

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO



Cláudia Werner Flach

Zoneamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em Arroio do Padre/RS

Pelotas, 2017

Cláudia Werner Flach

Zoneamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em Arroio do Padre/RS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Meurer

Pelotas, 2017.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F571z Flach, Cláudia Werner

Zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa em Arroio do Padre/RS / Cláudia Werner Flach ; Mauricio Meurer, orientador. — Pelotas, 2017.

155 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Encostas. 2. Instabilidade. 3. Movimento de massa. I. Meurer, Mauricio, orient. II. Título.

CDD : 918.1

Elaborada por Kênia Moreira Bernini CRB: 10/920

Cláudia Werner Flach

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 21/03/2017

Banca examinadora:

Prof. Dr. Mauricio Meurer (Orientador)

Doutor em Geografia pela Universidade Lumière Lyon 2

Prof. Dr. Moisés Ortemar Rehbein

Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Beatriz Lima de Paula Silva

Doutora em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista (Rio Claro)

RESUMO

Arroio do Padre apresenta um histórico de precipitações intensas e prolongadas, com processos erosivos e danos econômicos, sociais e ambientais decorrentes desses eventos, que foram determinantes para o desenvolvimento do presente trabalho. Tendo em vista o desencadeamento de movimentos de massa após a enxurrada de 15 de novembro de 2010, objetivou-se realizar o zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa para o município de Arroio do Padre/RS. Para a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa foram utilizados 6 planos de informação (condicionantes): declividade, cobertura e uso da terra, pedologia, geomorfologia, geologia e orientação das vertentes, atribuindo-se pesos para cada condicionante e pesos para as variáveis de cada condicionante, de acordo com a influência exercida na instabilização das encostas. Por meio do mapa gerado, foram zoneadas as áreas de acordo com o grau de suscetibilidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). As áreas com grau alto e muito alto merecem maior atenção por parte dos agricultores e do poder público, com a adoção de práticas conservacionistas em áreas agrícolas, adequação dos cultivos às áreas, incentivos para a recuperação de áreas degradadas, regeneração florestal, dentre outros.

Palavras chave: Encostas. Instabilidade. Movimento de Massa.

ABSTRACT

Arroio do Padre has a background of intense and extended precipitation with erosive processes and social, economic and environmental damage resulting from such events. These events were essential to the execution of the current study. Focused on the torrent-triggered landslides of November 15th 2010, this study aimed to perform a landslide susceptibility zoning for the municipality of Arroio do Padre/RS. In order to prepare a landslide susceptibility map, 6 layers containing data (constraint) were used: declivity, land cover and land use, pedology, geomorphology, geology and slope orientation. Each one of these constraints, and also their own variables, were given a weight according to their exerted influence over the slopes' instability. The map, once generated, allowed the zoning of areas, accordingly to their susceptibility degree (very low, low, medium, high and very high), to be achieved. Areas showing high and very high degrees deserve a greater attention, from farmers and public authorities, by adopting conservational practices in crop areas, certifying that the crop is suitable for the cultivation area, promoting the recovery of degraded areas, and regenerating forests.

Keywords: Slopes. Instability. Landslide.

1. INTRODUÇÃO	13
2. O ESTUDO EM ARROIO DO PADRE	15
2.1 Problemática de Estudo.....	15
2.2 Objetivos.....	21
2.2.1 Objetivo Geral	21
2.2.2 Objetivos Específicos	21
2.3 A Área de Estudo.....	22
2.3.1 Histórico do Município	22
2.3.2 Geologia.....	24
2.3.3 Clima	27
2.3.3.1 Eventos Extremos de Precipitação	29
2.3.4 Pedologia	30
2.3.5 Geomorfologia.....	33
3. MORFOMETRIA DAS VERTENTES E COBERTURAS E USOS DA TERRA NO DESENCADEAMENTO DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	41
3.1 Introdução.....	41
3.1.1 Declividade.....	42
3.1.2 Orientação das Vertentes.....	43
3.1.3 Cobertura e Uso da Terra	44
3.1.4 Geotecnologias Aplicadas aos Mapas de Cobertura e Uso da Terra.....	46
3.1.5 Classificação de Cobertura e Uso da Terra	49
3.2 Materiais e Métodos.....	52
3.2.1 Mapa de Declividade das Vertentes.....	52
3.2.2 Mapa de Orientação das Vertentes.....	52
3.2.3 Mapa de Cobertura e Uso da Terra.....	53
3.2.4 Quantificação e Representação Gráfica das Informações	57
3.3 Resultados e Discussões.....	57

3.3.1	Quantificação e Análise das Coberturas e Usos da Terra.....	57
3.3.1.1	Cobertura da Terra	59
3.3.1.2	Uso da Terra.....	60
3.3.2	Morfometria das Vertentes	64
3.3.2.1	Declividade	64
3.3.2.2	Orientação das Vertentes	66
3.3.2.3	Declividade das Vertentes x Orientação das Vertentes.....	68
3.3.3	Distribuição das Coberturas e Usos da Terra em função da Morfometria das Vertentes	69
3.3.3.1	Coberturas e Usos da Terra e Declividade.....	69
3.3.3.2	Coberturas e Usos da Terra e Orientação das Vertentes.....	72
3.4	Conclusões do Capítulo.....	73
4.	INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA EM ARROIO DO PADRE.	75
4.1	Introdução.....	75
4.1.1	Classificação dos Movimentos de Massa.....	77
4.1.1.1	Rastejo (<i>Creep</i>)	77
4.1.1.2	Escorregamentos (<i>Slides</i>)	78
4.1.1.3	Queda de Blocos e Tombamentos (<i>Falls and Topples</i>).....	80
4.1.1.5	Espalhamento Lateral (<i>Lateral Spread</i>).....	85
4.1.2	Fatores Condicionantes	85
4.1.3	Estado da Atividade	88
4.2	Materiais e Métodos.....	89
4.2.1	Inventário de Movimentos de Massa.....	89
4.2.1.1	Inventário dos Movimentos de Massa em Arroio do Padre	89
4.2.2	Mapa dos Movimentos de Massa.....	90
4.3	Resultados e Discussões.....	90
4.3.1	Inventário e Caracterização dos Movimentos de Massa	90

4.3.1.1 Movimento de Massa 1 (MM1)	91
4.3.1.2 Movimento de Massa 2 (MM2)	93
4.3.1.3 Movimento de Massa 3 (MM3)	95
4.3.2 Identificação de áreas com potencial para desencadeamento de Movimentos de Massa	98
4.3.3 Mapa dos Movimentos de Massa.....	101
4.4 Conclusões do Capítulo.....	104
5. ZONEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA EM ARROIO DO PADRE	106
5.1 Introdução.....	106
5.1.1 Os conceitos de ameaça, risco, vulnerabilidade, fragilidade e suscetibilidade.....	106
5.1.1.1 Ameaça	106
5.1.1.2 Risco.....	106
5.1.1.3 Vulnerabilidade	108
5.1.1.4 Fragilidade	109
5.1.1.5 Suscetibilidade.....	109
5.1.2 Zoneamento de Suscetibilidade	110
5.2 Materiais e Métodos.....	112
5.2.1 Declividade.....	112
5.2.2 Pedologia	113
5.2.3 Cobertura e Uso da Terra	114
5.2.4 Geomorfologia.....	115
5.2.5 Orientação das Vertentes.....	116
5.2.6 Geologia.....	117
5.3 Resultados e Discussões.....	122
5.4 Conclusões do Capítulo.....	131
6. CONCLUSÕES	132

REFERÊNCIAS.....	134
APÊNDICE.....	143
ANEXOS	150

Lista de Figuras

Figura 1: Frequência anual dos desastres naturais mais recorrentes no Estado do Rio Grande do Sul divididos por sua tipologia, no período de 1991 a 2012.....	19
Figura 2: Porcentagem dos desastres naturais mais recorrentes no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1991 a 2012.	20
Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.....	23
Figura 4: Mapa Geológico de Arroio do Padre, com representação das unidades lito-estratigráficas.....	26
Figura 5: Diagrama Ombrotérmico das Normais Climatológicas para Arroio do Padre (1971 - 2000).....	29
Figura 6: Mapa de Solos de Arroio do Padre.	32
Figura 7: Mapa Hipsométrico de Arroio do Padre.	34
Figura 8: Mapa de Formas do Terreno de Arroio do Padre.....	36
Figura 9: Mapa Geomorfológico de Arroio do Padre.	39
Figura 10: Detalhamento da legenda do Mapa Geomorfológico de Arroio do Padre.	40
Figura 11: Esquema dos graus e cores para cada classe de orientação das vertentes.....	53
Figura 12: Limite municipal de Arroio do Padre/RS (Malha Digital do Rio Grande do Sul, IBGE, 2010) sobre imagem no <i>software Google Earth Pro</i>	55
Figura 13: Pontos de Coleta das Imagens sobre imagem no <i>software Google Earth Pro</i>	55
Figura 14: Mosaico de imagens da área de estudo no <i>software ArcGIS 9.3</i>	56
Figura 15: Mapa de Cobertura e Uso da Terra de Arroio do Padre/RS, cenário de 2014.	58
Figura 16: Diferentes categorias de cobertura da terra em Arroio do Padre/RS. A) Área Florestal. B) Área Campestre. C) Área Descoberta. D) Água Continental.....	60
Figura 17: A) Cultura Temporária. B) Pastagem. C) Silvicultura. D) Área Urbanizada.	62
Figura 18: Representação individual de cada subclasse de Cobertura e Uso da Terra em Arroio do Padre/RS, cenário de 2014.....	63
Figura 19: Mapa de Declividade de Arroio do Padre.....	65
Figura 20: Mapa de Orientação das Vertentes.....	67

Figura 21: Distribuição das Vertentes orientadas a Norte, Sul, Leste e Oeste em cada classe de declividade.....	69
Figura 22: Representação gráfica da distribuição de cada subclasse de cobertura e uso da terra em cada classe de declividade.....	70
Figura 23: Representação gráfica da distribuição de cada subclasse de cobertura e uso da terra em cada orientação das vertentes.	73
Figura 24: Rastejo (creep).....	77
Figura 25: A) Escorregamentos Rotacionais (Rotational landslide). B) Escorregamentos Translacionais (Translational landslide). C) Escorregamentos em Cunha (Block slide).	79
Figura 26: Queda de Blocos (Rockfall).....	81
Figura 27: Tombamento (Topple).....	82
Figura 28: Fluxo de Detritos (Debris Flow).....	83
Figura 29: Avalanche de Detritos (Debris Avalanche).....	84
Figura 30: Fluxo de Terra (Earthflow).....	84
Figura 31: Espalhamento Lateral (Lateral Spread).....	85
Figura 32: Cicatriz de movimento de massa do tipo fluxo de detritos inativo adormecido em Arroio do Padre/RS.....	91
Figura 33: Perfil do solo junto à superfície de ruptura do movimento de massa.	92
Figura 34: Erosão hídrica junto à superfície de ruptura em cicatriz de movimento de massa.....	93
Figura 35: Movimento de massa do tipo queda de blocos, ativo (a área mais clara na vertente escarpada indica a queda recente de material), em vertente escarpada em Arroio do Padre/RS.	94
Figura 36: Formação de depósito de tálus.	95
Figura 37: Cicatriz de movimento de massa do tipo fluxo de detritos inativo adormecido em Arroio do Padre/RS.....	96
Figura 38: Perfil de solo indicando a presença de material intemperizado e pouco coeso em área de ocorrência de movimento de massa.	96
Figura 39: Área de desencadeamento de movimento de massa (fluxo de detritos inativo estabilizado), no entorno de cacimba (em destaque).	98
Figura 40: Perfis do solo realizados ao longo da crista alongada menor em Arroio do Padre/RS.....	100

Figura 41: Mapa de localização dos perfis de solo realizados na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, em Arroio do Padre/RS.....	100
Figura 42: Antiga área de extração de saibro. A) Patamar Inferior. B) Patamar Intermediário. C) Patamar Superior.....	101
Figura 43: Mapa das ocorrências dos Movimentos de Massa, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, Arroio do Padre/RS.	103
Figura 44: Fluxograma dos materiais utilizados para a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.	120
Figura 45: Procedimento realizado para a atribuição dos pesos.....	121
Figura 46: Procedimento realizado para o cruzamento das informações.....	121
Figura 47: Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em Arroio do Padre.	123
Figura 48: Ilustração com destaque para as 5 áreas com suscetibilidade alta.	125
Figura 49: Áreas prioritárias de atuação na prevenção de processos erosivos e movimentos de massa em Arroio do Padre.....	126
Figura 50: Amostra das coberturas e usos da terra em função da declividade.	129

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classes de Declividade em Porcentagem e Graus e respectivas cores RGB.	52
Tabela 2: Subclasses de Coberturas e Usos da Terra e respectivas cores utilizadas (RGB)	56
Tabela 3: Área absoluta e percentual das coberturas e usos da terra.	57
Tabela 4: Distribuição de cada classe de orientação de vertentes em cada classe de declividade.	68
Tabela 5: Área absoluta das subclasses de cobertura e uso da terra em cada classe de declividade.	70
Tabela 6: Área absoluta das subclasses de cobertura e uso da terra em cada orientação das vertentes.	72
Tabela 7: Síntese das ocorrências de movimentos de massa em Arroio do Padre/RS.	101
Tabela 8: Graus de suscetibilidade a movimentos de massa.	112
Tabela 9: Pesos atribuídos para as classes de declividade (1 à 10).....	113
Tabela 10: Pesos atribuídos para as classes pedológicas (1 à 10).....	114
Tabela 11: Pesos atribuídos às subclasses de cobertura e uso da terra (1 à 10)...	115
Tabela 12: Pesos atribuídos para as unidades geomorfológicas (1 à 10).....	116
Tabela 13: Pesos atribuídos para as classes de orientação das vertentes (1 à 10).	116
Tabela 14: Pesos atribuídos para as unidades lito-estratigráficas (1 à 10).....	117
Tabela 15: Síntese dos pesos atribuídos para cada condicionante e variável.	118
Tabela 16: Área absoluta e percentual das subclasses de Coberturas e Usos da Terra presentes na área prioritária 1.	127
Tabela 17: Área absoluta e percentual das subclasses de Coberturas e Usos da Terra presentes na área prioritária 2.	128
Tabela 18: Área absoluta e percentual das subclasses de Coberturas e Usos da Terra presentes na área prioritária 3.	129

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos países mais afetados por desastres naturais no mundo, há o predomínio dos eventos de origem hidrológica, ou seja, relacionados à falta ou excesso de água. Dentre os Estados, o Rio Grande do Sul é um dos que se destacam pelo número de registros, com predomínio das estiagens/secas e enxurradas. Nesse contexto, o município de Arroio do Padre/RS possui registros de 3 eventos de origem hidrológica relacionadas ao excesso de água (28-29/01/2009; 15/11/2010; 09-11/03/2011), responsáveis por grandes danos ambientais, sociais e econômicos.

O presente trabalho apresenta as contribuições da geomorfologia para o planejamento municipal, através do zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa em Arroio do Padre. A estrutura do trabalho está organizada em capítulos, apresentados a seguir.

O capítulo “O estudo em Arroio do Padre” traz a problemática de estudo, elencando marcos internacionais relacionados aos desastres naturais, bem como o levantamento de informações referentes à desastres naturais em *sites* oficiais (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*; Ministério da Integração Nacional – Proteção e Defesa Civil; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres). Com base nos registros de desastres naturais em Arroio do Padre são apresentados os objetivos do trabalho. Para a caracterização do município, foi realizado o levantamento de informações de geologia, clima, pedologia e geomorfologia.

O capítulo “morfometria das vertentes e coberturas e usos da terra no desencadeamento de movimentos de massa” aborda na introdução a influência da declividade e da orientação das vertentes no condicionamento e distribuição das coberturas e usos da terra, bem como no desencadeamento de movimentos de massa. No item metodologia, são apresentados os procedimentos operacionais para a elaboração dos mapas de declividade, orientação das vertentes e cobertura e uso da terra. Com base nos mapas gerados, foram quantificadas cada uma das subclasses de cobertura e uso da terra e cada uma das classes de declividade e orientação das vertentes, o que permitiu analisar também a distribuição das coberturas e usos da terra em função dos aspectos morfométricos das vertentes.

O capítulo “inventário de movimentos de massa e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa em Arroio do Padre” apresenta, na introdução, a classificação dos movimentos de massa, os fatores condicionantes e o estado da atividade em que se encontram os movimentos de massa. Na metodologia, constam os procedimentos realizados para o inventário e mapeamento das ocorrências de movimentos de massa no município. No item resultados e discussões, foram descritos cada um dos movimentos de massa inventariados, além de identificadas áreas com potencial para o desencadeamento de movimentos de massa.

O capítulo “zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa em Arroio do Padre” traz na introdução os conceitos referentes à ameaça, risco, vulnerabilidade, fragilidade e suscetibilidade e as características de um zoneamento de suscetibilidade. Na metodologia, são apresentados os critérios adotados para a atribuição de pesos para os condicionantes e variáveis, além dos procedimentos referentes ao cruzamento das informações para gerar o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, com 5 graus de suscetibilidade: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Com base no mapa, foi possível elaborar o zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa.

Para finalizar, apresentam-se as conclusões do trabalho.

2. O ESTUDO EM ARROIO DO PADRE

2.1 Problemática de Estudo

No cenário atual, as discussões e os estudos referentes aos desastres naturais são muito frequentes, visto que os eventos extremos ocorrem em todos os países, atingindo cidades e lugares remotos, com diferentes consequências para a população e o meio ambiente.

Diversos estudos têm apontado para o aumento do número de desastres naturais em várias partes do mundo. Esses eventos ganham destaque devido às suas consequências para a sociedade e para o meio ambiente, provocando elevados prejuízos financeiros e sociais, resultando na perda de vidas, em problemas ambientais e paralisações temporárias de atividades econômicas (BAZZAN; RECKZIEGEL, 2013; KOBIYAMA et al., 2006; REIS et al., 2011; SAUSEN et al., 2012).

Diante do agravamento e do aumento de desastres provocados por eventos adversos, 168 países adotaram, em 2005, o Marco de Ação de Hyogo, comprometendo-se em reduzir o risco de desastres. Esse marco tinha como objetivo aumentar a resiliência das nações e das comunidades, sendo estabelecido o ano de 2015 como base para uma redução considerável das perdas ocasionadas por desastres (EIRD/ONU, 2005).

O Marco de Ação de Hyogo listava 5 prioridades de ação: fazer com que a redução dos riscos de desastres seja uma prioridade; conhecer o risco e tomar medidas; desenvolver uma maior compreensão e conscientização; reduzir o risco; e estar preparado e pronto para atuar. Para alcançar essas prioridades, o engajamento dos Estados, dos entes e instituições regionais e das organizações internacionais é fundamental (EIRD/ONU, 2005).

Durante o período de vigência do Marco de Ação de Hyogo (2005 à 2015), os desastres naturais continuaram produzindo grandes custos. Nesse intervalo, mais de 700 mil pessoas perderam a vida, mais de 1,4 milhões ficaram feridas e cerca de 23 milhões desabrigadas em consequência de desastres. A perda econômica total foi de US\$ 1,3 trilhões. Como a redução do risco de desastres é um investimento custo-eficiente na prevenção de perdas futuras, em 2015 foi estabelecido o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 -2030 (UNISDR, 2015).

Esse marco traz como objetivo a “redução substancial nos riscos de desastres e nas perdas de vidas, meios de subsistência e saúde, bem como de ativos econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais de pessoas, empresas, comunidades e países” (UNISDR, 2015, p.12). Para tanto, faz-se necessário a prevenção de novos riscos e redução do risco de desastres, por meio de medidas econômicas, estruturais, jurídicas, ambientais, dentre outras, com vistas na redução da exposição a perigos e da vulnerabilidade a desastres, aumentando a preparação de resposta e recuperação.

Dentre os princípios norteadores no Marco de Sendai, destacam-se: a responsabilidade dos Estados em prevenir e reduzir os riscos de desastres, através da cooperação em diferentes esferas; a redução do risco de desastres pelo engajamento e cooperação de toda a sociedade; a necessidade de habilitar autoridades e comunidades locais para reduzir o risco de desastres (UNISDR, 2015).

