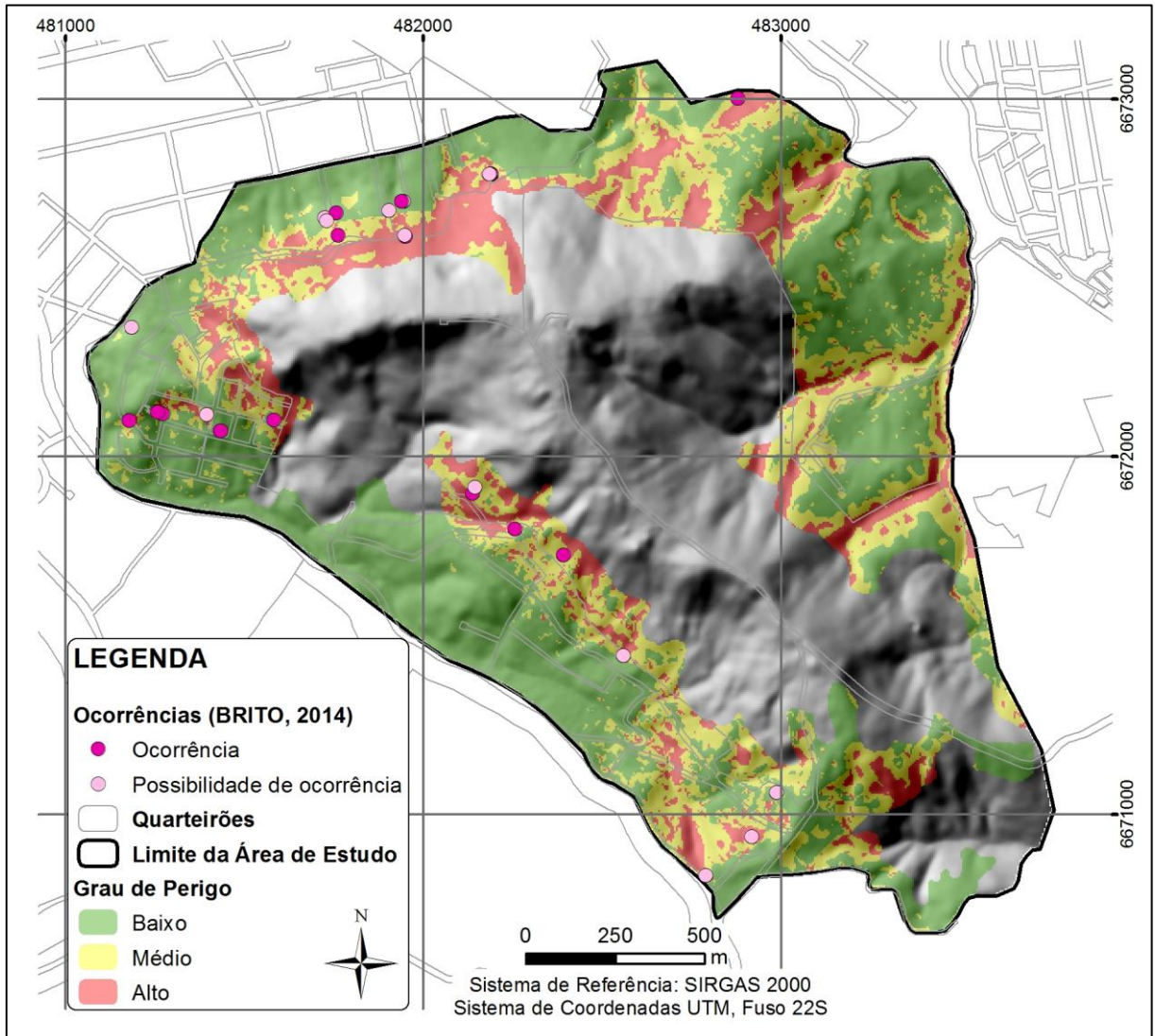
Fonte: Elaborada pela autora.

5.3.2 Modelo de Perigo *versus* BRITO (2014)

Os pontos de ocorrência e potencial ocorrência de escorregamentos e queda de blocos, inventariados por Brito (2014), foram utilizados para a validação do modelo de perigo. Partiu-se da premissa de que as áreas onde há registro pretérito de ocorrência ou que foram apontadas como de potencial ocorrência de um processo são indicativos de áreas com maior propensão ao desencadeamento de novos processos.

Totalizam quinze pontos de ocorrência e quatorze pontos de potencial de ocorrência. A distribuição desses pontos sobre o modelo de perigo gerado é apresentada na Figura 38. Do total de ocorrências de escorregamentos, 14,3% ocorrem nas áreas classificadas como de alto grau de perigo pelo modelo, sendo que esse percentual sobe para 57,1% nas áreas de médio grau. As áreas de perigo baixo apresentam 28,6% das ocorrências de movimentos de massa. Pelo levantamento de Brito (2014), no Morro da Polícia, há registro de uma ocorrência de queda de blocos que ocorreu em área classificada como de baixo perigo a movimentos de massa.

Figura 38 - Comparação entre pontos de ocorrência ou potencial ocorrência de BRITO (2014)



Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação aos pontos de possibilidade de ocorrência de escorregamento, 16,7% ocorrem em áreas apontadas como alto grau de perigo; 33,3% em médio; e 50% das potenciais ocorrências encontram-se em áreas de baixo grau de perigo. Para possibilidade de queda de blocos, 100% são apontadas em áreas de médio grau de perigo. A Tabela 8 apresenta o comparativo das ocorrências e potenciais ocorrências de Brito (2014) e a classificação do modelo de perigo.

Tabela 8 - Comparação entre o inventário de Brito (2014) e a classificação do modelo de perigo

Tipo de Processo	Grau de Perigo			Contagem Total
	Alto	Médio	Baixo	
Escorregamento	14,3%	57,1%	28,6%	14
Possibilidade de Escorregamento	16,7%	33,3%	50,0%	12
Queda de Blocos	0,0%	0,0%	100,0%	1
Possibilidade de Queda de Blocos	0,0%	100,0%	0,0%	2

Fonte: Elaborada pela autora.

Embora a maioria dos registros não esteja nas áreas de alto grau de perigo, pela distribuição espacial, é possível verificar que, no geral, as ocorrências estão próximas ou no limiar das áreas de maior grau de perigo. Como esse dado é secundário, pode haver incertezas quanto ao ponto exato de ocorrência dos processos, o que justifica a divergência das informações.

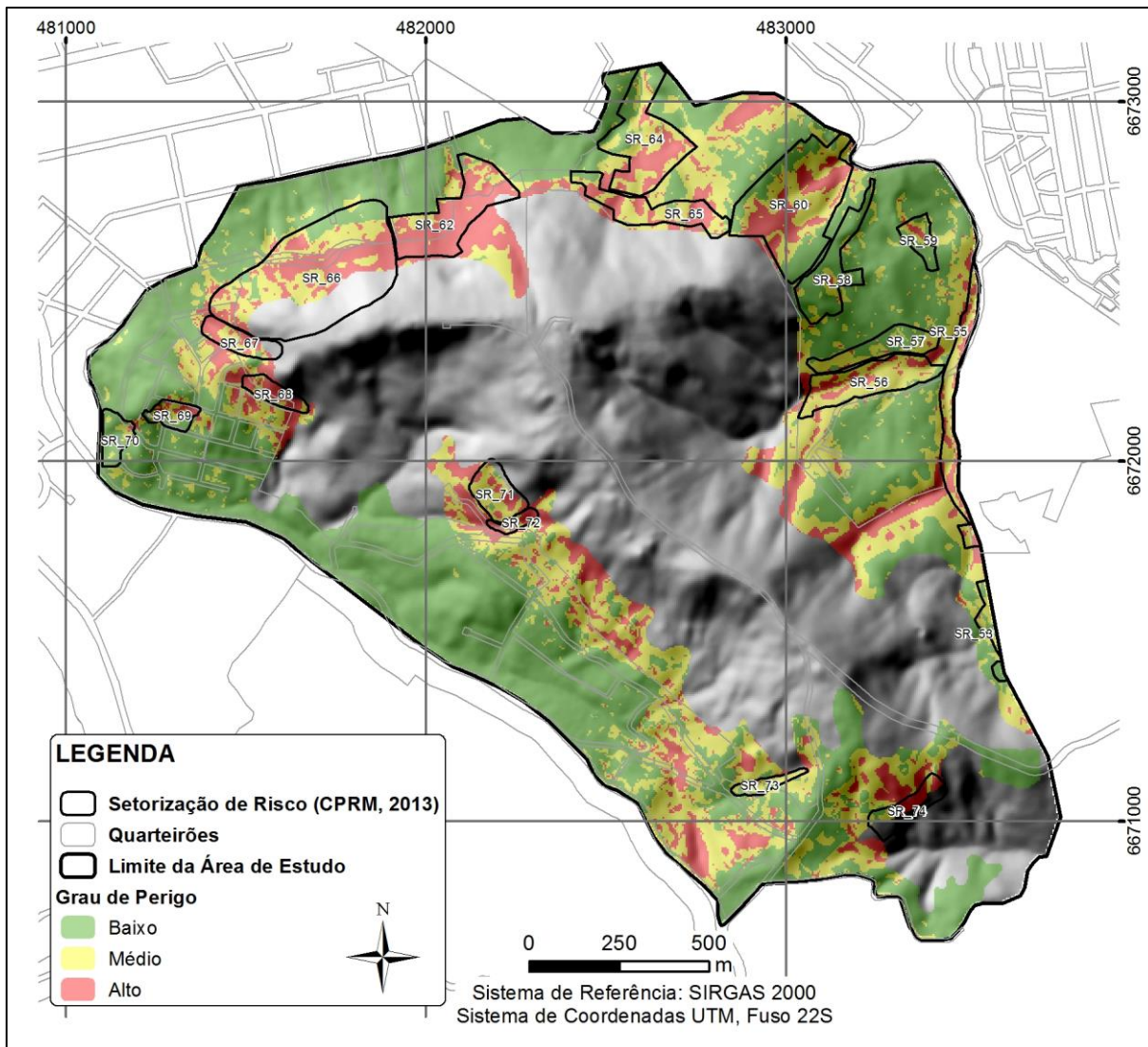
5.3.3 Modelo de Perigo *versus* CPRM (2013)