No Marco de Sendai são listadas quatro prioridades de ação (UNISDR, 2015):

- Compreensão do risco de desastres: compreensão clara do risco em todas as suas dimensões de vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e bens, características dos perigos e meio ambiente. Avaliações de riscos pré-desastres, prevenção e mitigação de riscos e desenvolvimento e implementação de preparação adequada e resposta eficaz a desastres.
- Fortalecimento da governança do risco de desastres: promove a colaboração e a parceria entre mecanismos e instituições para a implementação de instrumentos relevantes a fim de reduzir o risco de desastres e propiciar o desenvolvimento sustentável.
- Investimento na redução do risco de desastres: investimento público e privado em medidas estruturais e não estruturais. Estímulo para inovação, crescimento e criação de empregos.
- Melhoria na preparação para desastres: necessidade de reforçar a preparação para resposta a desastres, tomar medidas com base na previsão de eventos e assegurar que exista capacidade para resposta e recuperação eficaz em todos os níveis.

A academia, entidades e redes científicas e de pesquisa desempenham papel importante no que se refere ao assunto, por meio de estudos que se concentram em fatores e cenários de risco de desastres (incluindo novos riscos de desastres, a

médio e longo prazo), intensificação de pesquisas para aplicação regional, nacional e local, apoio às ações de comunidades e autoridades locais e apoio na interface entre política e ciência para a tomada de decisões (UNISDR, 2015).

De forma geral, os desastres podem ser classificados em desastres tecnológicos, mistos e naturais. Os desastres tecnológicos são decorrentes do desenvolvimento econômico, tecnológico e industrial, também relacionados às trocas comerciais, ao deslocamento de cargas perigosas e ao crescimento demográfico das cidades (CASTRO, 2003). Os desastres mistos são caracterizados pelas intercorrências de fenômenos naturais adversos, que ao atuar sobre ambientes degradados pelo homem, desencadeiam desastres (CASTRO, 2002). Tendo em vista que o foco do trabalho é em desastres naturais, a seguir será discorrido mais sobre o assunto.

Os desastres naturais podem ser considerados como acontecimentos imprevistos e súbitos, com capacidade para provocar grandes danos e sofrimento humano, superando a capacidade local de reconstrução, de forma que os municípios/países não possuem condições econômicas suficientes para sua reconstrução, necessitando auxílio financeiro externo (GUHA-SAPIR et al., 2012). Entretanto, somente quando fenômenos naturais atingem áreas habitadas e causam danos, passam a se chamar desastres naturais (TOMINAGA, 2009).

Marcelino (2008) afirma que os desastres naturais sempre irão ocorrer, pois “fenômenos naturais extremos fazem parte da geodinâmica terrestre e são [...] responsáveis pela formação do relevo, manutenção de ecossistemas, abastecimento das fontes hídricas, entre outros” (MARCELINO, 2008, p.09). Nesse sentido, “evitar que fenômenos naturais severos ocorram foge da capacidade humana” (KOBİYAMA et al., 2006, p. 31), no entanto intervenções podem ocorrer com medidas preventivas e mitigadoras (KOBİYAMA et al., 2006; MARCELINO, 2008).

Apesar de estarem relacionados com a dinâmica interna ou externa, os desastres naturais podem ser agravados pela ação antrópica, através da retirada da mata ciliar e assoreamento dos rios, impermeabilização dos solos, ocupação desordenada de encostas íngremes, entre outros (KOBİYAMA et al., 2006).

Diversos autores ressaltam que o destaque dado ao tema é em função de suas consequências para a sociedade e para o meio ambiente, provocando elevados prejuízos financeiros e sociais, perda de vidas, problemas ambientais e paralisações temporárias de atividades econômicas (BAZZAN; RECKZIEGEL, 2013; KOBİYAMA

et al., 2006; REIS et al., 2011; SAUSEN et al., 2012). Quando as consequências desses eventos atingem os seres humanos, fatores como a localização e o tempo de duração do evento, os tipos de perigos e a vulnerabilidade da população são cruciais para determinar a magnitude dos impactos (CRED, 2015).

Tendo em vista a necessidade e a importância de informações sobre desastres naturais, uma importante ferramenta consiste na criação de bancos de dados. Em nível internacional, o *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) atua desde 1973 no levantamento de dados referentes a desastres naturais geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, climatológicos, biológicos e extraterrestres (subdivididos em 17 tipos), organizados no banco de dados EM-DAT - *The International Disaster Database*. Para o registro de um desastre no banco de dados, ao menos um desses critérios deve ser respeitado: 10 ou mais pessoas mortas; 100 ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência; pedido de auxílio internacional.

Em nível nacional, a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil é responsável por coordenar as ações de proteção e defesa civil em todo o país. Em 2013, passou a ser obrigatório o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), que tem por objetivo qualificar e dar transparência à gestão de riscos e desastres (naturais e tecnológicos) no Brasil.

Esse sistema é extremamente importante visto que, segundo Guha-Sapir et al. (2012), o Brasil é um dos dez países mais afetados por desastres naturais no mundo, com predomínio de eventos de origem hidrológica (inundações, enxurradas, alagamentos e movimentos de massa desencadeados por eventos pluviométricos extremos e prolongados). Os dados obtidos junto ao Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012, permitem confirmar estas informações, uma vez que nesse período foram realizados 38.996 registros, dos quais a grande maioria concentrados nas regiões Nordeste e Sul. No entanto, quando analisados os dados por tipo de desastre, constata-se que as maiores ocorrências (51,3%) dizem respeito a secas e estiagens, seguidas de enxurradas (20,6%) e inundações (12,0%). Já os registros de movimentos de massa são menos frequentes, representando apenas 1,7% do total de registros de desastres naturais no país (CEPED, 2013a).

O Rio Grande do Sul é um dos Estados que se destacam no número de ocorrências de desastres naturais, com um total de 5.780 registros. As secas e estiagens representam 53,6% do total de desastres naturais no Estado, seguidas de

enxurradas (17,4%), vendavais (13,1%), granizo (8,1%) e inundações (7,1%) (Figuras 1 e 2). Com relação aos movimentos de massa, entre 1991 e 2012, foram registradas apenas 6 ocorrências (0,1%). Um aspecto a ser ressaltado é que apenas 4 municípios no Estado não possuem nenhuma ocorrência no período (1991 – 2012). (CEPED, 2013b).

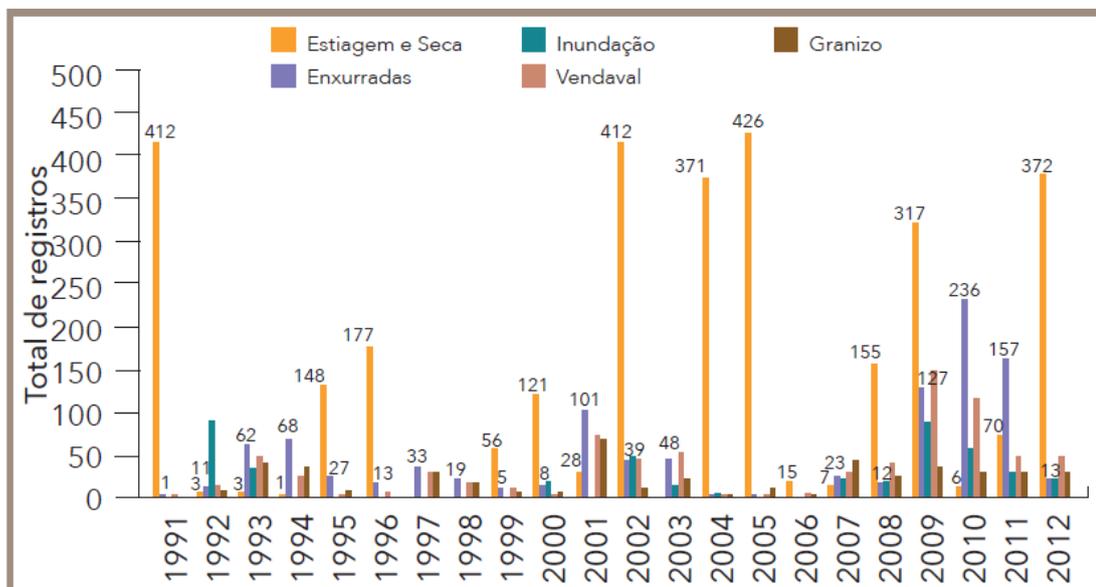


Figura 1: Frequência anual dos desastres naturais mais recorrentes no Estado do Rio Grande do Sul divididos por sua tipologia, no período de 1991 a 2012.

Fonte: CEPED (2013b). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012 - Rio Grande do Sul. Reprodução Integral.

Na região sul do Rio Grande do Sul, o município de Arroio do Padre tornou-se um exemplo emblemático na questão dos desastres naturais. No período de 1991 à 2012, foram realizados 6 registros, sendo 2 de seca e estiagem, 3 de enxurrada e 1 de granizo (CEPED, 2013b). Destaca-se que em um período de três anos, ocorreram 3 episódios pluviométricos de grande intensidade: as chuvas de 28 - 29 de janeiro de 2009; as chuvas de 15 de novembro de 2010; e as chuvas de 09 – 11 de março de 2011. Nestes dois últimos eventos a Prefeitura Municipal de Arroio do Padre decretou situação de emergência (FLACH, 2014; MEURER; FLACH, 2015; MEURER; MARTINS, 2013).

Esses eventos pluviométricos intensos foram responsáveis por grandes transtornos à população, com perdas de lavouras e danos infraestruturais (em residências, estradas de acesso e pontes) e impactos ao meio ambiente, através da mobilização de grande quantidade de material sedimentar (processos erosivos e

escorregamentos) e de alterações geomorfológicas sobre as vertentes e na rede de drenagem (FLACH, 2014; MEURER; FLACH, 2015; MEURER; MARTINS, 2013).

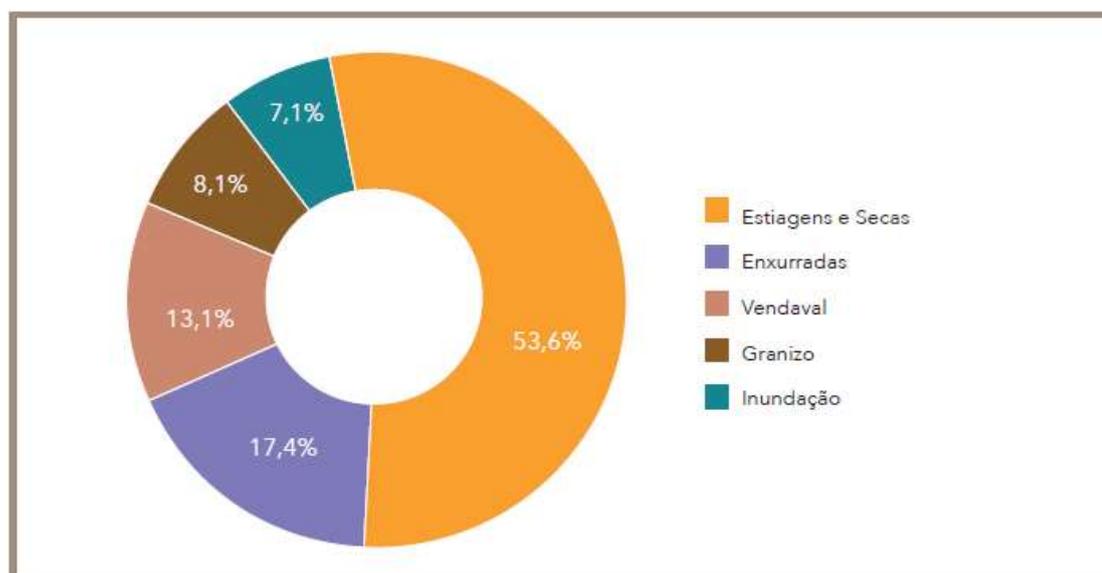


Figura 2: Porcentagem dos desastres naturais mais recorrentes no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1991 a 2012.

Fonte: CEPED (2013b). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012 - Rio Grande do Sul. Reprodução Integral.

Estudos realizados na Bacia Hidrografia do Arroio Pimenta, sobre a enxurrada de 15 de novembro de 2010 e suas consequências demonstraram que a sua principal causa foi o grande volume de precipitação em um curto intervalo de tempo (FLACH, 2014; FLACH; MEURER, 2013; MEURER; FLACH, 2015; MEURER; MARTINS, 2013).

Em trabalhos anteriores, Flach e Meurer (2013) e Flach (2014) estudaram a morfometria da Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, e verificaram que, com exceção da área, os demais parâmetros morfométricos (perímetro, comprimento, fator de forma, índice de compacidade, índice de circularidade, relação de alongação, relação de relevo) não poderiam explicar a ocorrência da enxurrada. Entretanto, foram identificados outros fatores que contribuíram para que este evento se configurasse como um desastre natural, com destaque para a geomorfologia, declividade e solos.

Levando-se em consideração essas questões, é necessário reforçar os conhecimentos sobre os aspectos físicos do município, como forma de proporcionar ferramentas para a gestão ambiental, com vistas na prevenção e mitigação de desastres naturais. De acordo com Marcelino (2008), a adoção de medidas

preventivas (estruturais e não estruturais) é fundamental para reduzir o impacto dos desastres.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo Geral

- Realizar o Zoneamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa para o município de Arroio do Padre/RS.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Mapear e quantificar as coberturas e usos da terra em Arroio do Padre, no cenário de 2014, na escala 1:25.000.
- Quantificar as informações das coberturas e usos da terra com relação à morfometria das vertentes.
- Inventariar, caracterizar e mapear as ocorrências de movimentos de massa.
- Mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massa.

2.3 A Área de Estudo

2.3.1 Histórico do Município

De acordo com Kerstner (2013), grande parte dos imigrantes que povoaram o município, desde 1850, procederam da Pomerânia. Os primeiros imigrantes se estabeleceram próximo ao Arroio Pimenta, dando origem à colônia Cerrito. Às margens do Arroio do Padre, foi fundada a colônia Arroio do Padre I, e alguns anos mais tarde foi fundada a colônia Arroio do Padre II, onde atualmente encontra-se a sede do município. Com o passar dos anos foram fundadas as colônias: Aliança, Progresso, Picada Bonita, Picada Chaves e Picada Lopes. Desde a época em que os imigrantes começaram a se estabelecer, a principal atividade realizada era a agricultura de subsistência, que permanece até os dias atuais.

Inicialmente, Arroio do Padre (Figura 3) integrava o 6º Distrito de Pelotas (Distrito de Santa Silvana). Em 1996, foi criada a comissão emancipatória e logo após realizou-se um plebiscito em que a maioria dos eleitores foi favorável à emancipação político-administrativa de Arroio do Padre. A emancipação do município foi aprovada pelo Decreto-Lei nº 10.738 e no ano de 2000 foram realizadas as primeiras eleições municipais (KERSTNER, 2013).

De acordo com o IBGE, existem duas possíveis origens para o nome do município. A primeira é que o nome advém do organizador e primeiro administrador da Feitoria, o padre Francisco Xavier Prates, também professor do Mosteiro de São Bento e do Convento Santo Antônio no Rio de Janeiro, falecido em 1784. A segunda é que o nome surgiu em função do padre que ia atender às famílias de sua comunidade e, num dia de chuva, ao tentar atravessar o arroio a cavalo, acabou sendo arrastado pela força da água, mas ao agarrar-se num galho, conseguiu se salvar.

Atualmente, segundo Kerstner (2013), o município encontra-se ligado, principalmente às atividades econômicas do setor primário, com 94% da população dedicada a agricultura familiar, com predomínio das pequenas propriedades (até 25ha). De acordo com o Censo Demográfico do IBGE, em 2010, foram contabilizados 2.730 habitantes, sendo 1.414 homens e 1.316 mulheres. Há também um predomínio da população rural (2.276 pessoas) em relação a população urbana (454 pessoas).

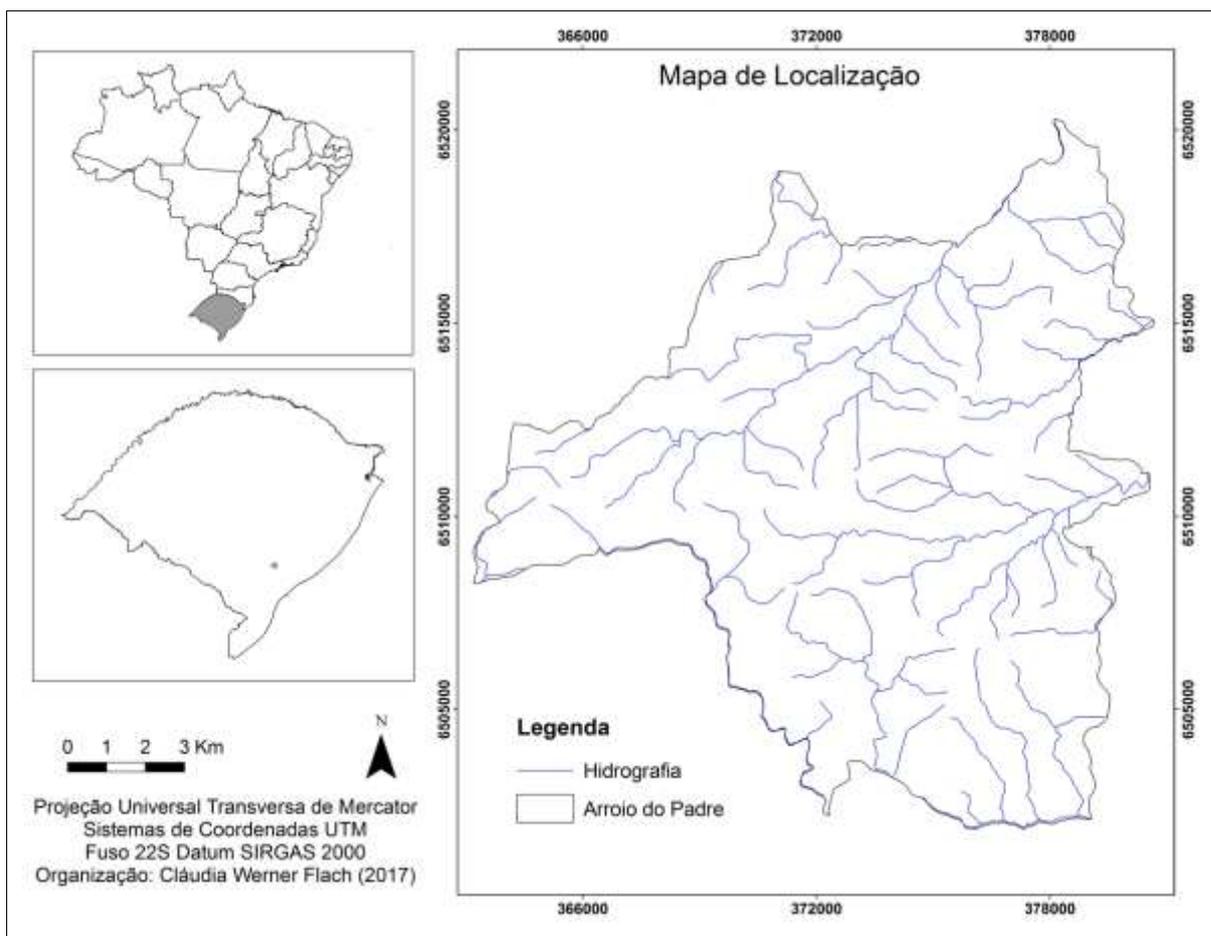


Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: autor (2017).

2.3.2 Geologia

Arroio do Padre possui uma carência de informações referentes à geologia, pois os materiais disponíveis para o município não contemplam informações em escala de detalhe. Dentre os materiais disponíveis, pode-se destacar: 1) Mapa Geológico em escala 1/50.000 (Laboratório de Geoprocessamento da EMBRAPA Clima Temperado); 2) Descrição da Geologia e Mapa Geológico em escala 1/250.000 (Plano Ambiental Municipal de Arroio do Padre, 2008); 3) Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul em escala 1/750.000 (CPRM, 2006); 4) Cartas Geológicas em escala 1/250.000 (Projeto Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, folhas SH.22-Y-C e SH.22-Y-D). Os dois primeiros materiais são utilizados como subsídio aos trabalhos técnicos desenvolvidos no município e os dois últimos representam os mapeamentos com maior número de informações para a área de estudo.