A setorização de risco executada pela CPRM, em 2013, apontou, no Morro da Polícia, vinte setores de risco alto a movimentos de massa, incluindo os processos de escorregamentos, corridas de detritos e queda de blocos, além de processos fluviais associados. Os setores de risco estão distribuídos ao longo das encostas do morro, com declividades mais acentuadas, e ao longo de linhas de drenagem, em que a vertente apresenta forma côncava-convergente. A Figura 39 apresenta a distribuição dos setores de risco a movimentos de massa, na área de estudo, mapeados por CPRM (2013).

Quando cruzado os setores de risco de CPRM (2013) com o modelo de perigo proposto na presente dissertação, verifica-se, na maioria dos casos, que os setores estão nas áreas modeladas como de alto e médio grau de perigo. Cabe destacar que os setores 54, 55, 62, 67, 68, 72 e 74 apresentam mais de 50% de área com alto grau de perigo; e os setores 62 e 72 apresentam correspondência de 81,99% e 82,58%, respectivamente, com áreas de alto grau de perigo. Por outro lado, destacam-se os setores 58, 59 e 70, em que mais de 50% da área

corresponde a baixo grau de perigo. A Tabela 9 apresenta a correspondência das classes de perigo com todos os setores de risco mapeados no Morro da Polícia.

Figura 39 - Comparação entre o modelo final e a setorização de risco de CPRM (2013)



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 9 - Percentual de compatibilidade entre modelo de perigo e setores de risco de CPRM (2013)

Setores de Risco	Processo	Área total (m ²)	Área	Perigo		
			modelada (m ²)	Baixo	Médio	Alto
RS_POA_SR_53_CPRM	Deslizamento, enxurrada e queda de blocos	12417,31	3264,77	8,93%	90,30%	0,77%
RS_POA_SR_54_CPRM	Deslizamento e enxurrada	11398,78	2311,17	0,00%	47,94%	52,06%
RS_POA_SR_55_CPRM	Deslizamento, enxurrada e solapamento de margem	31562,80	19948,12	0,73%	45,10%	54,18%
RS_POA_SR_56_CPRM	Deslizamento, enxurrada e solapamento de margem	32178,62	29479,33	3,63%	67,89%	28,48%
RS_POA_SR_57_CPRM	Deslizamento	19648,44	17823,68	48,30%	48,11%	3,59%
RS_POA_SR_58_CPRM	Deslizamento	27110,61	26768,67	79,67%	18,11%	2,21%
RS_POA_SR_59_CPRM	Deslizamento	8841,63	8059,14	55,89%	27,70%	16,41%
RS_POA_SR_60_CPRM	Deslizamento, enxurrada e inundação	78741,14	77318,74	30,84%	37,79%	31,37%
RS_POA_SR_62_CPRM	Deslizamento planar e queda de blocos	43676,46	40708,99	0,51%	17,50%	81,99%
RS_POA_SR_64_CPRM	Deslizamento e enxurrada	47828,26	44643,70	28,23%	39,80%	31,97%
RS_POA_SR_65_CPRM	Deslizamento planar e queda de blocos	27055,60	26907,76	10,18%	46,97%	42,85%
RS_POA_SR_66_CPRM	Deslizamento planar e queda de blocos	123314,37	85368,80	17,78%	39,18%	43,04%
RS_POA_SR_67_CPRM	Deslizamento planar e corrida de detritos	12951,25	10784,58	4,39%	37,83%	57,78%
RS_POA_SR_68_CPRM	Deslizamento planar	9270,50	8285,83	1,21%	31,99%	66,80%
RS_POA_SR_69_CPRM	Deslizamento planar	8504,81	8504,81	36,95%	37,90%	25,15%
RS_POA_SR_70_CPRM	Deslizamento planar	9930,91	9868,60	79,58%	14,35%	6,07%
RS_POA_SR_71_CPRM	Deslizamento planar e queda de blocos	16428,05	14311,27	4,54%	64,02%	31,44%
RS_POA_SR_72_CPRM	Corrida de detritos	4597,87	4597,88	0,00%	17,42%	82,58%
RS_POA_SR_73_CPRM	Corrida de detritos e enxurrada	6034,52	5210,96	27,40%	67,76%	4,84%
RS_POA_SR_74_CPRM	Deslizamento planar	14994,78	7626,35	10,99%	33,83%	55,18%

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao comparar os modelos gerados pela metodologia proposta nessa dissertação com trabalhos pretéritos, verifica-se uma representatividade dos modelos na área de estudo ao considerar fatores naturais e antrópicos como condicionantes dos movimentos de massa.

A declividade foi a componente natural que recebeu maior peso, justificando-se pelo fato de que a componente gravitacional é a motora dos movimentos e está diretamente relacionada à indução dos fluxos e à velocidade dos mesmos (CATANI et al, 2005; KUNUNGO et al, 2009; KANNAN; SARANATHAN; ANABALAGAN, 2013). A depender do ângulo de inclinação, diferentes processos de movimentos de massa podem ser induzidos. Queda de rochas está associada a encostas de maiores declividades (INFANTI JR.; FORNASI FILHO, 1998). Já os escorregamentos ocorrem a qualquer declividade e está impactará diretamente na velocidade dos fluxos (AUGUSTO-FILHO, 1992; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Quanto à forma das vertentes, principalmente as vertentes côncavas-convergentes são as que condicionam as linhas de corrida, ou áreas preferenciais aos movimentos de massa em função da concentração dos fluxos (HILBERTS et al, 2004). Quando associadas à ocupação desordenada com lançamento concentrado de água servida em superfície ou com vazamentos em canalizações, essas vertentes côncavas-convergentes configuram áreas de alto perigo.

Zonas próximas a lineamentos estruturais apresentam maior alteração do substrato rochoso, caminhos preferenciais de água e em caso de Os planos de fraqueza, representados por lineamentos estruturais, configuram planos preferenciais para ocorrência de escorregamentos planares (GUIDICINI; NIEBLE, 1983). Os lineamentos são fundamentais ainda no condicionamento de queda de rochas. Planos de fratura existentes nas rochas podem destacar blocos de rocha que em função da gravidade desprendem-se do maciço principal (INFANTI JR.; FORNASI FILHO, 1998). Os lineamentos poderiam ser avaliados em termos de densidade de lineamentos e/ou intersecção de lineamentos.

Quanto à componente antrópica, o objetivo foi avaliar o impacto da ocupação no condicionamento dos movimentos de massa no Morro da Polícia. Para isso considerou-se a densidade e a forma de ordenamento da ocupação. Cabe destacar que Sepúlveda e Petley (2015) apontaram a densidade da ocupação como um dos condicionantes dos movimentos de massa para a América Latina.

Considerou-se, desta forma, que quando o número de residências por área ultrapassa os valores definidos pelo Plano Diretor Municipal (PMPA, 2010), então as condições de urbanismo não são as ideais. A forma de ordenamento da ocupação tem por objeto representar como a área é ocupada e quanto de infraestrutura se tem disponível como esgoto sanitário, drenagem pluvial, pavimentação. Para as áreas de alta densidade e com condições desordenadas de ocupação considera-se maior a possibilidade de intervenções no ambiente natural que venham a modificar a estabilidade das vertentes. Nessas áreas espera-se a autoconstrução, utilização do sistema de corte e aterro para conformação de lotes, vazamentos em rede de água e esgoto, lançamento de resíduos etc.

Os modelos de suscetibilidade e perigo poderiam ter considerado outras variáveis relevantes no desencadeamento dos processos superficiais, como tipo e espessura do solo e orientação das vertentes, entretanto estas variáveis foram escolhidas com base na bibliografia especializada e quando comparadas a trabalhos pretéritos na área de estudo apresentaram uma significativa representatividade para a área de estudo, com boa a muito boa relação com estudos já realizados.

A análise de perigo ora apresentada representa a possibilidade real de pessoas e residências serem atingidas por processos de movimentos de massa. Mais do que isso, a análise considera ainda a participação antrópica no condicionamento dos processos, porque a forma de ordenamento da ocupação e a densidade de ocupação são condicionantes utilizados no modelo.

6 CONCLUSÕES

As áreas de risco de movimentos de massa no Brasil, no geral, são resultado da ocupação irregular de áreas naturalmente propensas aos processos de dinâmica superficial. Esses processos são ainda potencializados pelas intervenções executadas pela própria população, que passa de vítima do processo para agente condicionante. A identificação dessas áreas é fundamental para que se desenvolva, em todas as esferas da administração pública, o gerenciamento dessas áreas por meio de políticas públicas para a redução de risco de desastre natural.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo principal analisar o perigo a movimentos de massa no Morro da Polícia, localizado na região central do município de Porto Alegre (RS), valendo-se de ferramentas geotecnológicas e de informações preexistentes para a área de estudo.

Pelo histórico de ocupação da área e pelos levantamentos bibliográficos que apontam para a ação antrópica como condicionante de movimentos de massa, optou-se por considerar as condicionantes naturais da área de estudo, declividade, forma das vertentes e distância de lineamentos, analisadas no âmbito do modelo de suscetibilidade, bem como as condicionantes antrópicas dos movimentos, representadas pela forma de ordenamento e densidade de ocupação, constituindo-se em uma componente antrópica que foi somada ao modelo de suscetibilidade para a obtenção do modelo de perigo.