Apesar da carência de informações detalhadas, é possível obter alguns dados geológicos relevantes para o município de Arroio do Padre. O Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul escala 1/750.000 (CPRM, 2006) indica a presença de Complexos Granito-Gnáissicos Pinheiro Machado - Domínio de Metagranitóides Porfíricos (NP2 γ 1pm) e de Suítes Graníticas Dom Feliciano - Fácies Cerro Grande (NP3 γ dfc), bem como a presença de alguns elementos estruturais. De acordo com este mapa, estas unidades são assim descritas:

- NP2 γ 1pm: gnaiss granítico a granodiorítico, foliação marcante e deformação de alta temperatura, presença frequente de septos de paragneisses (609 \pm 17 Ma U-Pb). Esta unidade pertence ao Éon Proterozóico (2,5Ba à 542Ma), a Era Neoproterozóica (1,0Ba à 541Ma) e ao Período Criogeniano (720Ma à 635Ma). (CPRM, 2006).
- NP3 γ dfc: monzogranito variando entre porfírico grosso a granular homogêneo englobando encraves granodioríticos a tonalíticos (572 \pm 10 Ma Rb-Sr). Esta unidade pertence ao Éon Proterozóico (2,5Ba à 542Ma), a Era Neoproterozóica (1,0Ba à 541Ma) e ao Período Ediacariano (635Ma à 541Ma) (CPRM, 2006).

De acordo com as cartas geológicas do Projeto Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, em escala 1:250.000 (CPRM, 2000), o município de Arroio do Padre assenta-se sobre duas suítes intrusivas: a suíte Dom Feliciano (572 \pm 10 Ma) e a suíte Pinheiro Machado (609 \pm 17 Ma a 781 \pm 5 Ma). Estas suítes são divididas em três unidades lito-estratigráficas (Figura 4):

- N γ 2a: presença de granitos róseos a cinza róseos, homogêneos, de granulação média, com isótopos levemente orientados, mormente nas bordas;
- N γ 2b: presença de granitos róseos a róseo avermelhados, grosseiros, porfiríticos, com foliação nas bordas.
- N γ 1a: presença de milonito gnaisses e gnaisses migmáticos, incluindo restos de supracrustais e veios pegmatóides.

Os maciços rochosos apresentam diferentes tipos de descontinuidades (que podem ser divididas em diáclases, falhas e juntas). A influência das descontinuidades na estabilidade de taludes depende de diversos aspectos, como a orientação em relação ao talude e seu arranjo no maciço, resistência ao movimento ao longo da superfície, presença de material decomposto ao longo dos planos ou preenchimento das fraturas, e também da facilidade com que a água pode percolar ou se acumular ao longo das descontinuidades (PINOTTI e CARNEIRO, 2013).

Nesse sentido, verifica-se em Arroio do Padre (Figura 4) a presença de zonas de fraqueza, com falhas indiscriminadas, falhas ou fraturas inferidas e diques ou fraturas preenchidas, além de zonas de contato geológico aproximado (entende-se por contato geológico aproximado o “limite entre duas unidades geológicas distintas, inseguramente definido” (IBGE, 1998, p. 264), ou seja, não há o conhecimento da posição geográfica exata do limite).

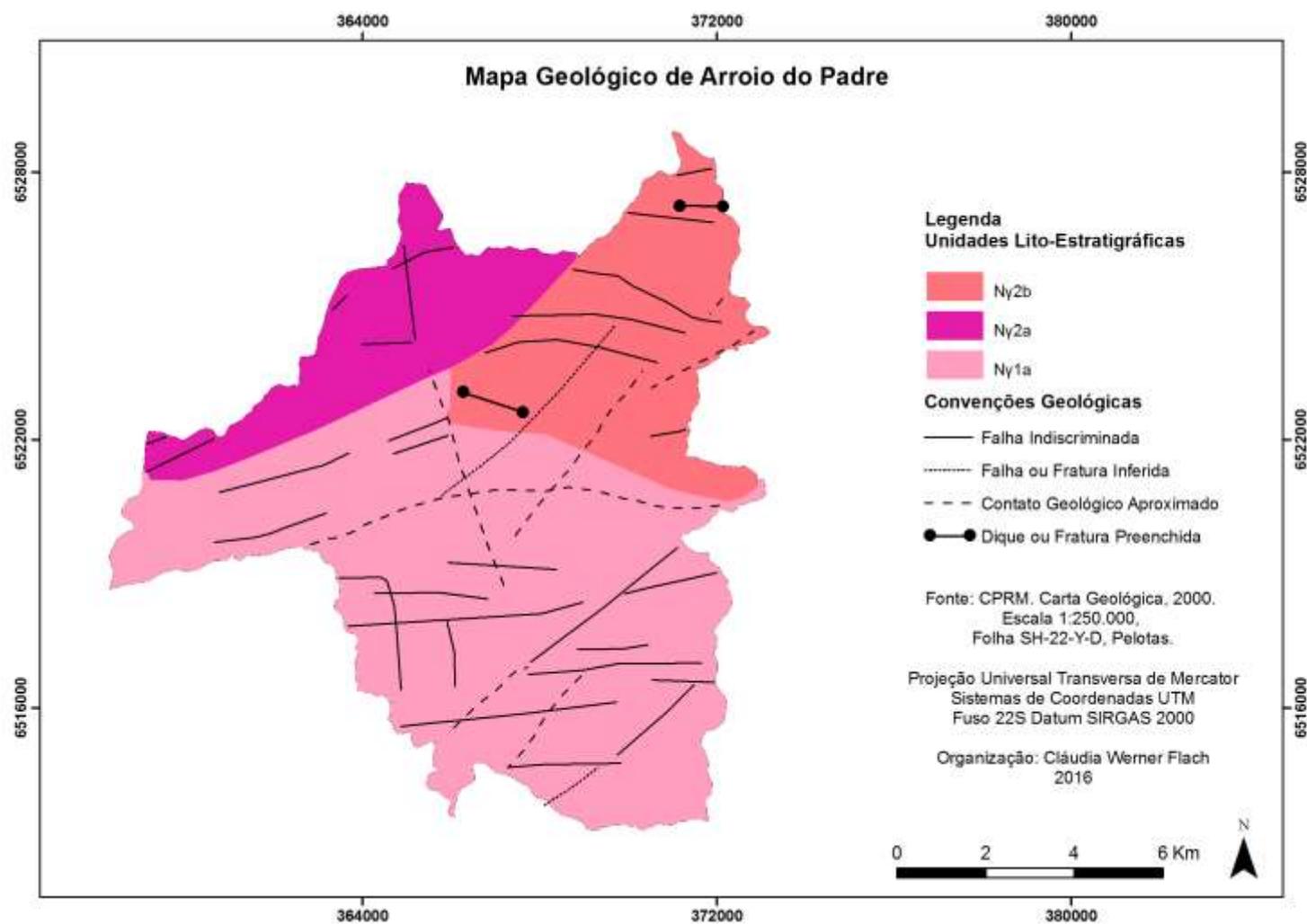


Figura 4: Mapa Geológico de Arroio do Padre, com representação das unidades lito-estratigráficas.
Fonte: CPRM (2000). Carta Geológica, Folha SH-22-Y-D (recorte).

2.3.3 Clima

Levando-se em consideração os grandes domínios climáticos do mundo, a área de estudo está classificada como Clima de Latitude Média Subtropical Úmido. Quando considerados os macrotipos climáticos (classificação climática de *Köppen*), Arroio do Padre enquadra-se no Clima Subtropical Úmido, com inverno fresco a frio. Uma das características desse tipo climático é a regularidade da distribuição anual pluviométrica (1.250mm à 2.500mm) e as baixas temperaturas no período do inverno. Entretanto, a variabilidade térmica é bastante acentuada, principalmente em função das diferenças altimétricas. Dentre as massas de ar que controlam a dinâmica climática na região, destacam-se:

- Massa de ar Tropical Atlântica (MTA): é uma das principais massas de ar da dinâmica atmosférica da América do Sul, tendo como características principais, elevada temperatura e umidade, atuando de forma mais expressiva no verão ao trazer para a atmosfera muita umidade e calor.
- Massa de ar Tropical Continental (MTC): massa de ar quente e seco, que se origina na região central da América do Sul em condição de divergência atmosférica.
- Massa de ar Polar Atlântica (MPA): quando adentra o continente através da calha natural do relevo formada pelos rios da Prata, Paraguai, Paraná, é responsável pela queda de temperatura no inverno, a baixa umidade do ar e a redução da pluviosidade.
- Massa de ar Equatorial Continental (MEC): massa de ar úmida, que se origina sobre uma superfície com caudalosa rede de drenagem, em meio a uma densa floresta, com elevadas temperaturas. A influência dessa massa de ar ocorre principalmente no Rio Grande do Sul, com destaque para o Pampa Gaúcho (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Com relação a pluviosidade média sazonal, a região sul apresenta índices pluviométricos superiores a 251mm mensais, resultantes da atuação da frente polar atlântica (FPA), responsável por chuvas e ventos fortes. Entretanto, esses índices podem variar consideravelmente quando ocorre o El Niño, devido ao aquecimento incomum das águas superficiais nas porções central e leste do oceano Pacífico, afetando a dinâmica climática em escala global. Na região sul

do país, a ocorrência do El Niño provoca precipitações abundantes, principalmente nos meses maio, junho, julho, setembro, outubro, novembro e dezembro (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Estudos realizados por Rossato (2011) sobre as áreas de atuação dos sistemas atmosféricos demonstram que, em Arroio do Padre, ocorre a atuação predominante da Massa Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica, com presença da Frente Polar Atlântica e influência da trajetória preferencial do sistema atmosférico da Massa Polar Atlântica. Segundo a autora, os sistemas polares atuam em todo o Estado, porém são mais frequentes na porção sul uma vez que esses sistemas avançam do quadrante sul.

De acordo com Rossato (2011), a área de estudo enquadra-se no tipo de clima subtropical pouco úmido com inverno frio e verão fresco. Ou seja, apresenta maior influência dos sistemas polares e com menor participação dos sistemas tropicais conjugados com a influência do relevo e da corrente fria das Malvinas. A maior parte das precipitações decorre dos sistemas frontais, chovendo cerca de 1200 à 1500mm anuais, distribuídos entre 80 e 100 dias de chuva. A temperatura média anual varia entre 17-20°C, sendo que a temperatura média do mês mais frio oscila entre 11-14°C e do mês mais quente varia entre 20-26°C (ROSSATO, 2011).

A Estação Agroclimatológica de Pelotas, instalada no município de Capão do Leão/RS fornece dados climatológicos para a região. Por ser a estação Agroclimatológica mais próxima de Arroio do Padre, serão utilizados os dados das normais climatológicas do período de 1971 – 2000 para a caracterização do município.

No Diagrama Ombrotérmico das Normais Climatológicas 1971 - 2000 (Figura 5), verifica-se que o verão apresenta as temperaturas médias mais elevadas, superiores a 22°C e precipitação superior a 100mm, sendo esta a estação do ano com maiores índices pluviométricos. No outono, a temperatura média começa a ficar mais amena, entre 22°C e 15°C e a precipitação mantém-se em torno de 100mm. No inverno são registradas as menores temperaturas médias, entre 12°C e 13,5°C, porém alta precipitação, sendo esta a segunda estação do ano com índices pluviométricos elevados. Na primavera as temperaturas médias começam a aumentar, variando entre 15°C e 19,5°C e a precipitação se mantém próxima aos 100mm.

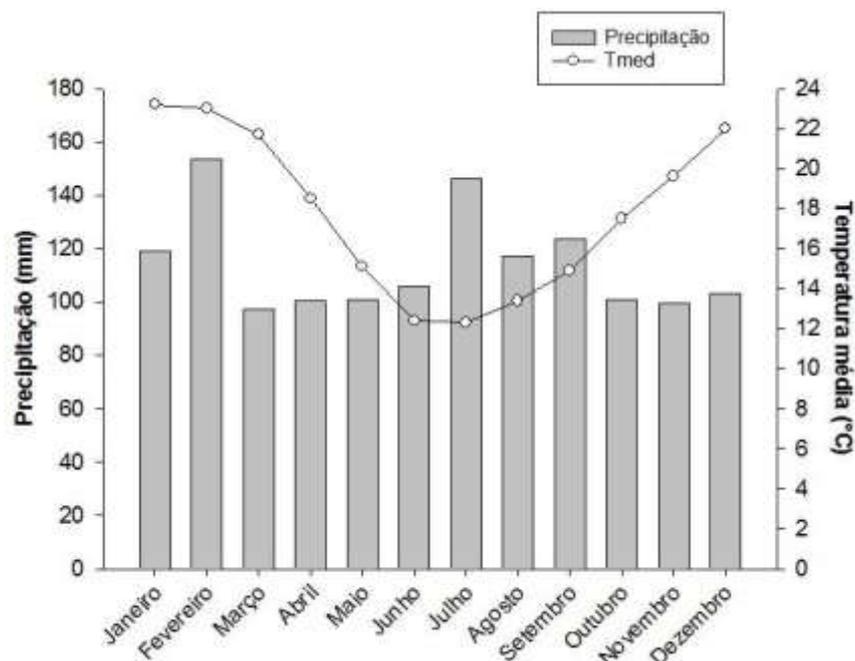


Figura 5: Diagrama Ombrotérmico das Normais Climatológicas para Arroio do Padre (1971 - 2000).

Fonte: Estação Agroclimatológica Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFPel).

De modo geral, pode-se verificar que a precipitação mensal é superior a 100mm durante quase todo o ano, exceto no mês de março. Fevereiro é o mês com maior precipitação mensal, seguido do mês de julho, setembro e janeiro, respectivamente. Nos demais meses, a precipitação mantém-se próxima a 100mm. Com relação à temperatura, a variação ocorre em função das estações do ano, sendo que os meses de janeiro e fevereiro apresentam temperaturas médias mais elevadas, aproximadamente 23°C. Entre fevereiro e junho as temperaturas médias apresentam uma queda, mantendo-se relativamente constantes até julho. Entre julho e dezembro, as temperaturas médias começam a ficar mais elevadas.

2.3.3.1 Eventos Extremos de Precipitação

Tendo em vista a significativa ocorrência de eventos extremos de precipitação na região Sul do Brasil e as consequências decorrentes dos mesmos, estudos realizados por Teixeira e Satyamurty (2007) demonstram que, entre 1991 e 2001, foram registrados 170 episódios de precipitação intensa, sendo assim classificados os eventos que apresentaram uma área da isoietas de 50 mm, em 24 horas, com no mínimo 10.000 km².

Para auxiliar na compreensão da dimensão dos eventos extremos de precipitação ocorridos no entorno da área de estudo (mais especificamente em Pelotas), Silva e Neta (2013) coletaram dados diários de precipitação da estação fluviométrica de Pelotas/RS, no período de 1966 a 2012, com o objetivo identificar os eventos de precipitação com totais diários maiores que 20 e 70mm. Nesse período, foram registrados 84 eventos de precipitação superior a 70mm, com maior ocorrência nos meses de julho (12 eventos) e setembro (9 eventos) e menor ocorrência em junho (4 eventos).

2.3.4 Pedologia

Assim como as informações geológicas, há uma carência de dados detalhados referentes a pedologia. São três os principais mapeamentos com informações para o município de Arroio do Padre: 1) Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (escala 1/1.000.000; IBGE, 2002); 2) Cartas Pedológicas (Projeto Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, escala 1/250.000, folhas SH.22-Y-C e SH.22-Y-D); 3) Mapa de Solos de Pelotas (escala 1/100.000, CUNHA, 1996).

Tendo em vista que o material referente a solos mais detalhado é o Mapa de Solos de Pelotas (CUNHA, 1996), para a caracterização pedológica do município utilizou-se esse material como base, que permite identificar a presença das seguintes classes pedológicas (Figura 6):

- Associação de Neossolo Litólico e Argissolo Bruno Acinzentado com presença de afloramentos rochosos: o predomínio dessa categoria está associado à declividade do município, uma vez que, em locais com declividade acentuada, identifica-se a sua ocorrência.
- Associação de Argissolo Bruno Acinzentado e Neossolo Litólico com presença de afloramentos rochosos: encontra-se na metade norte do município, na transição entre altitudes de 60m e 300m.
- Associação de Argissolo Bruno Acinzentado e Neossolo Litólico: encontra-se predominantemente na metade sul do município (onde a altitude varia entre 100 à 240m) e na parte leste do município (em altitudes mais elevadas, entre 240 à 320m).

- Argissolo Vermelho Amarelo: tipo de solo menos representativo em termos de área, é encontrado nas altitudes mais baixas do município, entre 40 à 80m, com declividades predominantes entre 0 à 6%.

Para fins de detalhamento, a seguir são descritos os tipos de solo presentes na área de estudo, utilizando-se como referência o segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013).

Os Neossolos Litólicos caracterizam-se por apresentar horizonte A ou hístico assentado diretamente sobre a rocha, horizonte C ou Cr, ou sobre material com 90% ou mais de seu volume composto por fragmentos rochosos maiores que 2mm. O contato lítico desse tipo de solo geralmente ocorre dentro de 50cm da superfície. Pode apresentar horizonte B, desde que em estágio inicial de formação (EMBRAPA, 2013; STRECK et al., 2008). Esse tipo de solo é bastante raso, geralmente associado a relevos com declividades mais acentuadas, resultando em limitações ao uso, pois o crescimento radicular e o uso de máquinas neste tipo de solo elevam o risco de erosão (SANTOS et al., 2016a).

Os Argissolos Bruno-Acinzentados apresentam horizonte B textural abaixo do A ou E. A porção superior do horizonte B apresenta expressivo escurecimento (EMBRAPA, 2013). Esse tipo de solo apresenta restrição de drenagem e teores elevados de matéria orgânica na parte superior do solo. As limitações de uso estão relacionadas a permeabilidade lenta, a forte retenção de água e a possibilidade de encharcamento em algumas épocas do ano (SANTOS et al., 2016b).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos também se caracterizam por apresentar horizonte B textural abaixo do A ou E (EMBRAPA, 2013). A coloração vermelho amarela ocorre devido a presença de óxidos de ferro do tipo hematita e goethita. São solos profundos e muito profundos, bem estruturados e drenados, porém apresentam fertilidade natural baixa a muito baixa, com reação fortemente ácida e argilas de baixa atividade. A principal restrição é quando esse tipo de solo ocorre em locais com relevo movimentado, relacionados aos ambientes de rochas cristalinas (SILVA; NETO, 2016).

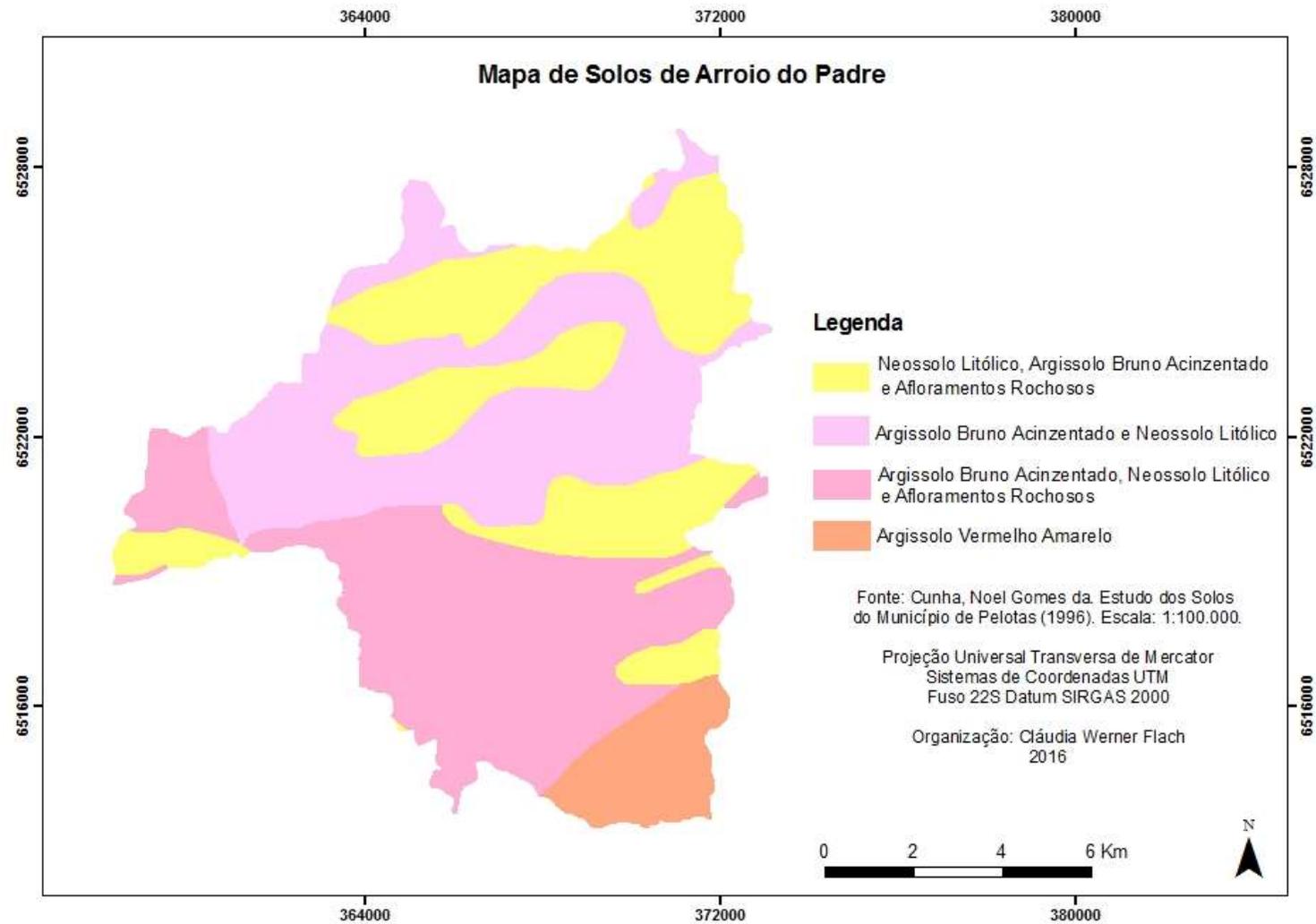


Figura 6: Mapa de Solos de Arroio do Padre.
Fonte: CUNHA (1996). Estudo dos Solos do município de Pelotas (recorte).