O modelo de perigo indicou, então, que 16,64% da área estudada apresenta grau alto, estando distribuída, predominantemente, em porções de vertentes de maior declividade e associada a vales em que a forma da vertente é côncava-convergente. Estas áreas englobam 2.040 edificações. As áreas de médio grau correspondem a 29,6% e englobam 2.793 edificações. As áreas de baixo grau, por sua vez, concentram 53,8% da área estudada, englobam 4.322 edificações e estão associadas a áreas de mais baixa declividade, com ocupação ordenada.

Quando comparado a trabalhos anteriores, respeitando especificidades de cada metodologia, o modelo de perigo apresenta boa representatividade. As áreas modeladas como de alto perigo, geralmente, estão associadas a áreas em que se tem algum tipo de ocorrência pretérita ou que está englobada por setor de risco de CPRM (2013). Percebeu-se que áreas que não foram setorizadas ou que não

constam nas ocorrências de Brito (2014) foram apontadas como de alto grau de perigo. Isso pode ser considerado uma vantagem do modelo de perigo aqui apresentado, devendo essas áreas serem analisadas em campo e inseridas em um plano de gerenciamento, caso seja constatado realmente o perigo indicado.

A análise de risco não foi realizada porque não se tinha por objetivo avaliar a vulnerabilidade da população e das construções. Esse tipo de análise é bastante complexa e dependente de dados que não foram abordados no presente trabalho.

Por fim, destaca-se as geotecnologias que se mostraram importantes ferramentas para o desenvolvimento deste trabalho, não só no âmbito do SIG, como também no que diz respeito aos recursos disponíveis de forma gratuita e com qualidade nas plataformas Google. As tecnologias disponíveis permitem a elaboração de modelos indicativos das características de uma área mesmo antes de se ir até ela, facilitando e tornando as atividades de campo menos dispendiosas, uma vez que se pode trabalhar apenas com a validação dos modelos gerados, sem a necessidade de levantamento de dados primários para a posterior confecção dos mapas.

A validação de campo, entretanto, ainda é de suma importância, já que o mapeamento de áreas propensas a movimentos de massa envolve muitos detalhes, por vezes, imperceptíveis aos modelos matemáticos e aos levantamentos de dados, especialmente, em trabalhos de maior escala.

Como recomendações para a continuidade dos estudos, sugere-se a execução de trabalho de campo para validação *in loco* do modelo de perigo gerado. Recomenda-se também a inclusão de outros parâmetros como tipo e espessura de solo, mapeamento de feições como campo de blocos e paredões rochosos fraturados, que podem gerar queda de blocos de rocha, além de estudo detalhado dos talwegues, evidenciados nos dados geomorfológicos, que podem estar associados ao condicionamento de corridas de massa e enxurradas. Recomenda-se ainda a manutenção atualizada de inventário de ocorrências de movimentos de massa, para servir de subsídio ao aprimoramento dos modelos matemáticos de movimentos de massa nos morros graníticos de Porto Alegre.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, David E. A brief survey of GIS in mass-movement studies, with reflections on theory and methods. **Geomorphology**. V. 95, p. 261 – 267, 2008.

ANGUELOV, Dragomir et al., Google Street View: Capturing the World at Street Level. **Computer**, vol. 43, n. 6, p. 32-38, June 2010.

ASTE, Jean-Pierre. Landslide Hazard Analysis – Landslide Risk Mapping. In: ALMEIDA-TEIXEIRA et al (eds). **Prevention and control of landslides and others mass movements**, p.165-170, Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 1991.

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: COBRAE, I. 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. v. 2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, Oswaldo; VIRGILI, José Carlos. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.D.S.; BRITO, S.N.A.D. (Eds). **Geologia de Engenharia**. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

BITAR, Omar Yazbek; FREITAS, Carlos Geraldo Luz de; FERREIRA, André Luiz. Classificação de declividade para fins de normalização geotécnica em planejamento urbano: estudo em áreas de domínio pré-cambriano na região sudeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., CONGRESSO DE GEOLOGIA DOS PAÍSES DA LÍNGUA PORTUGUESA, Santos. **Resumo...** 1p. 2012.

BOARDMAN, John. The value of Google Earth™ for erosion mapping. **Catena**, p. 1-5. ago. 2016. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/catena>. Acesso em: 16 maio 2018.

BRASIL. **Lei nº 6788, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe a respeito do Parcelamento do Solo Urbano. Brasília. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L6766.htm>. Acesso em: 09 mai. 2018.

BRASIL. **Lei nº12608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 05 abr. 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; IPT. 176p. 2007.

BRITO, Mariana M.. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**. 2014. 167p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre, 2014.