2.3.5 Geomorfologia

De acordo com o Mapa Hipsométrico (Figura 7), a hipsometria da área de estudo varia entre 40 e 341m. Entretanto, as cotas mais elevadas, entre 280 à 341m ocorrem apenas no setor oeste do município. No mapa, destacam-se algumas formas de relevo que condicionam as atividades agrícolas no município: fundos de vale, cristas e vertentes íngremes.

Os fundos de vale são extremamente importantes nos sistemas hidrográficos, uma vez que concentram o escoamento superficial e subsuperficial. Nestas áreas, as planícies de inundação recebem o escoamento extra em ocasiões de chuvas intensas, sendo, portanto, zonas que necessitam preservação (TRENTIN; SIMON, 2009). Na área de estudo, pode-se destacar o amplo fundo de vale do Arroio Pimenta, que em episódios pluviométricos passados recebeu grande carga sedimentar, e o fundo de vale do Arroio do Padre, menos expressivo em área, porém não de menor importância.

A extensa crista alongada na parte central do município exerce o papel de divisor de águas entre as Bacias Hidrográficas do Arroio Pimenta e do Arroio do Padre. Existe também uma crista menor na parte norte do município (divisor de águas entre a Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta e do Arroio Quilombinho), caracterizada pela presença de vertentes bastante íngremes, importantes para a compreensão dos processos morfogenéticos desencadeados, principalmente, durante os eventos pluviométricos mais intensos.

Outro aspecto a ser ressaltado é a quantidade de nascentes e cursos d'água presentes no município. Essas nascentes são formadoras de arroios importantes na região e, de acordo com Magalhães et al. (2012), a manutenção da vegetação nessas áreas é fundamental para assegurar a perenidade das nascentes, além de proporcionar maior infiltração e recarga do lençol freático.

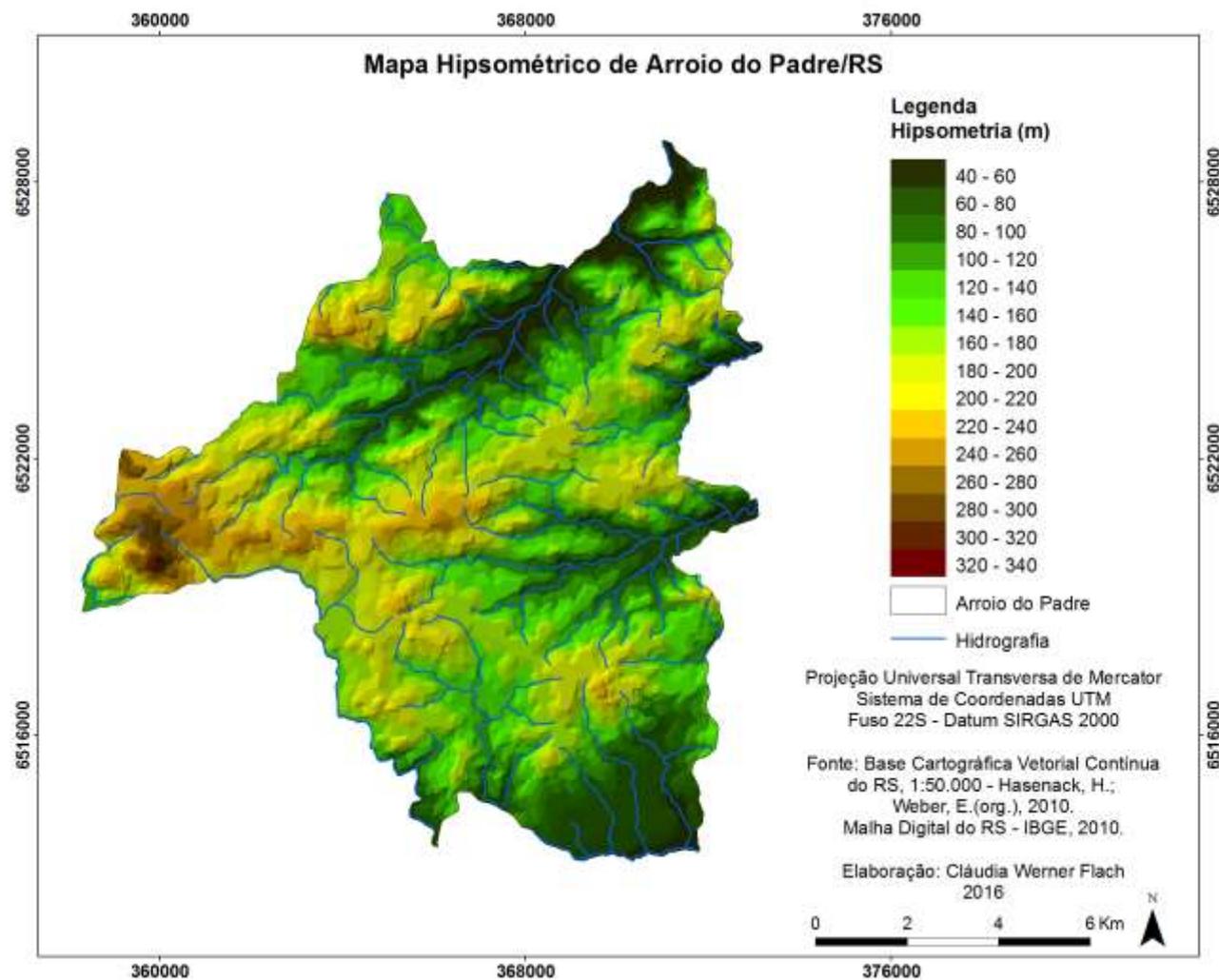


Figura 7: Mapa Hipsométrico de Arroio do Padre.
Fonte: autor.

As formas do terreno ou formas das vertentes influenciam na distribuição da água no solo, relacionando-se diretamente aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica pela superfície, desempenhando papel importante sobre o balanço hídrico e os processos de pedogênese (VALERIANO e CARVALHO-JUNIOR, 2003).

O TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil fornece informações sobre variáveis geomorfométricas para todo o território nacional, ou seja, fornece elementos básicos, fundamentais à interpretação e análise do relevo (altitude, declividade, orientação das vertentes, curvatura horizontal e vertical, relevo sombreado, delineamento de canais de drenagem e divisores d'água e forma do terreno).

Para Arroio do Padre, foram utilizados apenas os dados referentes à forma do terreno¹ (Figura 8). Verifica-se que há o predomínio de vertentes convergentes côncavas e de vertentes divergentes convexas. Para Silva Neto (2013), as vertentes convergentes côncavas apresentam maior concentração e acúmulo de escoamento superficial, sendo, portanto, mais vulneráveis aos processos erosivos mais intensos. Já as vertentes divergentes convexas caracterizam-se pela grande dispersão do escoamento superficial, que apresenta baixa capacidade de transporte e de remoção das partículas do solo (menos vulneráveis aos processos erosivos).

Com relação a curvatura vertical² das vertentes, há o predomínio das vertentes côncavas, seguidas das vertentes retilíneas e por fim, das vertentes convexas. De acordo com Silva Neto (2013), as vertentes côncavas tendem a concentrar o escoamento superficial, potencializando a remoção e o deslocamento de partículas superficiais do solo para os canais de drenagem.

Com relação à curvatura horizontal³, predominam as vertentes divergentes, seguidas das vertentes convergentes e por fim, das planares. Segundo Silva Neto (2013), a geometria das vertentes divergentes proporciona à distribuição dos fluxos de água, que apresentam menor capacidade de transporte das partículas do solo.

¹ Expressa a variação de duas variáveis: curvatura horizontal e vertical (VALERIANO, 2008).

² Taxa de variação da declividade na direção de sua orientação, estando relacionada ao caráter convexo/côncavo do terreno (VALERIANO, 2008).

³ Taxa de variação da declividade na direção ortogonal à da orientação da vertente, e está relacionada ao caráter divergente/convergente do terreno (VALERIANO, 2008).

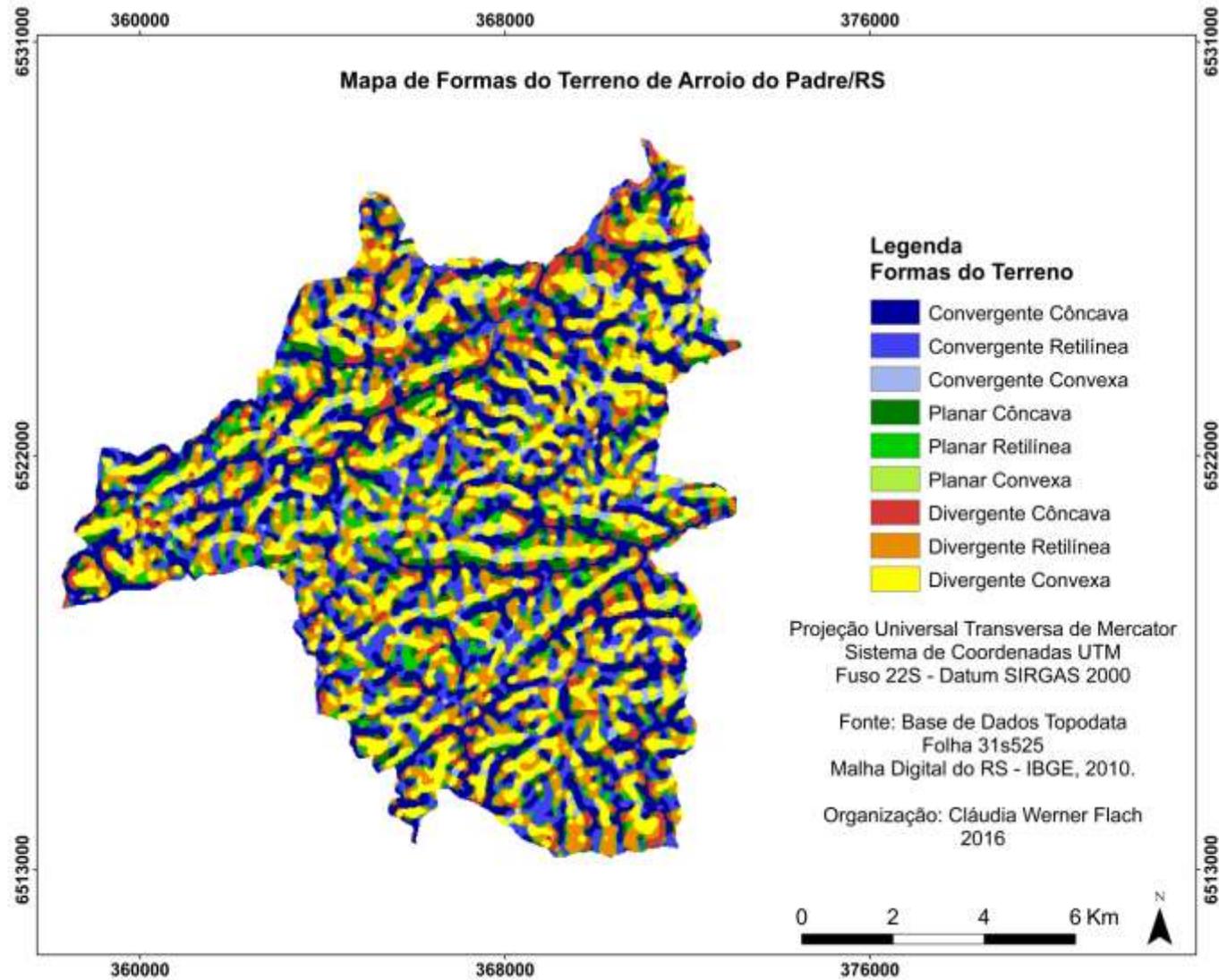


Figura 8: Mapa de Formas do Terreno de Arroio do Padre.
Fonte: Topodata Folha 31s525 (recorte).

De acordo com o Mapa Geomorfológico de Arroio do Padre (Figura 9 e 10), em escala 1/50.000 (MEURER, 2013), o município de Arroio do Padre encontra-se na transição entre o domínio morfoestrutural Embasamentos em Estilos Complexos e o domínio dos Depósitos Sedimentares, que dão origem às regiões geomorfológicas do Planalto Sul Riograndense e da Planície Continental. Essas regiões estão subdivididas em três unidades geomorfológicas: o Planalto Residual Canguçu – Caçapava do Sul, o Planalto Rebaixado Marginal e a Planície Alúvio Coluvionar.

A unidade dos Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul tem como embasamento associações de rochas graníticas-gnáissicas. No interior do município, esta unidade caracteriza-se pelos terrenos mais elevados (cota de 150m) na parte oeste do município, formando os divisores de águas entre as bacias hidrográficas do Arroio Pimenta, do Arroio do Touro, do Arroio do Padre, do Arroio Corrientes e do Arroio Andrade (MEURER, 2013).

No aspecto morfológico, estas áreas elevadas formam um conjunto de cristas alongadas, alinhadas preferencialmente nas direções W-E e SW-NE (sendo essa orientação resultante do controle estrutural do embasamento), interrompidas por selas erosivas. Ao longo da unidade, predominam as formas de topo convexas (recobertas por material eluvionar pouco profundo), com declividades suaves a intermediárias. Em alguns topos do relevo, destaca-se a presença de blocos de matacão, coesos, arredondados, emergindo do material alterado. A transição para a unidade do Planalto Rebaixado Marginal ocorre pelo aumento da declividade média e redução da altitude (MEURER, 2013).

O Planalto Rebaixado Marginal representa um patamar mais rebaixado em relação à unidade anterior, assentando-se sobre o embasamento formado por associações de rochas graníticas-gnáissicas. Morfologicamente, esta unidade corresponde às áreas de transição entre os principais divisores de águas e os vales associados aos grandes eixos de drenagem. Dentre as formas de relevo, destacam-se as bordas de contato com a unidade mais elevada, morros e colinas (com altitudes entre 50 e 150m) no interior das bacias hidrográficas (MEURER, 2013).

As características marcantes desta unidade estão associadas à declividade e à morfologia dos vales dos grandes eixos de drenagem. Os principais vales são alongados nas direções preferenciais W-E e SW-NE,

geralmente com perfil assimétrico, vertentes elevadas e íngremes voltadas para o sul, e vertentes mais baixas e menos íngremes voltadas para o norte. Assim como na unidade anterior, o Planalto Rebaixado Marginal está recoberto por material eluvionar, intemperizado, porém com espessura condicionada a declividade: cobertura eluvial praticamente inexistente nos setores de forte declividade, e cobertura eluvial mais espessa a medida que há a redução da declividade. A transição para a unidade da Planície Alúvio-Coluvionar é marcada pela brusca redução na declividade e pela formação de depósitos sedimentares de origem aluvial e coluvial (MEURER, 2013).

A unidade Planície Alúvio-Coluvionar corresponde às áreas com altitude inferior a 50m de altitude. Por serem áreas receptoras de material sedimentar, são caracterizadas como modelados de acumulação de sedimentos e subdivididas em Modelado de Acumulação Coluvial ou de Enxurrada e Modelado de Acumulação em Planície Fluvial (MEURER, 2013).

Os Modelados de Acumulação Coluvial ou de Enxurrada correspondem aos fundos de vale onde há a convergência de leques de espraiamento de origem coluvial ou concentração de depósitos de enxurradas, preenchendo as áreas com sedimentos de diferentes granulometrias (arenosos e lamosos). Os Modelados de Acumulação em Planície Fluvial correspondem às áreas de várzea atuais, sujeitas inundação periódica, com acumulação de sedimentos através da dinâmica fluvial, formando superfícies planas ou levemente inclinadas (MEURER, 2013).

Destacam-se algumas feições estruturais marcantes no relevo: feições alinhadas com as direções W-E e SW-NE; linhas de crista (correspondem ao divisor de águas de morros alongados); marcas de enrugamento (ondulações dispostas paralelamente umas às outras); vales e sulcos estruturais (formação associada a lineamentos ou falhamentos) (MEURER, 2013).

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS (1º Tâxon)	REGIÕES GEOMORFOLÓGICAS (2º Tâxon)	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (3º Tâxon)
I - DEPÓSITOS SEDIMENTARES	PLANÍCIE CONTINENTAL	 Planície Alúvio-Coluvionar
III - EMBASAMENTOS EM ESTILOS COMPLEXOS	PLANALTO SUL-RIOGRANDENSE	 Planalto Rebaixado Marginal  Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul

TIPOS DE MODELADOS (4º Tâxon)

MODELADOS DE ACUMULAÇÃO (A):

Af - Planície Fluvial - Área plana resultante de acumulação fluvial, sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. Em alguns setores, esta superfícies podem apresentar trechos de canais fluviais abandonados, parcial ou totalmente preenchidos por sedimentos.

Ac - Coluvial ou de Enxurrada - Área plana ou em bacia resultante da convergência de leques de espriamento ou da concentração de depósitos de enxurradas.

MODELADOS DE DISSECAÇÃO (D):

D - Homogênea - Dissecação fluvial com pouco ou nenhum controle estrutural, definida pela combinação das variáveis densidade e aprofundamento da drenagem. A densidade é a relação entre o comprimento total dos canais e a superfície da área amostrada, classificada em: (1) muito grosseira; (2) grosseira; (3) média; (4) fina; (5) muito fina. O aprofundamento das incisões é estabelecido pela média das frequências dos desníveis medidos em perfis transversais contidos na área amostrada, classificado em: (1) muito fraco; (2) fraco; (3) médio; (4) forte; (5) muito forte.

Formas de Topo (5º Tâxon):

c - conjunto de formas de relevo de topos convexos escarpadas em rochas cristalinas, às vezes denotando controle estrutural. São entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.

Predisposição à Erosão:

Representa os processos morfodinâmicos atuantes e, portanto, requer um tratamento particularizado, exigindo a interação com outros temas. São definidas cinco classes de para os seguintes graus de predisposição à erosão: (1) muito fraca; (2) fraca; (3) média; (4) forte; (5) muito forte. Nos modelados de dissecação (D), a predisposição à erosão é representada pelo terceiro dígito. Nos modelados de acumulação (A), a predisposição à erosão é dada pelo único dígito.

SIMBOLOGIA

Simbologia Geomorfológica:

	Movimento de Massa
	Erosão Linear
	Incisão em cabeceira de drenagem
	Marca de Enrugamento
	Vale ou Sulco Estrutural
	Linhas de Crista
	Canal de Avulsão

Outras Simbologias:

	Curso d'água intermitente
	Curso d'água perene
	Estradas
	Sede do município

Figura 10: Detalhamento da legenda do Mapa Geomorfológico de Arroio do Padre. Fonte: Meurer (2013). Arroio do Padre – Geomorfologia.

3. MORFOMETRIA DAS VERTENTES E COBERTURAS E USOS DA TERRA NO DESENCADEAMENTO DE MOVIMENTOS DE MASSA

3.1 Introdução

A geomorfologia é um importante elemento do planejamento ambiental, pois suas características estão interligadas aos múltiplos aspectos da realidade ambiental, considerando os elementos de ordem física, social, econômica e cultural. Para verificar o estado ambiental da área de estudo, é necessário avaliar os aspectos físicos, as pressões antrópicas e as respostas a estas pressões (BERGAMO; ALMEIDA, 2006).

Nesse contexto, os dados geomorfológicos são fundamentais para as análises integradas em estudos ambientais. Estes dados permitem o conhecimento das unidades geomorfológicas e a descrição dos tipos e formas de relevo, padrões de drenagem, altimetria, declividade, processos de erosão e acumulação (BERGAMO; ALMEIDA, 2006).

Nesse sentido, caracterizar a área de estudo com base em informações geomorfológicas auxilia na análise ambiental, na prevenção de riscos, no estabelecimento de unidades de paisagens e no planejamento territorial. Tendo em vista que os dados morfométricos são capazes de repassar informações sobre as características geométricas das formas da superfície, o uso desses dados é essencial na realização de estudos geomorfológicos (OLIVEIRA; VIADANA, 2014).

Os estudos morfométricos auxiliam as interpretações hidrodinâmicas e geomorfológicas, que por sua vez permitem interpretações sobre a gênese e a dinâmica atual. Para tanto, é necessário o reconhecimento preliminar de dados básicos, através de cartas topográficas e fotografias aéreas (RODRIGUES; ADAMI, 2009).

Para auxiliar a análise morfométrica, é fundamental a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), a partir da inserção das curvas de nível e pontos cotados em um ambiente SIG. Destacam-se os MDEs que permitem visualizar as diferentes cotas do terreno, a declividade das vertentes e a orientação das vertentes.

Tendo em vista que as características geomorfológicas de determinada área atuam como um dos condicionantes ao desencadeamento de movimentos

de massa (FERNANDES; AMARAL, 1998; FERNANDES et al., 2001; PINTO et al., 2013; PINTO et al., 2015), mapas com informações topográficas, principalmente de declividade, são fundamentais no processo de determinação de áreas suscetíveis a movimentos de massa (FELL et al., 2008).

3.1.1 Declividade

Mapas de declividade, assim como os mapas hipsométricos, levam em consideração as curvas de nível e pontos cotados. O espaçamento entre as curvas de nível (tendo em vista a escala) indica a maior ou menor inclinação do terreno. A influência da declividade é importante para compreender a relação entre o escoamento superficial e a infiltração da água no solo, para fins de uso e ocupação do solo, para a prevenção de desastres naturais e para compreender a dinâmica espacial.

Valeriano (2008) define declividade como “o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal”, expressa em graus ou porcentagem, e destaca a importância da elaboração de mapas de declividade, pois os métodos de análise territorial baseados na modelagem numérica do meio físico ou em decisões lógicas levam em consideração essa variável (VALERIANO, 2008, p. 26).

Os mapas de declividade são essências para o planejamento territorial de áreas agrícolas e urbanas, pois indicam os setores com declividades mais acentuadas e setores com declividades suaves. Essas informações são importantes para evitar o uso e a ocupação de áreas impróprias ou propensas a ocorrência de desastres.

Esses mapas também servem como base para trabalhos de zoneamento de suscetibilidade, uma vez que mesmo não havendo um histórico de movimentos de massa, encostas naturais com declividades superiores a 20° representam condições topográficas capazes de condicionar o desenvolvimento desses processos (FELL et al., 2008).

3.1.2 Orientação das Vertentes

Os mapas de orientação das vertentes apontam as áreas que recebem maior insolação ao longo do dia. Segundo Valeriano (2008),

A orientação das vertentes é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute, isto é, em relação ao Norte geográfico, onde o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção, no sentido horário. Corresponde à direção azimutal do vetor cujo módulo é a declividade (VALERIANO, 2008, p. 86-87).

A latitude é um dos aspectos a ser considerado com relação a orientação das vertentes, pois quanto maior a latitude, maior a influência da orientação das vertentes no regime térmico e hídrico (VALERIANO, 2008). No hemisfério sul, as áreas localizadas nas regiões subtropicais recebem menor incidência de insolação anual, visto que o ângulo dos raios solares é sempre menor que 90° (o ano inteiro), de modo que as vertentes orientadas para Norte recebem maior insolação do que as vertentes orientadas para Sul (SAYDELLES; SARTORI, 2007).

A influência da insolação se reflete no intemperismo químico, pois em função da umidade mais pronunciada nas vertentes orientadas a Sul e a Oeste (no caso da latitude onde se encontra a área de estudo), estas costumam apresentar solos mais profundos e vegetação mais densa. Já nas vertentes orientadas a Norte e Leste, o intemperismo químico não é tão efetivo, sendo estas áreas caracterizadas pela presença de afloramentos rochosos e vegetação mais esparsa (PRESS et al., 2006).

Essa influência também condiciona os usos da terra, pois as vertentes voltadas para o norte recebem maior insolação quando comparadas com as demais (ROVANI; CASSOL, 2012). Nesse sentido, as informações sobre a incidência da insolação são fundamentais para planejamento agrícola, pois a produtividade das principais culturas do Rio Grande do Sul está relacionada a sua disponibilidade (CUSTÓDIO et al., 2007).

Assim como a declividade, a orientação das vertentes também é considerada como um dos fatores condicionantes ao desencadeamento de movimentos de massa, pois este aspecto influencia na maior ou menor exposição das vertentes aos elementos climáticos (vento, chuva e insolação), interferindo na estabilidade das encostas (PINTO et al., 2013).

3.1.3 Cobertura e Uso da Terra

A industrialização das cidades, a mecanização da agricultura, a implantação de paisagens construídas e a exploração dos recursos energéticos provocam grandes mudanças à natureza, em um ritmo bastante intenso quando comparadas às alterações causadas pela própria dinâmica da natureza (ROSS, 2009). Nesse contexto, a expansão agrícola, as atividades de queima de combustível e madeira, o desmatamento, a expansão de pastagens e obras de construção e urbanização são alguns dos exemplos de atividades antrópicas que alteram significativamente a superfície terrestre (SAJIKUMAR; REMYA, 2015).

As atividades humanas podem afetar direta ou indiretamente os ecossistemas terrestres, entretanto, é a intensidade dessas atividades que determina maiores ou menores mudanças nas coberturas e usos da terra, em função de fatores demográficos (crescimento populacional, densidade, fecundidade, mortalidade) e de transições políticas e econômicas (GLP, 2005).

O ritmo, a amplitude e o alcance espacial das atividades humanas provocam intensas alterações (LAMBIN et al., 2001), de modo que

os espaços naturais progressivamente cedem lugar a “novos espaços produzidos”, onde a natureza modificada rende-se às atividades econômicas [...] Nesses “espaços produzidos”, passam a ter maior expressividade os componentes socioeconômicos, pois dizem respeito aos seres humanos, que são o centro das preocupações (ROSS, 2009, p.57).

A substituição de espaços naturais por espaços produzidos pode ser observada com a ampliação dos usos em detrimento das coberturas. Essa substituição pode proporcionar diversos impactos ao meio ambiente, como, por exemplo, as alterações das características do escoamento das águas pluviais (SAJIKUMAR; REMYA, 2015). Tendo em vista a diferença entre cobertura e uso da terra, nos parágrafos subsequentes são apresentadas algumas definições para cada um desses conceitos.

Uma das definições para cobertura da terra evidencia que “a cobertura refere-se aos atributos de parte da superfície terrestre e da subsuperfície imediata, incluindo a biota, solos, topografia, água subterrânea e superficial e estruturas humanas” (LAMBIN, 2000, p.322)⁴. Ou seja, envolve os elementos

⁴ The term land cover refers to the attributes of a part of the Earth's land surface and immediate

da natureza (vegetação, água, rocha nua) que recobrem a superfície terrestre (IBGE, 2013). Simplificadamente representa “a cobertura (bio) física da superfície da Terra, incluindo as áreas úmidas, florestas e campos” (GLP, 2005, p.64)⁵.

De acordo Turner et al. (1993), a cobertura da terra pode ser classificada de acordo com diferentes critérios, levando-se em consideração os objetivos do trabalho. Entretanto, é importante ressaltar que as características da cobertura da terra influenciam o clima, a biogeoquímica global, a abundância e composição das espécies terrestres.

A definição de uso da terra envolve as propostas ou intenções humanas sobre os atributos biofísicos da superfície terrestre (LAMBIN et al., 2001), pelo conjunto de operações antrópicas visando a obtenção de produtos e benefícios decorrentes da utilização dos recursos naturais, ou seja, há um conjunto de atividades econômicas atuando em um determinado fragmento do espaço (IBGE, 2013). A definição bastante sucinta de Anderson (1976) enfatiza que o uso da terra diz respeito às atividades antrópicas na terra.

Em consonância com os autores citados, define-se também o uso da terra pelos “arranjos, atividades e aportes que as pessoas exercem em um certo tipo de cobertura da terra para produzir, para mudá-la ou para mantê-la, incluindo parques, reservas, florestas nacionais, cultivos e ocupações” (GPL, 2005, p.64)⁶. Na visão da exploração econômica, o uso da terra diz respeito aos “fins pelos quais os seres humanos exploram a cobertura da terra” (LAMBIN, 2000, p.322)⁷.

Em seus estudos, Bie et al. (1996) destacam que a cobertura é determinada por observações diretas, enquanto que o uso da terra exige informações oriundas do proprietário ou da pessoa que controla a terra. Para melhor elucidar essa questão, os autores trazem dois exemplos: a floresta enquanto cobertura da terra é descrita por observações diretas com detalhes sobre a estrutura, altura e densidade da vegetação e enquanto uso da terra por

subsurface, including biota, soil, topography, surface and groundwater, and human structures.

⁵“Land cover: the observed (bio)physical cover on the Earth’s surface, including wetlands, forests and grasslands.”

⁶“Land use: the arrangements, activities and inputs people undertake in a certain land cover type to produce, change or maintain it, including parks, reserved, national-state forests, cultivation and settlement.”

⁷Land use refers to the purposes for which humans exploit the land cover.

informações de extração de borracha, atividades de recreação; nas pastagens, a grama representa a cobertura da terra e a produção de feno e a utilização enquanto pastagem representa o uso da terra.

É importante salientar que as alterações no uso da terra podem ser responsáveis por grandes mudanças ambientais em nível local, regional e global (LAMBIN, 1999; TURNER et al., 1993). Tendo em vista que o uso e as mudanças na cobertura da terra são responsáveis por impactos bastante representativos aos atributos ambientais e paisagísticos, afetando a qualidade dos recursos hídricos, da terra e do ar, os ecossistemas e o clima (LAMBIN, 2000), estudos relacionados ao uso da terra podem evidenciar as relações dinâmicas entre o sistema socioeconômico e o sistema ambiental, fornecendo elementos para a compreensão dos usos e das mudanças na cobertura da terra (LAMBIN et al., 2001).

Conforme Fell et al. (2008), mapas de cobertura e uso da terra são essenciais para a realização de estudos de zoneamento de suscetibilidade, uma vez que a cobertura e o uso, assim como a geologia, a geomorfologia e a hidrologia podem ser considerados como fatores condicionantes ao desenvolvimento de processos nas encostas (movimentos de massa).

3.1.4 Geotecnologias Aplicadas aos Mapas de Cobertura e Uso da Terra

A identificação e a interpretação das mudanças no espaço geográfico foram amplamente favorecidas pelo avanço dos dados derivados de sensores remotos, uma vez que “a disponibilidade de tais informações vem ganhando significativo espaço na internet, oferecendo vantagens ao usuário que encontra maior diversidade de informações a sua disposição” (SIMON; TRENTIN, 2009, p.02). Para Rempel (2004), as imagens de satélite são ferramentas importantes que proporcionam uma visão dinâmica de extensas áreas da superfície terrestre. Nesse sentido, o uso de imagens de diferentes épocas permite verificar a transformação do ambiente e os impactos causados pela atividade antrópica através do uso e ocupação do espaço. Alguns autores destacam o *software Google Earth* como aliado nas análises das alterações temporais, com ênfase para os mapeamentos dinâmicos de cobertura e uso da terra (SIMON; TRENTIN, 2009).

O *Google Earth* atende a uma diversidade de usuários, possibilitando a visualização de múltiplas camadas de informação espacial e fornecendo informações de maneira prática:

O *Google Earth*TM (GE) é um *software* gratuito que combina imagens de satélite com as características do terreno para fornecer uma renderização digital em 3D da superfície da Terra em uma interface considerada de fácil manipulação para o usuário final e de vasto potencial de aplicação tanto para o mundo corporativo como para fins acadêmicos (LIMA, 2012, p.17-18).

Outra vantagem do *software* são as imagens históricas, que possibilitam avaliar os diferentes tipos de processos que atuam na transformação da paisagem, visto que o acervo é provido de imagens de alta resolução e de diferentes períodos. Porém, o uso desse material deve levar em consideração: a aleatoriedade das datas das imagens em acervo; a qualidade das imagens variável pela localização; a superfície imageada disponível no acervo; a precisão cartográfica de posicionamento para fins de quantificação (LIMA, 2012).

Estudos realizados por Simon e Trentin (2009) visaram avaliar as potencialidades das imagens do *Google Earth* (versão *free*), como instrumento para a elaboração de representações cartográficas de séries temporais de uso da terra. De acordo com os autores, uma das desvantagens do uso de imagens do GE é a existência de imagens de diferentes períodos em determinadas áreas de estudo, ou seja, os municípios podem apresentar uma parte de sua área com imagens de janeiro e outra parte com imagens de agosto. Entretanto, de modo geral, as imagens podem ser consideradas como

importantes ferramentas de subsídio ao planejamento urbano. Os planejadores e administradores podem utilizá-las para fins de representação espacial da ocupação urbana, para complementação de uma série temporal de uso da terra, bem como para o monitoramento das constantes mudanças espaciais que ocorrem no cenário urbano, assim como para comparação de regiões e identificação de tendências espaciais quanto ao desenvolvimento das cidades (SIMON; TRENTIN, 2009, p.08).

De acordo com Mendonça et al. (2015), bons mapas de cobertura e uso da terra são fundamentais para a obtenção de informações sobre a cobertura vegetal e remanescentes florestais, e o uso de imagens do *Google Earth* permite uma boa acurácia e detalhamento no que diz respeito as classes de uso da terra.

Os interesses por dados de cobertura e uso da terra aumentam cada vez mais, pois fornecem informações significativas para a avaliação e gerenciamento de áreas de interesse para controle ambiental (planícies de inundação, zonas úmidas, habitat de animais) e para áreas de expansão do desenvolvimento (residências, comerciais e indústrias). Para atender às demandas de cada pesquisa, a classificação de cobertura e uso da terra pode ser organizada conforme as necessidades do usuário (ANDERSON et al., 1976).

Segundo o IBGE (2013), o conhecimento sobre o uso da terra é importante para garantir o desenvolvimento sustentável tendo em vista as questões ambientais, sociais e econômicas. O levantamento da Cobertura e Uso da Terra é importante para o planejamento e orientação quanto a tomada de decisões, pois retratam as formas e dinâmicas de ocupação da terra, além de subsidiar a avaliação e análise de impactos ambientais. Para tanto, envolve pesquisas de escritório e campo visando interpretar, analisar, registrar, classificar e espacializar as tipologias de uso.

Para os levantamentos, alguns aspectos devem ser considerados como a escala de mapeamento, a natureza da informação básica, a unidade de mapeamento e definição da menor área a ser mapeada e, por fim, a nomenclatura. Com relação ao primeiro aspecto, a escolha da escala deve levar em conta os objetivos do trabalho e o tamanho da área a ser mapeada. A natureza da informação básica diz respeito ao tipo de imagem utilizada para a identificação das tipologias de uso, levando-se em consideração os objetivos do trabalho, a escala de mapeamento, o custo e os equipamentos disponíveis. A unidade de mapeamento corresponde à homogeneidade e à diversidade de objetos que recobrem a superfície da terra e é claramente distinguível das unidades do seu entorno. Independentemente da fonte básica de informação, não é possível mapear as classes de cobertura da terra em toda sua diversidade e complexidade, sendo necessário estabelecer a Unidade Mínima de Mapeamento (UMM). O último aspecto, a nomenclatura, diz respeito aos usos e coberturas terrestres, em diferentes níveis de detalhamento (IBGE, 2013).

Os procedimentos técnicos e metodológicos para o levantamento e classificação da cobertura e uso do solo abrangem duas grandes e distintas

etapas: a primeira compreende as informações gráficas obtidas através das observações de campo e de imagens, mapas e fotos, permitindo realizar classificações, interpretações e análises; e a segunda compreende as informações textuais, obtidas por meio da literatura, documentos, levantamento de campo e informações estatísticas permitindo análises e interpretações. A síntese das informações gera os resultados cartográficos e analíticos (IBGE, 2013).

3.1.5 Classificação de Cobertura e Uso da Terra

Para mapear as coberturas e usos da terra, existem diversos sistemas de classificação, porém alguns são mais conhecidos como o CORINE *Land Cover* de responsabilidade da Agência Europeia de Meio Ambiente, o *System Land Use and Land Cover Classification* da USGS (*United States Geological Survey*) e o Sistema básico de classificação da Cobertura e do Uso da Terra (SCUT) do IBGE.

O CORINE *Land Cover* foi desenvolvido pela União Europeia, e tem como objetivo criar uma base de dados europeia de ocupação do solo, útil para as análises territoriais e para a gestão de políticas europeias, utilizando a escala de referência 1:100.000. Esse manual propõe uma classificação hierárquica em 3 níveis, com 44 classes de cobertura e uso da terra (Anexo A) (BOSSARD et al., 2000).

O primeiro nível apresenta 5 classes: Áreas Artificiais (áreas de suporte às atividades antrópicas - urbanas, industriais, de mineração, parques); Áreas Agrícolas (áreas onde são desenvolvidas as atividades agrícolas, perenes e temporárias); Florestas e Áreas Semi-Naturais (áreas com predomínio de vegetação natural – formação vegetal rasteira e arbórea, áreas atingidas recentemente por queimadas e geleiras); Pantanal (áreas permanente ou temporariamente úmidas, turfeiras e salinas); e Corpos d'água (águas interiores e costeiras, naturais e artificiais). No II nível estão presentes outras 15 classes, subdivididas em função de suas particularidades, compondo o III nível (BOSSARD et al., 2000).

O *System Land Use and Land Cover Classification* foi desenvolvido por técnicos da USGS (*United States Geological Survey*), com o objetivo de desenvolver um sistema de classificação nacional detalhado, que permitisse

estudos nacionais, estaduais, regionais e locais. Esse sistema traz a divisão em dois níveis principais (Anexo B) (ANDERSON et al., 1976).

O I Nível apresenta 9 classes: Áreas Urbanas ou Edificadas (áreas de uso intensivo, prioritariamente cobertas por estruturas); Terras Agrícolas (área usada para a produção de alimentos e fibras; apresenta poucas construções); Pastagem (áreas com vegetação natural rasteira – gramíneas, arbustos); Área Florestal (florestas com grande densidade, com árvores capazes de produzir madeira e outros produtos florestais); Água (corpos hídricos); Pantanal (zonas úmidas onde o lençol freático está muito próximo da superfície e parte do ano acima da superfície); Terras Áridas/Improdutivas (áreas com capacidade limitada para suportar a vegetação); Tundra (regiões sem a presença de árvores, em latitudes altas e com temperaturas baixas); Neve ou Gelo (áreas cobertas majoritariamente por gelo e/ou neve). O II nível traz outras 37 classes, que podem ser subdivididas conforme as peculiaridades do trabalho (ANDERSON et al., 1976).

O Sistema básico de classificação da Cobertura e do Uso da Terra (SCUT) elaborado pelo IBGE (2013) disponibiliza a classificação para cobertura e uso da terra dividido em três níveis de detalhamento (Anexo C). O I nível (classes) “indica as principais categorias da cobertura terrestre no planeta, que podem ser discriminadas a partir da interpretação direta dos dados dos sensores remotos” (IBGE, 2013, p.45). O II nível (subclasses) é utilizado para mapeamentos em escala regional, necessitando dados complementares para maior confiabilidade das informações. E o III nível (unidades), explicita apenas os usos da terra.