CAMARINHA, Pedro I. M.; CANAVESI, Vanessa; ALVALÁ, Regina C. S.. Shallow landslide prediction and analysis with risk assessment using a spatial model in a coastal region in the state of São Paulo, Brazil. **Natural Hazards And Earth System Science**. V. 14, n. 9, p. 2449 - 2468, 2014.

CARVALHO, Délton Winter de; DAMACENA, Fernanda Dalla Libera. Direito dos Desastres. Porto Alegre: Livraria do Advogado. Editora, 152p. 2013.

CASCINI, Leonardo. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. **Engineering Geology**, vol. 102, p.164-177, 2008.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional em Defesa Civil. 5ª edição. 2008. Disponível em <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=71458606-5f48-462e-8f03-4f61de3cd55f&groupId=10157> Acesso em: 01 mai. 2018.

CATANI, Filippo et al. Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. **Landslides**, vol.2, p.329-342, 2005.

CHALKIAS, Christos; FERENTINOU, Maria; POLYKRETIS, Christos. GIS Supported Landslide Susceptibility Modeling at Regional Scale: Na Expert-Based Fuzzy Weighting Method. **ISPRS Int. J Geo-Information**, v. 3, p. 523 – 539, 2014.

COE, Jeffrey et al. Landslide susceptibility from topography in Guatemala. **Landslides: Evaluation and Stabilization/Glissement de Terrain**. V. 1, p.69 - 78, 2004.

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.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil.. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. 2015. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/PortoAlegre_120215.pdf>. Acesso em 10 de março de 2017.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Setorização de Riscos Geológicos**. 2018a. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>> Acesso em: 17 abr. 2018.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. 2018b. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html>> Acesso em: 17 abr. 2018.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil; IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações**: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2014.

CRUDEN, David. A simple definition of a landslide. **Bulletin Of The International Association Of Engineering Geology**. V. 43, n. 1, p. 27 - 29, 1991.

CRUDEN, David. The First Classification of Landslides? **Environmental & Engineering Geoscience**. V. 9, n 3, p. 605 - 608, 2003.

CRUDEN, David; VANDINE, Douglas. Classification, Description, Causes and Indirect Effects – Canadian Technical Guidelines and Best Practices related to Landslides: a national initiative for loss reduction. **Geological Survey of Canada**. Open File 7359, 22 p., 2013.

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

CUNICO, Cila; OKA-FIORI, Chisato. O Estado de Normalidade e o Estado de Exceção diante da importância das categorias de “Vulnerabilidade”, “Risco” e “Resiliência”. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 15, n. 52, p. 01 - 20, 2014.

DAI, F.C.; LEE, Chin Fei.; NGAI Y.Y., Landslide risk assessment and management: an overview. **Engineering Geology**, v. 64, p. 65-87, 2002.

DE BIASI, Mário. A CARTA CLINOGRÁFICA: OS MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO E SUA CONFECÇÃO. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, nov. 2011. ISSN 2236-2878. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47110>>. Acesso em: 03 aug. 2018.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro: SNLCS, 83p. 1979.

ERCANOGLU, Murat; GOKCEOGLU, Candan. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone área (West Black Sea Region, Turkey). **Engineering Geology**, v.75, n.1, p. 229-250, 2004.

ESRI. **Curvature function**. ArcMap 10.3. 2017. Disponível em <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>> Acesso em: 29 Abr. 2017.

FAERTES, Ricardo; CHANAN, Lenice M. C.; MOURA, Sérgio A.M. de. **Áreas de Risco Geológico- Geotécnico**. In: I ECO-POA – Mostra Sobre o Meio Ambiente de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente / UFRGS / Instituto de Geociências, Porto Alegre, p31 - 33. 1995.

FELL, Robin et al. Keynote lecture – Geotechnical engineering of stability of natural slopes and cuts and fills in soil. Invited Papers. **GeoEng 2000**, v.1, p.21-120, 2000.

FELL, Robin et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**. V. 102, n. 3 - 4, p.85 - 98, 2008.

FLORENZANO, Teresa G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, Teresa G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 11 – 30, 2008.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos M.. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2ed. Ampliada e revisada. São Paulo: Editora Blucher, 1983. 196 p.

HASENACK, Heinrich; WEBER, Eliseu José; LUCATELLI, L.M.L. **Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-03-6. 2010. Disponível em <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 15 Fev. de 2017.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. The landslide handbook - A guide to understanding landslides. **USGS Geologic Hazards**. Circular 1325, 129 p., 2008.

HILBERTS, Arno G.J. et al. The hillslope-storage Boussinesq model for non-constant bedrock slope. **Journal Of Hydrology**, v. 291, n. 3-4, p.160-173, jun. 2004.