O primeiro nível apresenta 5 classes, que visam atender os usuários interessados em informações nacionais ou inter-regionais. As áreas antrópicas não agrícolas envolvem os usos da terra relacionados às áreas urbanizadas, industriais, comerciais, redes de comunicação e áreas de extração mineral. As áreas antrópicas agrícolas incluem todas as terras cultivadas, utilizadas para a produção de alimentos, fibras e *commodities*. As áreas de vegetação natural compreendem os conjuntos de estruturas florestais e campestres, seja vegetação em estágio primário ou secundário. A classe águas abrange todos os tipos de águas interiores e costeiras, cursos de água e canais, corpos d'água naturalmente fechados e reservatórios artificiais, lagoas costeiras ou

lagunas, estuários e baías. E por fim, a classe outras áreas abrange áreas de ambientes naturais (rochas desnudas ou praias) e de ambientes antrópicos (decorrentes da degradação por atividades antrópicas) (IBGE, 2013).

No II Nível, são apresentadas 12 subclasses de uso e cobertura. A seguir, são descritas apenas as 8 subclasses utilizadas nesse trabalho, com base nas definições apresentadas pelo IBGE (2013): área urbanizada, cultura temporária, pastagem, silvicultura, área florestal, área campestre, corpo d'água continental, área descoberta.

A **área urbanizada** compreende a cidade e as áreas urbanas isoladas, com uso intensivo da superfície predominantemente artificial, caracterizadas pelas edificações e sistema viário. As **culturas temporárias** envolvem as áreas onde há o cultivo de plantas com ciclo vegetativo curto, geralmente inferior a um ano, com destaque para a produção de grãos, cereais, hortaliças e algumas espécies forrageiras (IBGE, 2013).

As áreas de **pastagem** são aquelas destinadas ao pastoreio do gado, envolvendo as pastagens plantadas (plantio de forrageiras perenes) e pastagens naturais (onde ocorreu a melhoria das pastagens, com foco na pecuária). A **silvicultura** é uma atividade econômica ligada à composição, trato e cultivo de povoamentos florestais destinados ao fornecimento de matéria prima para as indústrias e para o consumo familiar (IBGE, 2013).

As **áreas florestais** são compostas por formações arbóreas com porte maior que 5 metros, estando incluídos nessa categoria os remanescentes de recomposição florestal primário e de estágio evoluído. Nas **áreas campestres** estão incluídas diferentes categorias de vegetação, fisionomicamente diversa da florestal, caracterizadas pelo estrato arbustivo, esparsamente distribuído (IBGE, 2013).

Os **corpos d'água continentais** referem-se aos corpos d'água naturais e artificiais, como rios e açudes. As **áreas descobertas** destacam-se pelas áreas de extensões de areia ou seixos, leitos de canais de fluxo com regime torrencial, áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal e áreas cobertas por rocha nua exposta (IBGE, 2013).

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Mapa de Declividade das Vertentes

Para a elaboração do mapa de declividade foram utilizadas informações das curvas de nível adquiridas da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul, escala 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010) e inseridas no *software ArcGIS 9.3*. Para evitar a perda de informações, foi delimitada uma área maior que o perímetro de Arroio do Padre. Gerou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE)⁸, utilizando-se os intervalos de classes propostos por Ross (1994), que podem ser verificados na Tabela 1, bem como as respectivas cores adotadas para cada intervalo de declividade. Por fim, realizou-se o recorte⁹ do Mapa de Declividade apenas para a área do município.

Tabela 1: Classes de Declividade em Porcentagem e Graus e respectivas cores RGB.

Classes (%)	Classes (°)	Cores (RGB)
0% – 6%	0° – 3,43°	R: 56 G: 168 B: 0
6% – 12%	3,43° – 6,84°	R: 139 G: 209 B: 0
12% – 20%	6,84° – 11,30°	R: 255 G: 255 B: 0
20% – 30%	11,30° – 16,69°	R: 255 G: 128 B: 0
> 30%	16,69° – 90°	R: 255 G: 0 B: 0

3.2.2 Mapa de Orientação das Vertentes

O Mapa de Orientação das Vertentes foi elaborado a partir das curvas de nível da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul, escala 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010), no *software ArcGIS 9.3*. Assim como nos demais mapas, também foi utilizada uma área maior que o limite do município, com o intuito de evitar a perda de informações importantes. Procedeu-se a elaboração do MDE¹⁰ e a definição das classes de orientação

³ Procedimentos: 3D Analyst → Create/Modify TIN → Create TIN from features.

Properties → Symbology → Face slope with graduated color ramp → Classify → Method Manual → Classes: 5 → Break values → ok

⁹ Procedimentos: 3D Analyst → Create/Modify TIN → Add features to TIN → Input features → Layer (shape delimitador – limites de Arroio do Padre) → Height Source (none) → Triangulate as (hard clip) → Tag value field (none).

¹⁰ Procedimentos: 3D Analyst → Create/Modify TIN → Create TIN from features.

Properties → Symbology → Face aspect with graduated color ramp → Classify → Method Manual → Classes: 6 → Break values → ok.

das vertentes (em graus) com as respectivas cores para cada intervalo (Figura 11). Por fim, realizou-se o recorte¹¹ das informações apenas para a área de estudo.

Segundo Rovani e Cassol (2012), as cores utilizadas variam conforme a orientação das vertentes e a insolação recebida, de modo que as vertentes orientadas a norte e leste (que recebem mais insolação) são representadas por cores quentes (vermelho e amarelo, respectivamente), e as vertentes orientadas a sul e oeste (que recebem menos insolação) são representadas por cores frias (roxo e verde, respectivamente).

Para a elaboração do Mapa de Orientação das Vertentes de Arroio do Padre, utilizou-se as classes de orientações Norte ($0^\circ - 45^\circ$; $315^\circ - 360^\circ$), Leste ($45^\circ - 135^\circ$), Sul ($135^\circ - 225^\circ$) e Oeste ($225^\circ - 315^\circ$) e também a Áreas Planas, onde as vertentes não possuem inclinação.

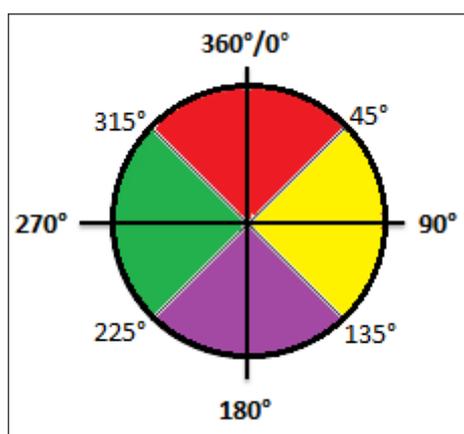


Figura 11: Esquema dos graus e cores para cada classe de orientação das vertentes.

3.2.3 Mapa de Cobertura e Uso da Terra

Tendo em vista as considerações apresentadas sobre as vantagens do uso de imagens de satélite do *software Google Earth Pro* (versão livre), para a elaboração do Mapa de Cobertura e Uso da Terra de Arroio do Padre (em escala 1:25.000), seguiram-se as orientações de Simon e Trentin (2009). Foram coletadas 54 imagens (tamanho do arquivo *Maximum4800x2843*), todas datadas de 27 de janeiro de 2014. Após a coleta, essas imagens foram

¹¹ Procedimentos: *3D Analyst* → *Create/Modify TIN* → *Add features to TIN* → *Input features* → *Layer (shape delimitador – limites de Arroio do Padre)* → *Height Source (none)* → *Triangulate as (hard clip)* → *Tag value field (none)*.

georreferenciadas no *software* ArcGIS, versão 9.3, compondo o mosaico de imagens da área de estudo. A seguir são descritos os procedimentos para a coleta e georreferenciamento, baseando-se em Simon e Trentin (2009):

a) Delimitação da área de coleta das imagens do *Google Earth Pro* (inserção do limite municipal de Arroio do Padre) (Figura 12).

b) Estabelecimento do ponto de visão à 2,5km (para coleta das imagens em escala 1:50.000) e inclinação igual a zero.

c) Estabelecimento dos pontos de controle em cada vértice da imagem (Figura 13): canto superior esquerdo (CSE), canto inferior esquerdo (CIE), canto superior direito (CSD) e canto inferior direito (CSD). Os valores das coordenadas das 54 imagens coletadas foram organizados em uma tabela para posterior utilização durante a etapa de georreferenciamento.

d) Georreferenciamento com base no registro das informações espaciais sobre os pontos de controle pré estabelecidos para cada imagem¹², originando o mosaico da área de estudo (Figura 14).

Finalizado o mosaico de imagens, procedeu-se a escolha das categorias a serem mapeadas, baseando-se no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Com base nas informações possíveis de serem obtidas através das imagens, foram definidas as categorias a serem mapeadas. Optou-se por trabalhar com o II Nível de detalhamento do IBGE (2013), sendo estabelecidas 8 subclasses (Tabela 2).

A interpretação das imagens de satélite foi baseada em algumas das considerações de FITZ (2008), que determina os aspectos a serem observados para a identificação dos alvos: tonalidade, forma dos objetos (elementos geométricos retangulares, lineares, elementos irregulares), tamanho (distinção entre diferentes feições), textura (agrupamento de diferentes objetos provocando a variação de tons em um espaço da cena; textura homogênea ou heterogênea), padrão (organização dos elementos traduz características próprias) e localização (determinados elementos tendem a localizar-se em locais específicos). Por fim, realizou-se a vetorização manual¹³ das subclasses de cobertura e uso da terra através da classificação visual.

¹² Procedimentos: *Georeferencing* → *Add control points* → *Input x and y* → *Georeferencing* → *Rectify* → *Save (formato TIFF)* → *Georeferencing* → *Update georeferencing*.

¹³ Procedimentos: *Editor* → *Start Editing* → *Sketch Tool* → *Save Edits* → *Stop Editing*.

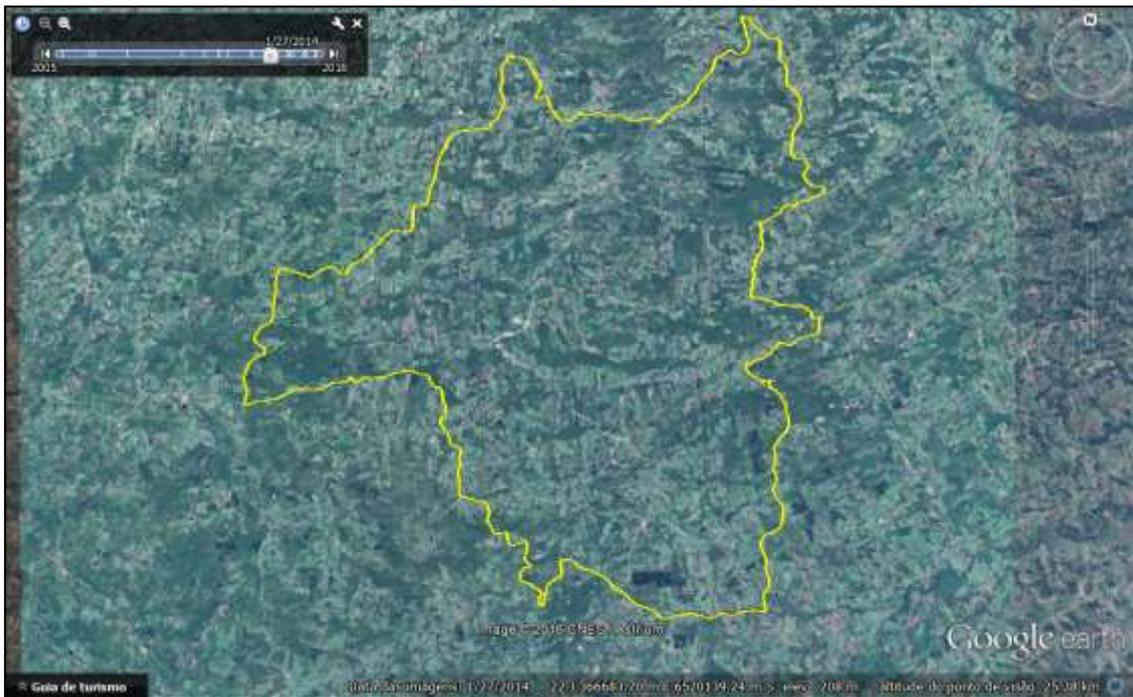


Figura 12: Limite municipal de Arroio do Padre/RS (Malha Digital do Rio Grande do Sul, IBGE, 2010) sobre imagem no software *Google Earth Pro*.

Fonte: *Google Earth Pro*. [Imagem – Arroio do Padre].

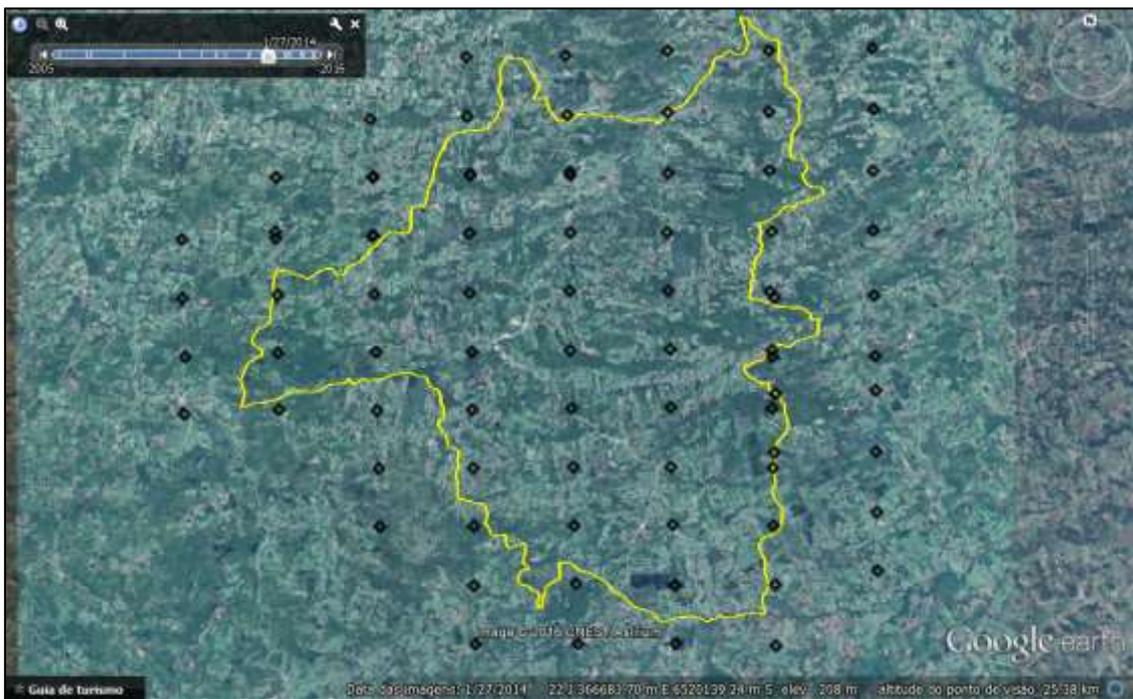


Figura 13: Pontos de Coleta das Imagens sobre imagem no software *Google Earth Pro*.

Fonte: *Google Earth Pro*. [Imagem – Arroio do Padre].



Figura 14: Mosaico de imagens da área de estudo no *software ArcGIS 9.3*.
Fonte: *Google Earth Pro*. [Imagem – Arroio do Padre].

Tabela 2: Subclasses de Coberturas e Usos da Terra e respectivas cores utilizadas (RGB)

USOS DA TERRA		
Nível I - Classe	Nível II - Subclasse	Cores (RGB)
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Área Urbanizada	R: 255 G: 168 B: 192
	Cultura Temporária	R: 255 G: 255 B: 0
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	Pastagem	R: 205 G: 137 B: 0
	Silvicultura	R: 205 G: 173 B: 0
COBERTURAS DA TERRA		
Nível I - Classe	Nível II - Subclasse	Cores (RGB)
3. Áreas de Vegetação Natural	Florestal	R: 115 G: 168 B: 0
	Campestre	R: 214 G: 255 B: 168
4. Água	Corpo d'água Continental	R: 153 G: 194 B: 230
5. Outras Áreas	Área Descoberta	R: 178 G: 178 B: 178

3.2.4 Quantificação e Representação Gráfica das Informações

Para melhor análise dos mapas, foram quantificados os seguintes dados: a) área absoluta e percentual das subclasses de cobertura e uso da terra¹⁴; b) área absoluta de cada orientação de vertentes para cada classe de declividade¹⁵; c) área absoluta de cada subclasse de cobertura e uso da terra para cada classe de declividade^{11 e 12}; d) área absoluta de cada subclasse de cobertura e uso da terra para cada orientação das vertentes^{11 e 12}. Tendo em vista que as representações gráficas tornam as informações mais visuais, foram elaborados gráficos em rede para ilustrar os resultados dos itens b, c e d.

3.3 Resultados e Discussões

3.3.1 Quantificação e Análise das Coberturas e Usos da Terra

Após a elaboração do Mapa de Cobertura e Uso da Terra de Arroio do Padre (Figura 15, Apêndice 1), foram calculadas as áreas absolutas e percentuais de cada cobertura e uso da terra (Tabela 3).

Tabela 3: Área absoluta e percentual das coberturas e usos da terra.

	Subclasse	Área (km²)	Área (%)
Cobertura da Terra	Área Florestal	44,81	36,06
	Área Campestre	21,20	17,06
	Área Descoberta	0,44	0,35
	Água Continental	0,42	0,34
	Subtotal	66,87	53,81
Uso da Terra	Cultura Temporária	32,30	25,99
	Pastagem	13,50	10,87
	Silvicultura	11,41	9,18
	Área Urbanizada	0,19	0,15
	Subtotal	57,40	46,19
	Área Total	124,27	100,00

¹⁴ Procedimentos: Open Attribute Table → Options → Add Field → Option (Type Double) → Calculate Geometry → Property → Units → Ok → Options → Export.

¹⁵ Procedimentos: 1) 3DAnalyst → Convert → TIN to raster → Input TIN → Attribute → Ok. 2) 3DAnalyst → Reclassify → Input Raster → Classify → Classes → Break values → Ok. 3) 3DAnalyst → Raster to Polygon → Input Raster → Ok. 4) Open Attribute Table → Options → Select by Attributes. Selection → Create Layer from selected features. Open Attribute Table → Add field → Name → Type (Double) → Ok. Calculate Geometry → Ok. Option → Export → Ok. 5) Abrir a tabela e calcular pelo Excel.

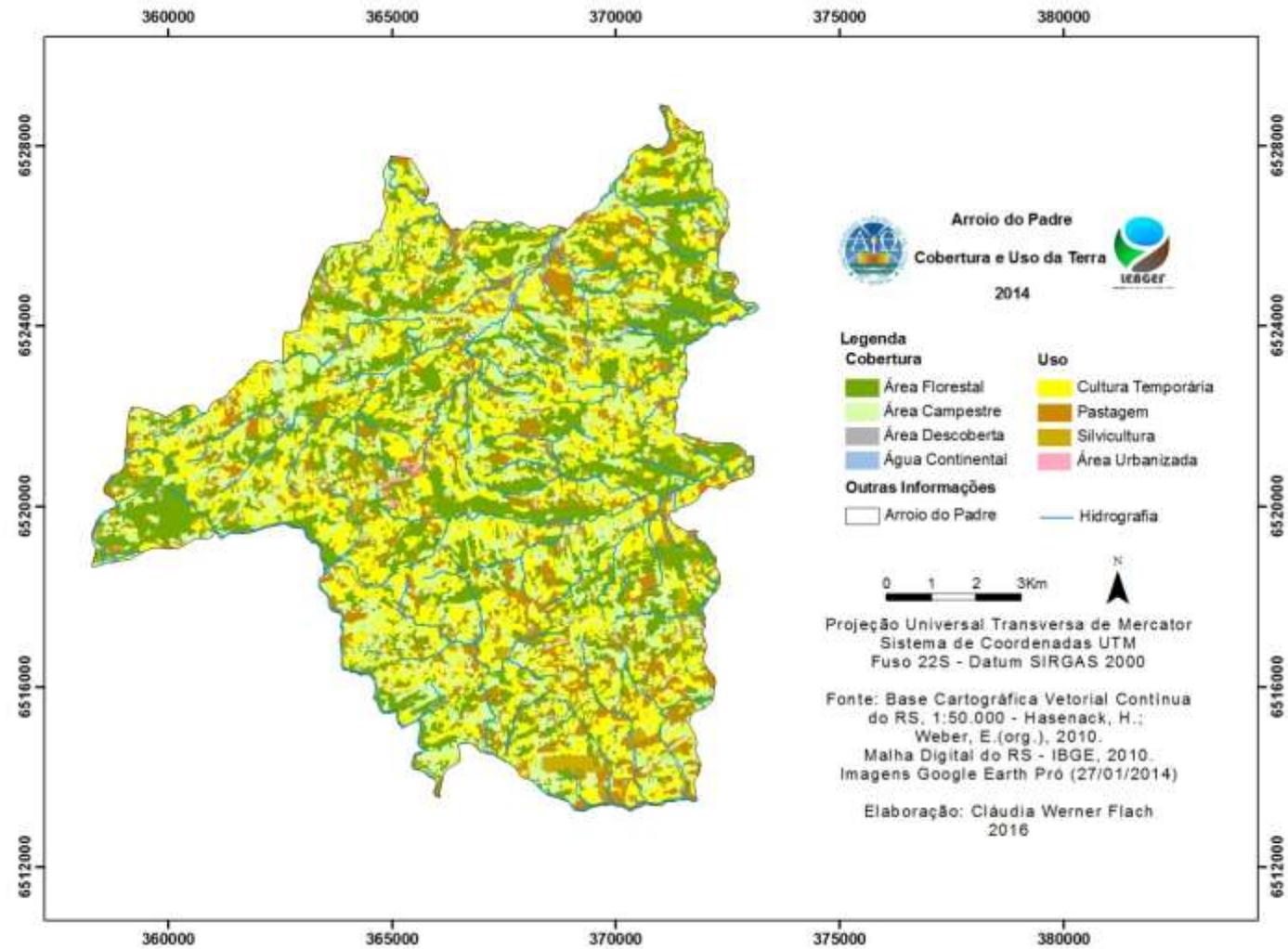


Figura 15: Mapa de Cobertura e Uso da Terra de Arroio do Padre/RS, cenário de 2014.
Fonte: autor.

De acordo com a tabela, é possível verificar que há um predomínio de área das coberturas da terra, com 66,87km² (53,81%), em comparação com os usos da terra, que representam 57,40km² (46,19%). Isso se deve principalmente em função dos aspectos morfométricos do relevo (declividade e orientação das vertentes), que dificultam as práticas agrícolas em grande parte do município. Os dados apresentados na Tabela 3 são discutidos nos itens a seguir.

3.3.1.1 Cobertura da Terra

Dentre as subclasses de cobertura da terra, a mais representativa é a área florestal (Figura 16), com 44,81km² (36,6%). Essa também é a subclasse com maior área territorial no município (dentre usos e coberturas). A presença marcante da cobertura florestal ocorre principalmente em função dos aspectos morfométricos do relevo, como declividade e orientação das vertentes.

A segunda subclasse de maior expressividade são as áreas campestres (Figura 16), com 21,20km² (17,06%). Essas áreas são bem distribuídas no município, encontrando-se principalmente em condições do relevo inadequadas ao uso agrícola. De modo geral, sua presença está condicionada, assim como a cobertura florestal, aos aspectos morfométricos do relevo.

A subclasse áreas descobertas (Figura 16) apresenta 0,44km² (0,35%). Essas áreas são representadas principalmente por depósitos arenosos e rochas expostas. Em Arroio do Padre essas áreas são mais expressivas na parte Norte do município e ao longo do Arroio Pimenta, onde ocorrem extensas áreas de depósitos aluviais arenosos. Por fim, a última subclasse, água continental (Figura 16) é a menos representativa, com 0,42km² (0,34%), sendo caracterizada unicamente pela presença de açudes (580 mapeados). Grande parte desses açudes é utilizada para a piscicultura, com destaque para a produção de carpas (IBGE, 2015b). Tendo em vista que a maioria dos açudes encontra-se em áreas de pastagem, outros usos para essa subclasse são a dessedentação animal e a irrigação em áreas de cultura temporária.



Figura 16: Diferentes categorias de cobertura da terra em Arroio do Padre/RS. A) Área Florestal. B) Área Campestre. C) Área Descoberta. D) Água Continental.
Fonte: autor (2016).

3.3.1.2 Uso da Terra

Levando-se em consideração apenas os usos da terra, há um grande predomínio das culturas temporárias (Figura 17), que ocupam 32,30km² (25,99%). De acordo com os dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2006), dentre as culturas temporárias, destaca-se no município o cultivo de milho, soja e feijão. Os dados da Produção Agrícola Municipal – Lavoura Temporária de 2014 (IBGE, 2015a) demonstram que, além do milho, soja e feijão, outros itens são produzidos, como batata doce, batata inglesa, melancia e melão. Estes produtos caracterizam-se como itens da produção de subsistência de grande parte da população municipal (IBGE, 2015a).

Outro destaque nos cultivos temporários é a produção de fumo, com cerca de 1.200ha cultivadas em 2014 (IBGE, 2015a). Segundo Madail e Bini (2011), em Arroio do Padre, o fumo é responsável por grande parte da renda que mantém as famílias no campo. Levando-se em consideração os 1.200ha

utilizados para a produção de fumo em 2014, é possível perceber que esse montante representa cerca de 9,6% da área total das culturas temporárias (25,99%).

As pastagens (Figura 17) aparecem em segundo lugar em área, com 13,50km² (10,87%). Nesta categoria estão inclusas as pastagens naturais e as pastagens plantadas. Segundo o IBGE (2006), essas áreas somam 1.568ha, o que representa cerca de 15,68km², com predomínio das pastagens naturais. Essa diferença de área pode ser resultante dos diferentes períodos das informações, uma vez que os dados do IBGE são de 2006 e o mapeamento de 2014.

As pastagens são utilizadas predominantemente para pastoreio de ovinos, equinos, caprinos e bovinos, sendo estes últimos mais representativos (IBGE, 2015b). Segundo Madail e Bini (2011), a existência da pecuária leiteira é fundamental para o incremento da renda e manutenção das famílias no campo. Em Arroio do Padre, cerca de 222 estabelecimentos rurais realizam a venda de leite (IBGE, 2006), com um rebanho leiteiro de aproximadamente 1.238 vacas (IBGE, 2015b).

Outra subclasse de uso da terra em evidência é a silvicultura (Figura 17), com um montante de 11,41km² (9,18%). Os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006) estimam aproximadamente 1.024ha de florestas plantadas com essências florestais, o que representa 10,24km². Os dados de extração vegetal e silvicultura apontam para o predomínio do cultivo do eucalipto, seguido da produção de outras espécies, sendo o principal uso a extração de lenha (IBGE, 2015c).

Para Farias (2010), o consumo da lenha proveniente da silvicultura constitui-se como um importante insumo no custo da produção do fumo, pois é utilizada nas estufas para a cura das folhas do tabaco. Os incentivos do setor fumageiro para a implantação da silvicultura visam atender principalmente a demanda da autossuficiência em lenha para os tratamentos pós-colheita do fumo. Essa necessidade por lenha faz com que a maioria das famílias de Arroio do Padre destine uma parte de sua propriedade para a silvicultura.

O uso da terra com menor expressividade é a área urbanizada (Figura 17), com 0,19km² (0,15%). Por ser um município essencialmente agrícola, grande parte da população reside no meio rural (aproximadamente 2.276

habitantes) e na cidade residem apenas 454 pessoas (IBGE, 2010). A área urbanizada de Arroio do Padre é composta por 6 núcleos urbanos. Apesar da existência oficial desses núcleos, há apenas um pequeno sítio efetivamente urbano, com predomínio de residências familiares. O comércio local é composto por poucos estabelecimentos, sendo registradas 42 empresas atuantes, com 233 trabalhadores assalariados (IBGE, 2015d).

Para melhor visualização e destaque da distribuição espacial das subclasses de cobertura e uso da terra no município, a Figura 18 apresenta-as separadamente.



Figura 17: A) Cultura Temporária. B) Pastagem. C) Silvicultura. D) Área Urbanizada.
Fonte: autor (2016).

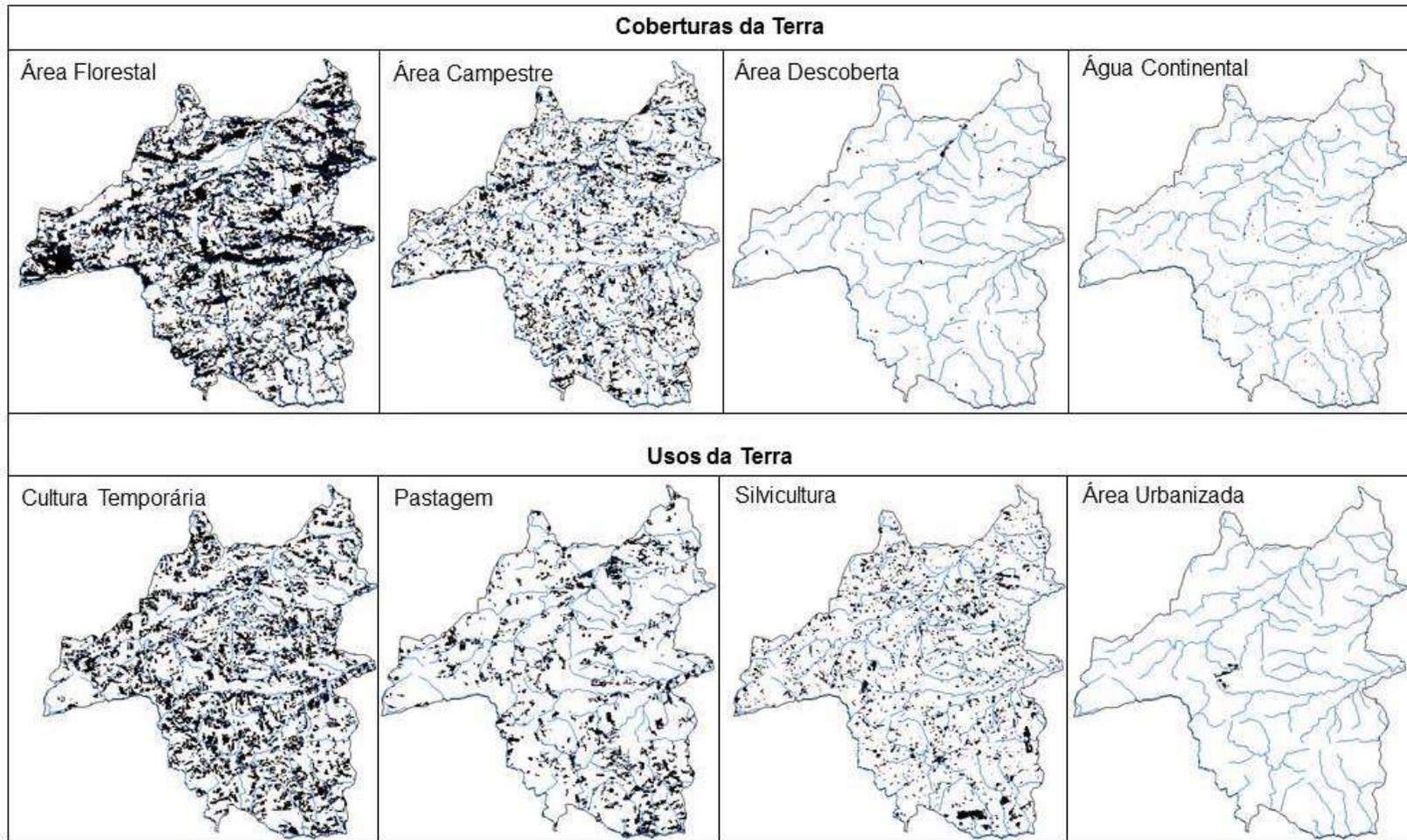


Figura 18: Representação individual de cada subclasse de Cobertura e Uso da Terra em Arroio do Padre/RS, cenário de 2014.

3.3.2 Morfometria das Vertentes

3.3.2.1 Declividade

De acordo com o Mapa de Declividade (Figura 19), é possível identificar áreas bastante expressivas de declividade mais acentuada, como na parte Norte do município, ao longo das cristas que se comportam como divisores d'água para a Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, e junto às altitudes mais elevadas. Outras áreas com declividade forte a muito forte ocorrem ao longo de muitos cursos d'água.

A presença significativa de declividades acentuadas próximas aos cursos d'água pode representar um problema em ocasiões de precipitações intensas, visto que as fortes declividades aumentam a velocidade do escoamento superficial e a água tem o seu poder abrasivo aumentado. Segundo Casseti (2005), o escoamento superficial acontece devido a baixa densidade ou ausência de vegetação, declividade, comportamento do material na superfície, intensidade e duração das chuvas, dentre outros.

Dessa forma, é fundamental a manutenção da cobertura vegetal nesses setores do município que apresentam declividades acentuadas, como forma de minimizar os processos erosivos e o carreamento de grande quantidade de material para dentro dos cursos d'água.

De modo geral, as áreas localizadas em altitudes mais baixas apresentam declividades mais suaves, como nos fundos de vale ao longo do Arroio Pimenta e do Arroio do Padre, que apresentam declividades classificadas como fraca a muito fraca (entre 0 à 12%). Essa condição também ocorre de forma bastante expressiva na parte sul do município.

Conforme mencionado anteriormente, a identificação das áreas com declividades mais ou menos acentuadas é fundamental para o planejamento territorial, bem como para a identificação de áreas suscetíveis ao desencadeamento de movimentos de massa.

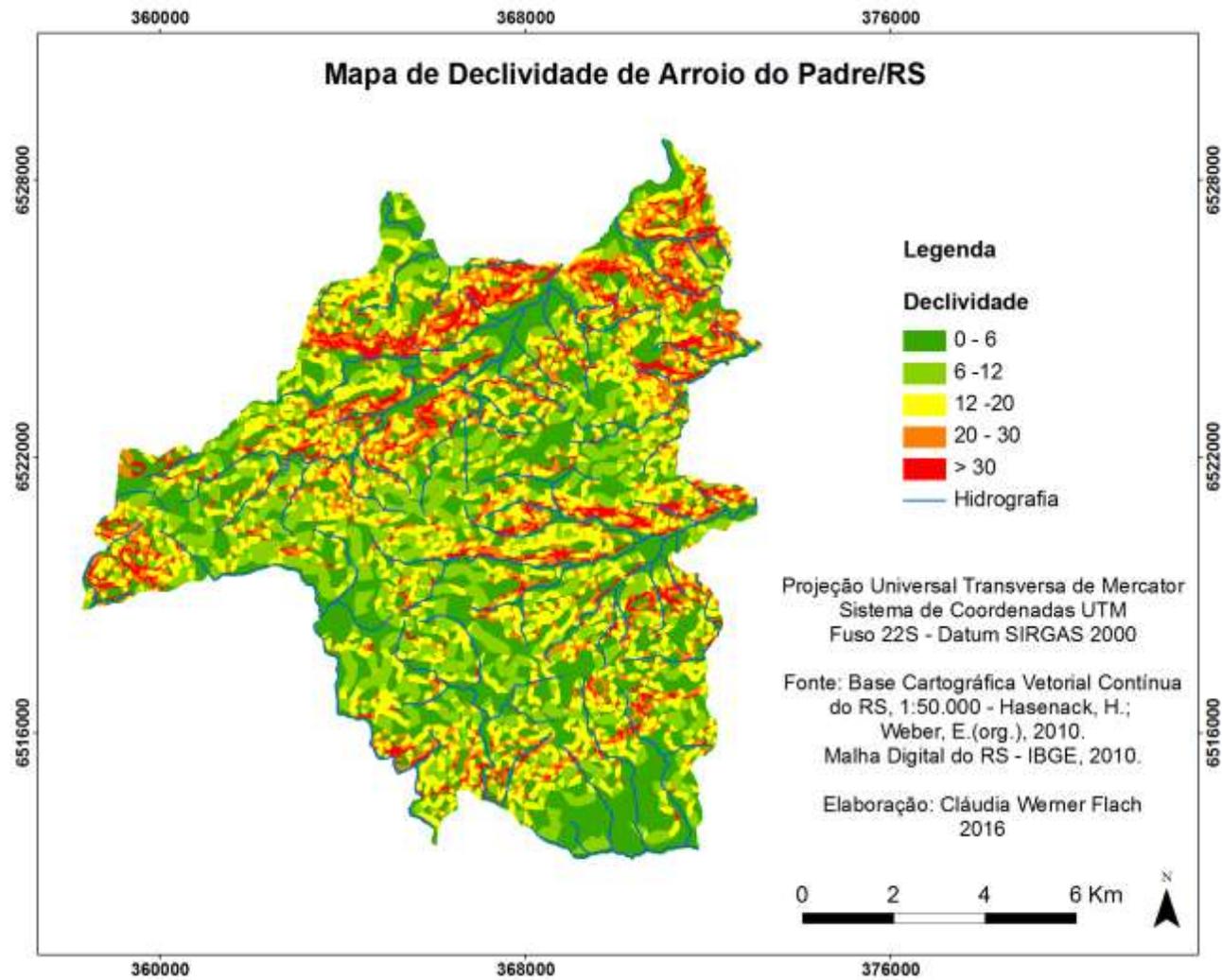


Figura 19: Mapa de Declividade de Arroio do Padre.
Fonte: autor.

3.3.2.2 Orientação das Vertentes

De acordo com o Mapa de Orientação das Vertentes (Figura 20), identificam-se vertentes de grande continuidade lateral, orientadas ao Sul, principalmente ao longo das cristas alongadas que cortam o município, indicando uma grande área receptora de pouca insolação. Há forte presença de vertentes orientadas ao Sul em locais com declividades acentuadas. De acordo alguns autores (CUSTÓDIO et al., 2007; ROVANI; CASSOL, 2012), nessas áreas a manutenção da cobertura vegetal é mais frequente, pois constituem-se como áreas mais úmidas e desfavoráveis a grande parte das culturas.

Ao longo dos afluentes do Arroio Pimenta, especialmente os situados à margem esquerda, e ao longo dos afluentes do Arroio do Padre, há um predomínio de vertentes orientadas ao Norte, sendo estas as áreas que recebem maior insolação. Apesar de essas áreas serem mais utilizadas para a implantação das culturas, deve-se atentar para a ocorrência de vertentes orientadas ao Norte em áreas com declividades acentuadas.

Ao longo de grande parte da crista alongada ao Norte do município, intercalam-se vertentes orientadas a Norte e Oeste. Outras ocorrências mais significativas de vertentes orientadas ao Oeste ocorrem na porção sudoeste de Arroio do Padre.

As vertentes orientadas a Leste são bem distribuídas ao longo do município. Estas áreas também recebem maior insolação, porém assim como nas vertentes orientadas a Norte, algumas dessas áreas encontram-se junto a declividade acentuadas, devendo-se priorizar a manutenção da cobertura vegetal.

As áreas planas são bem distribuídas, porém são bastante expressivas nos fundos de vale, ao sul do município, junto as altitudes menos elevadas, e no topo da crista alongada que corta a parte central da área de estudo.