HUNGR, Oldrich; LEROUEIL, Serge; PICARELLI, Luciano. The Varnes Classification of landslide types, an update. **Lanslides**. V. 11, p. 167 - 194, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Aglomerados Subnormais – Levantamento de Informações Territoriais – Referências Básicas. Segundo Encontro Nacional de Chefes de Agências do IBGE, Angra dos Reis/RJ. 43p. 2009. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv83589.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área da Unidade Territorial: Porto Alegre**. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431490>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

IETTO, Fabio et al. Geotechnical and landslide aspects in weathered granitoid rock masses (Serre Massif, Southern Calabria, Italy), **Catena**, v. 145, p.301-315, 2016.

INFANTI JR, Nelson; FORNASARI FILHO, Nilton. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 131 - 152. 1998.

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

KANNAN, M; SARANATHAN. E.; ANABALAGAN, R. Landslide vulnerability mapping using frequency ratio model: a geospatial approach in Bodi-Bodimettu Ghat section, Theni district, Tamil Nadu, India. **Arabian Journal of Geoscience**, v.6, p. 2901-2913, 2013.

KANUNGO, Debi Prasanna et al. 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**, vol. 85, p. 347-366, 2006.

KANUNGO, Debi Prasanna et al. Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping – A Review. **Journal of South Asia Disaster Studies**. V. 2, n. 01, p. 81 – 105, 2009.

JENKS, George. The Data Model Concept in Statistical Mapping. **International Yearbook of Cartography**, vol. 7, p.186-190. 1967.

LA RED. Red de Estudios Sociales em Prevención de Desastres em America Latina. **Agenda de investigación y constitución orgânica**. Lima: COMECSO/ITDG, 1993.

LINDAU, Heloisa G., Implicações dos Modelos Tecnogênicos na Morfodinâmica e no Uso do solo das Encostas do Morro da Polícia – Porto Alegre. **Boletim Gaúcho de Geografia**. Porto Alegre, v. 27, n. 1, p. 154 – 159, 2001.

LIVI, F. P. Elementos do Clima: o contraste de tempos frios e quentes. In: MENEGAT, R. et al (coords). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora Universidade / UFRGS, 3 ed. rev. 256p. 2006.

MACEDO, Eduardo Soares de; MARTINS, Pedro P. D.. Análise do Banco de Dados de Morte por Deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Anais... 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, Bento Gonçalves – RS, 2015.

MARIOLAKOS, I. Prediction of Natural Mass Movement in Tectonically-Active Areas. In: ALMEIDA-TEIXEIRA et al (eds). **Prevention and control of landslides and others mass movements**, p.68-81, Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 1991.1991

MENEGAT, Rualdo; HASENACK, Heinrich; CARRARO, Clovis C. As formas da superfície: síntese do Rio Grande do Sul. In: MENEGAT, R. et al (coords). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora Universidade / UFRGS, 3 ed. rev. 256p. 2006.

MORENO, José Alberto. Clima do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, V. 1, n. 11, p. 49 - 83, 1961.

MUÑOZ, V. A. **Análise Geomorfométrica de Dados SRTM Aplicada ao Estudo das Relações Solo-Relevo**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 112p. 2009.

NUCCI, João Carlos; FERREIRA, Manoella Barros Pedreira; VALASKI, Simone. Cobertura do solo e qualidade ambiental urbana como subsídios ao planejamento da paisagem. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ESTUDIOS TERRITORIALES Y AMBIENTALES, 6., 2014, São Paulo. **Congresso...**p. 1-17, 2014.

NUMMER, Andrea Valli; PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. Dinâmica de Encosta: movimentos de massa. In: ROBAINA, Luís Eduardo de Souza; TRENTIN, Romario (Org.). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2013. Cap. 3. p. 67-96.

NUNES. Lucí Hidalgo. **Urbanização e Desastres Naturais** – Abrangência América Latina. São Paulo: Oficina de Textos, 112p. 2015.

OSM. Open Street Map. **Index of South-America**. Disponível em <<http://download.geofabrik.de/south-america/>> Acesso em 10 mar. 2018.

OTT, Carla. **Gestão pública e políticas urbanas para cidades sustentáveis: a ética da legislação no meio urbano aplicada às cidades com até 50.000 habitantes**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 198p. 2004.

PETLEY, Dave. Global Patterns of loss of life from landslides. **Geology**. V. 40, n. 10, p. 927 - 930, 2012.

PHILIPP, Ruy P. Geologia. In: HASENACK, Heinrich (coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 84p., 2008.

PHILIPP, Ruy P.; CAMPOS, Roberto S.. Geologia. Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. **Revista Pesquisas em Geociências**. V. 2, n. 31, p.79 – 94, 2004.

PMPA. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Diretor (Lei Complementar 646/10)**. 2010. Disponível em <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=205>. Acesso em: 10 mar. 2018.

PRADHAN, Biswajeet; LEE, Saro. Landslide risk analysis using artificial neural network model focusing on different training sites. **International Journal of Physical Sciences**. V. 4, p. 01 – 015, 2009.

POURGHASEMI, Hamid Reza; PRADHAN, Biswajeet; GOKCEOGLU, Candan. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. **Natural Hazard**, vol. 63, pp. 965-996, 2012.

RECKZIEGEL, Elisabete Weber. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. 2012. 88 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia. UFRGS, Porto Alegre, 2012.

RIFFEL, Eduardo Samuel; GUASSELLI, Laurindo Antonio; BRESSANI, Luiz Antonio. Desastres Associados a Movimentos de Massa: Uma Revisão de Literatura. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 2, 2016.

ROBAINA, Luís Eduardo de Souza; OLIVEIRA, Edson Luiz de Almeida. Bases conceituais para o estudo de áreas de risco em ambientes urbanos. In: ROBAINA, Luís Eduardo de Souza; TRENTIN, Romario (Org.). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2013. Cap. 1. p. 21-35.

ROBAINA, Luís Eduardo de Souza; TRENTIN, Romario. Áreas de risco por processos de dinâmica geomorfológica no Rio Grande do Sul: fundamentos e conceitos. **Geografia**. Rio Claro, v. 38, n. 3, p. 589 - 607, 2013.

RUNDLE, Andrew G. et al. Using Google Street View to Audit Neighborhood Environments. **American Journal Of Preventive Medicine**, [s.l.], v. 40, n. 1, p.94-100, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2010.09.034>.

SANTACANA, Núria et al. 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, Ana Carolina O. dos. **Avaliação da Espessura do Manto de Intemperismo sobre o Granito Santana (Porto Alegre, RS) por Gamaespectrometria**. 2014, 145 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SCHNEIDER, Paulo et al. Solos. In: HASENACK, Heinrich (coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 84p. 2008.

SEPÚLVEDA, Sergio A.; PETLEY, Dave. Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. **Natural Hazards Earth System Science**. V. 15, n. 8, p. 1821 – 1833, 2015.

SMAM. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Levantamento Diagnóstico das Áreas de Risco Geotécnico no Município de Porto Alegre/RS**. Relatório do Grupo de Trabalho. 1991.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology an introduction to the study of landforms**. England: British Library Cataloguing in Publication Data, 1997. 535p.

THERZAGHI, Karl von. **Mechanism of landslides**. Tradução de E. Pilcher. São Paulo: Departamento de Livros e Publicações do Grêmio Politécnico, 1967, 41p.

TOMINAGA, Lídia K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP**. 2007. 220 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. USP, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, Lídia K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L.K., SANTORO, J., AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo – Instituto Geológico. 196p. 2009.

TOOTH, Stephen. Google Earth as a resource. *Geography* v.100, n. 1, p.51–56. 2015.

UN/ISDR. UNITED NATIONS – INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with Risk** – A global review of disaster reduction initiatives. Volume 1, United Nations Publication, 2004.

UN/ISDR. UNITED NATIONS – INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **2015 - Disasters in numbers**. 2p. 2016. Disponível em <https://www.unisdr.org/files/47804_2015disastertrendsinfoGraphic.pdf> Acesso em 06. Dez. 2016.

USAF. United States Air Force. Projeto USAF 63-32. **Fotografia aérea 14843-14844**: SH.22-Y-B-III. Brasília:DSG, Escala 1:60.000, 1968.

USGS. United States Geological Survey. **Landslide Types and Process**. Fact Sheet 2004-3072. Reston: USGS, 2004. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2016.

UZIELLI, Marco et al. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides, **Engineering Geology**, vol. 102, p.251-256, 2008.

VALENTE, Antônio L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS)**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Minerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 373 p., 1999.

VALERIANO, Marcio de M. **Dados Topográficos**. In: FLORENZANO, Teresa G. (org.) *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 72-104, 2008.

VAN WESTEN, Cees.J.; CASTELLANOS, Enrique; KURIAKOSE, Sekhar 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, Cees 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, Cees J.; VAN ASCH, T. W. J.; SOETERS, R. Landslide hazard and risk zonation - why is it still so difficult? **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 65, p. 167 - 184, 2006.

VARNES, David J.. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: Unesco, 60p. 1984.

VARNES, David, J.. Slope Movements and types and process. In: SCHUSTER, R.L. KRIZEK, R.J (orgs). **Landslides: Analysis and control**. Cap. 2, p.11-33, Washington D.C.: National Academy Press, 1978.

VEYRET, Yvette. **Os riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 319p. 2015.

VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo Soares de. Deslizamentos de Encostas. In: SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 192p. 2007. Disponível em: <https://fld.com.br/uploads/documentos/pdf/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf>. Acesso em: 15 mai.2018.

WIGGERS, Monica Marlise. **Zoneamento das áreas de risco a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Caxias do Sul (RS)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 131p. 2013.

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

WP/WLI, International Geotechnical societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. **A suggested method for describing the causes of a landslide**. Bulletin International Association of Engineering Geology, 50: 71-74, 1994.

WU, Xueling et al. Global research trends in landslides during 1991–2014: a bibliometric analysis. **Landslides**. V. 12, n. 6, p.1215 - 1226, 2015.