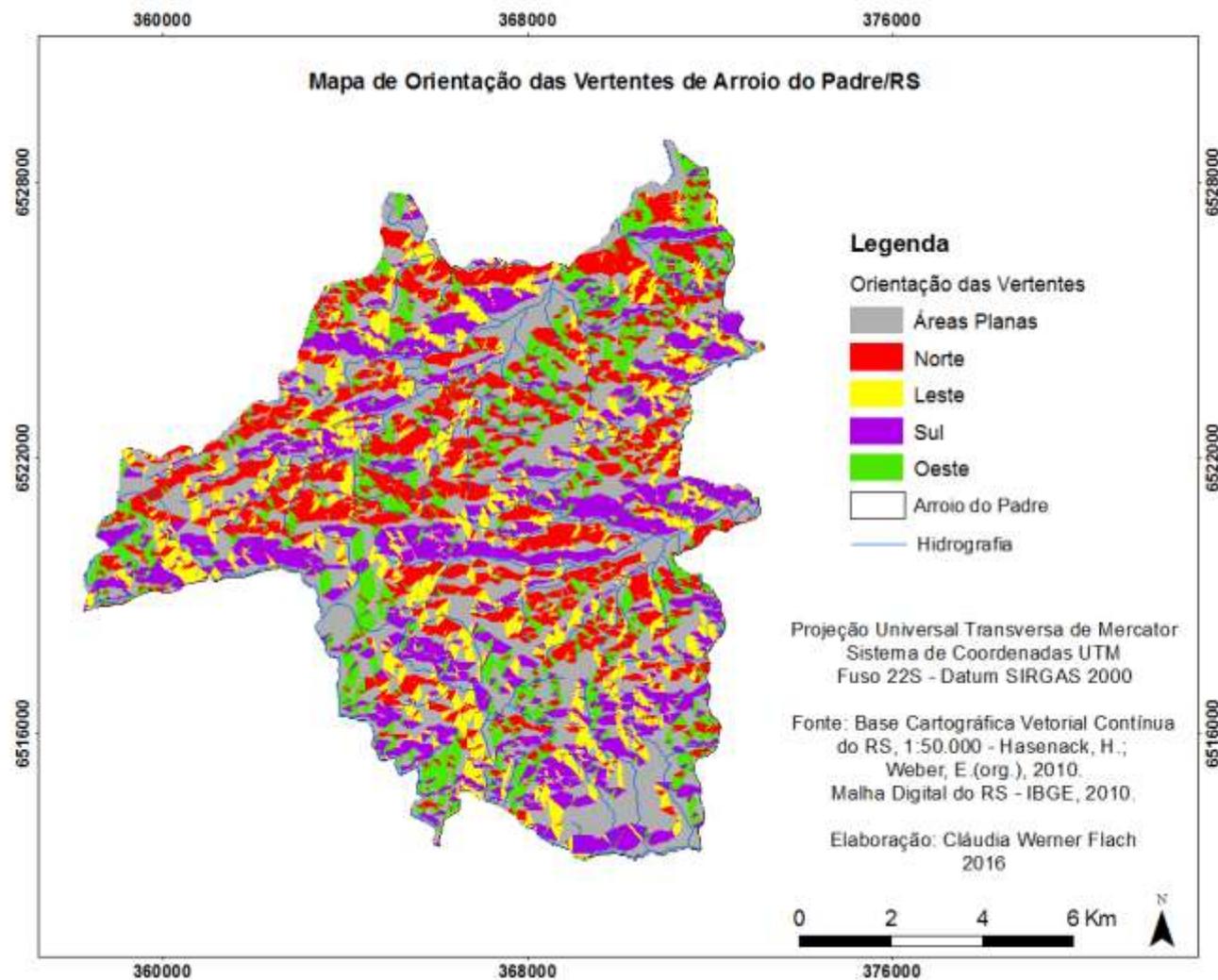


Figura 20: Mapa de Orientação das Vertentes.
Fonte: autor.

3.3.2.3 Declividade das Vertentes x Orientação das Vertentes

Para melhor compreensão da distribuição de cada orientação das vertentes em cada classe de declividade, a Tabela 4 ilustra essa relação.

Tabela 4: Distribuição de cada classe de orientação de vertentes em cada classe de declividade.

	Declividade das Vertentes					Total	
	0-6%	6-12%	12-20%	20-30%	>30%		
Orientação das Vertentes	Norte	0,64	7,85	10,48	4,26	1,73	24,96
	Sul	1,41	5,33	7,64	4,41	3,90	22,69
	Leste	0,84	4,03	7,35	2,84	1,12	16,18
	Oeste	0,87	5,05	5,79	2,35	1,09	15,15
	Planas	45,29	0,00	0,00	0,00	0,00	45,29
Total	49,05	22,26	31,26	13,86	7,84	124,27Km²	

De acordo com a Tabela 4, verifica-se:

- o predomínio das áreas planas (45,29 Km²) e por consequência, das áreas com declividade até 6% (49,05%);
- vertentes orientadas ao Norte ocorrem em 24,96 Km², sendo mais frequentes em áreas com declividade entre 6 – 20% (Figura 21);
- vertentes orientadas ao Sul ocorrem em 22,69 Km², distribuindo-se uniformemente em declividades acima de 6% (Figura 21);
- vertentes orientadas ao Leste ocorrem em 16,18 Km², sendo frequentes em áreas com declividade entre 6 – 20%, entretanto, com um pico mais significativo entre 12 – 20% (Figura 21);
- vertentes orientadas ao Oeste ocorrem em 15,15 Km² e encontram-se principalmente em áreas com declividade entre 6 – 20% (Figura 21).

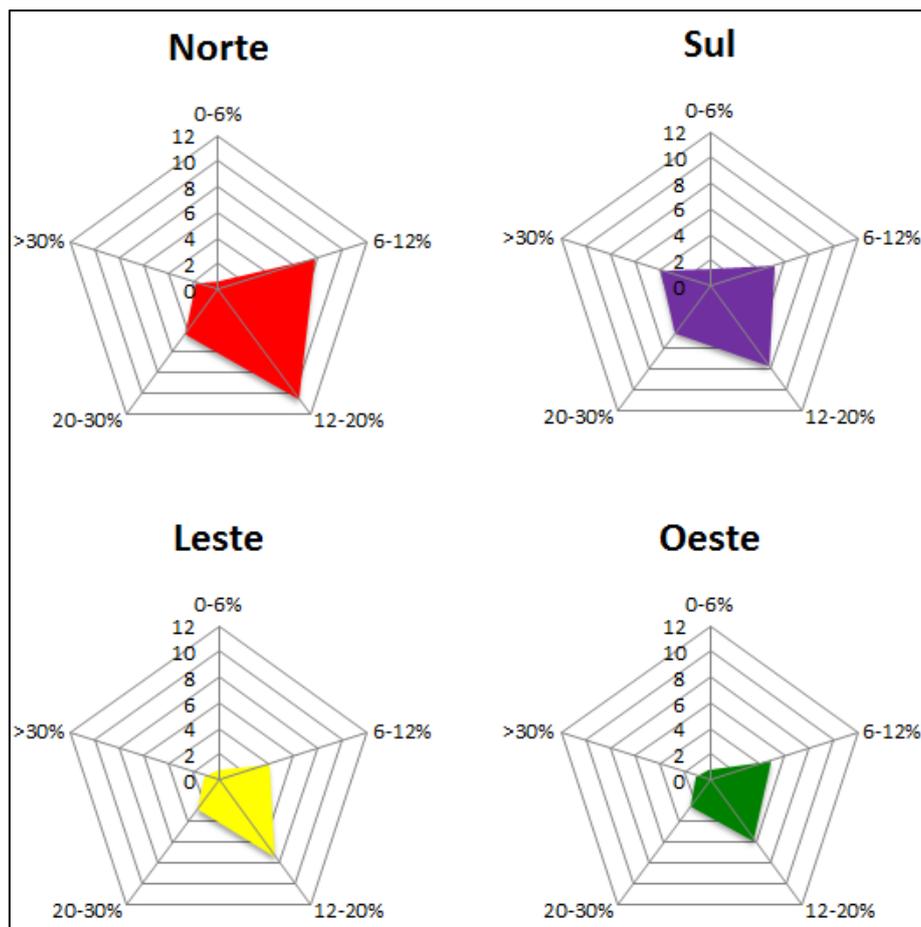


Figura 21: Distribuição das Vertentes orientadas a Norte, Sul, Leste e Oeste em cada classe de declividade.

3.3.3 Distribuição das Coberturas e Usos da Terra em função da Morfometria das Vertentes

3.3.3.1 Coberturas e Usos da Terra e Declividade

A declividade também atua diretamente na distribuição das coberturas e usos da terra, uma vez que as condições do relevo são fundamentais para o estabelecimento de determinadas culturas. De acordo com Chagas et al. (2013) fatores como a declividade, a radiação solar e o aspecto (orientação das vertentes) exercem influência nos solos (distribuição e propriedades dos solos em encostas), e conseqüentemente na distribuição das coberturas e usos da terra.

Na Tabela 5 e na Figura 22, verifica-se a área absoluta das subclasses de coberturas e usos da terra em cada classe de declividade das vertentes.

Tabela 5: Área absoluta das subclasses de cobertura e uso da terra em cada classe de declividade.

		Declividade das Vertentes					Total
		0-6%	6-12%	12-20%	20-30%	>30%	
Coberturas da Terra	Área Florestal	14,48	5,31	11,59	7,49	5,94	44,81
	Área Campestre	8,08	3,76	6,11	2,24	1,01	21,20
	Área Descoberta	0,28	0,04	0,06	0,03	0,03	0,44
	Água Continental	0,21	0,10	0,10	0,01	0,00	0,42
	Subtotal	23,05	9,21	17,86	9,77	6,98	66,87 Km²
Usos da Terra	Cultura Temporária	14,19	7,98	7,63	2,31	0,19	32,30
	Pastagem	6,93	2,72	3,21	0,54	0,10	13,50
	Silvicultura	4,84	2,25	2,51	1,24	0,57	11,41
	Área Urbanizada	0,04	0,10	0,05	0,00	0,00	0,19
	Subtotal	26,00	13,05	13,40	4,09	0,86	57,40 Km²
Total		72,1	31,47	49,12	23,63	14,82	124,27 Km²

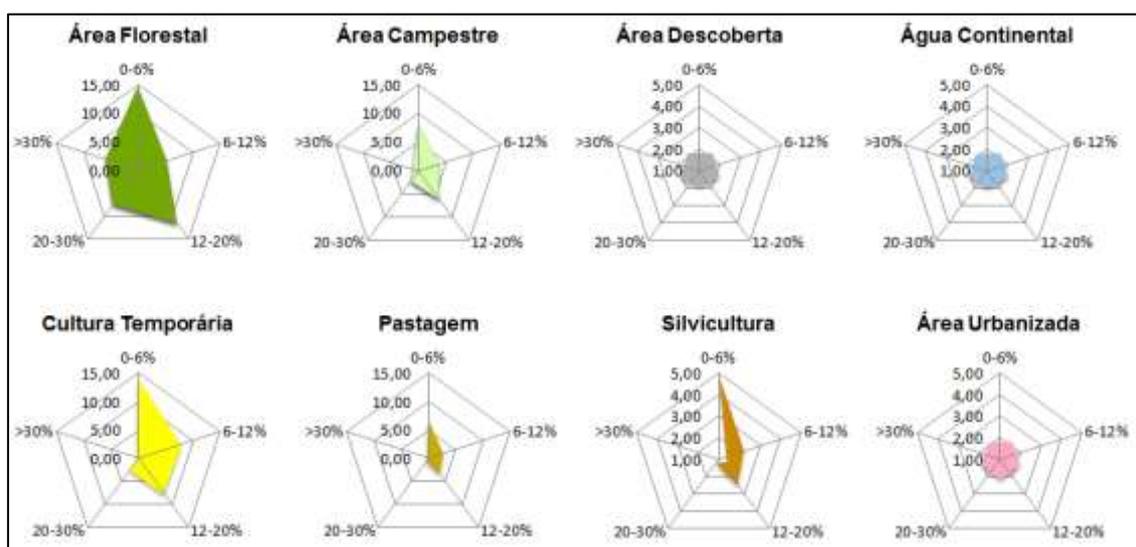


Figura 22: Representação gráfica da distribuição de cada subclasse de cobertura e uso da terra em cada classe de declividade.

O que mais se destaca em Arroio do Padre com relação à distribuição das coberturas e usos da terra condicionada pela declividade é a presença de cobertura do tipo florestal em áreas de declividade mais acentuada, ocorrendo em 13,43 Km² dos 21,70 Km² de declividades acima de 20%. Segundo Bias et al. (2012), é importante a manutenção dessas áreas de cobertura florestal em declividades acentuadas, pois sua presença auxilia na manutenção do ciclo hidrológico e na proteção do solo aos processos erosivos.

Para Höfig e Araújo-Junior (2015), áreas com declividades acima de 20% apresentam também restrição à mecanização. De acordo com a proposta de classificação de terras para mecanização em sistema de cultivo convencional,

elaborada por Francisco et al. (2013), que leva em consideração o mais alto grau de limitação imposto por um ou mais atributos diagnóstico (declividade e características do solo), as áreas com declividades superiores a 20% apresentam alto grau de limitação. Essa limitação se dá principalmente em função da declividade, da profundidade efetiva do solo, da pedregosidade e da drenagem. As dificuldades de manejo e implantação das culturas podem explicar a presença ainda significativa da cobertura florestal nessas áreas.

Nessas mesmas áreas (declividade acima de 20%) destaca-se também a presença de cobertura do tipo campestre, com 3,25 Km². O restante da área campestre (17,95 Km²) é bem distribuído em Arroio do Padre, estando presente em diferentes classes de declividade. Ocorre com maior expressividade na parte Norte do município, ao longo dos afluentes do Arroio Pimenta. Em seu estudo, Mello (2009) encontrou resultados semelhantes, destacando que as áreas mais declivosas são cobertas por matas e capoeiras (cobertura florestal e campestre).

Nas áreas com declividade de até 20% há um predomínio das subclasses de uso da terra (cultura temporária, com 29,8 Km²; pastagem, com 12,86 km²; e silvicultura, com 9,60 Km²) em todo o município. De acordo com a proposta de classificação de terras para mecanização de Francisco et al. (2013), essas áreas são consideradas propícias à mecanização agrícola, tendo em vista as condições do terreno. Segundo Mello (2009), nas áreas de menor declividade há uma preferência pelo uso da terra, em função da presença de terrenos planos, que facilitam o cultivo e o acesso às áreas.

Cabe ressaltar que ocorrem 4,95 Km² de usos em locais com declividade superior a 20%. A implantação de culturas nessas condições exige a adoção de práticas conservacionistas, pois as características do terreno favorecem os processos erosivos em ocasiões de precipitações intensas.

Sintetizando, percebe-se que há uma relação entre a declividade e a distribuição das coberturas e usos da terra. De modo geral, em Arroio do Padre as áreas com declividade mais acentuada apresentam cobertura vegetal natural e as áreas com declividade mais suave são utilizadas para o uso diverso (cultura temporária, pastagem e silvicultura).

3.3.3.2 Coberturas e Usos da Terra e Orientação das Vertentes

A orientação das vertentes influencia no recebimento de insolação e conseqüentemente na distribuição dos usos da terra. No hemisfério sul, nas áreas localizadas nas regiões subtropicais, as vertentes orientadas para o Norte são que recebem maior insolação e as vertentes orientadas para o Sul são as que recebem menor insolação (CORRÊA, 2008; ROVANI; CASSOL, 2012; SAYDELLES; SARTORI, 2007).

Em função da menor insolação e maior umidade presente nas vertentes orientadas ao Sul, o estudo realizado por Mello (2009) identificou que a cobertura vegetal está presente preferencialmente nessas áreas com menor insolação. Já os usos estão concentrados nas vertentes orientadas ao Norte, recebendo maior incidência solar.

Na Tabela 6 e na Figura 23, verifica-se a área absoluta das subclasses de coberturas e usos da terra em cada orientação das vertentes.

Tabela 6: Área absoluta das subclasses de cobertura e uso da terra em cada orientação das vertentes.

		Orientação das Vertentes					Total
		Área Plana	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Coberturas da Terra	Área Florestal	10,29	7,52	13,49	6,08	7,43	44,81
	Área Campestre	7,81	4,58	3,2	2,98	2,63	21,2
	Área Descoberta	0,3	0,05	0,03	0,01	0,05	0,44
	Água Continental	0,19	0,1	0,06	0,04	0,03	0,42
	Subtotal	18,59	12,25	16,78	9,11	10,14	66,87
Usos da Terra	Cultura Temporária	15,83	7,03	2,87	3,97	2,6	32,3
	Pastagem	6,35	2,89	1,47	1,78	1,01	13,5
	Silvicultura	4,47	2,73	1,54	1,3	1,37	11,41
	Área Urbanizada	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03	0,19
	Subtotal	26,7	12,71	5,91	7,07	5,01	57,4
	Total	63,88	37,21	39,47	25,29	25,29	124,27 Km²

Em Arroio do Padre, as vertentes orientadas para Sul mantém cobertura vegetal composta predominantemente por floresta (13,49 Km²), com presença menos significativa de cobertura campestre (3,20 Km²). Essa tendência ocorre em praticamente todo o município, com exceção da porção extremo Sul do município, onde são identificados diversos usos, principalmente cultura temporária.

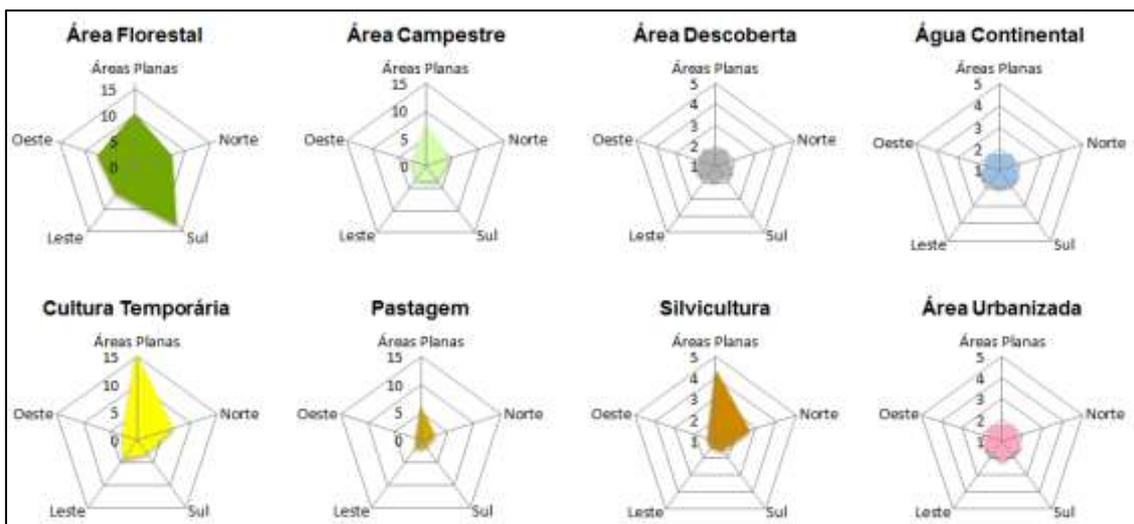


Figura 23: Representação gráfica da distribuição de cada subclasse de cobertura e uso da terra em cada orientação das vertentes.

Nas vertentes orientadas a Oeste (também recebem menor insolação), o comportamento das coberturas e usos da terra apresenta uma variação entre a metade Norte e a metade Sul do município. Na primeira, há um predomínio das coberturas florestal e campestre e na segunda estão presentes predominantemente os usos da terra, com destaque para as culturas temporárias.

Com relação às vertentes que recebem maior insolação, aquelas orientadas para o Norte e Leste, as coberturas e os usos da terra apresentam distribuição uniforme e apenas algumas destas áreas apresentam maior predomínio dos usos em detrimento das coberturas.

São nas áreas consideradas como planas (sem orientação preferencial) que se destacam os usos da terra. Nas áreas adjacentes aos afluentes dos principais arroios (Arroio Pimenta e Arroio do Padre) há uma concentração dos usos do tipo cultura temporária e pastagem. Na porção extremo sul do município também há um predomínio dos usos, com presença significativa de áreas contínuas de silvicultura.

3.4 Conclusões do Capítulo

No município ainda há o predomínio das subclasses de coberturas da terra (66,87km² - 53,81%), em comparação com os usos da terra (57,40km² - 46,19%).

Com relação a declividade, predominam as áreas com declividade até 6% (49,05 Km²), entretanto, as áreas com declividade superior a 20% também são expressivas (21,70 Km²). No que diz respeito a orientação das vertentes, predominam as vertentes orientadas ao Norte (24,96 Km²) e as vertentes orientadas ao leste são as menos expressivas (15,15 Km²).

Levando-se em consideração a distribuição das subclasses de cobertura e uso da terra em função da declividade, há um predomínio das coberturas da terra em áreas com declividade superior a 20% (16,75 Km²), entretanto, ressalta-se a presença de usos nessas áreas (4,95 Km²). Os usos da terra ocorrem predominantemente em áreas com declividade até 6% (26,00 Km²).

Considerando-se a orientação das vertentes na distribuição das coberturas e usos da terra, verifica-se os usos da terra ocorrem predominantemente nas áreas planas (26,70 Km²), seguidas das vertentes orientadas ao Norte (12,71 Km²). As coberturas da terra também ocorrem predominantemente nas áreas planas (18,59 Km²), seguidas das vertentes orientadas ao Sul (16,78 Km²).

4. INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA EM ARROIO DO PADRE.

4.1 Introdução

A ocorrência de desastres naturais no Brasil é bastante frequente, entretanto, o aumento da ocupação de áreas pelas atividades antrópicas, associado ao mau uso, manejo e conservação dos solos, é responsável pelo desencadeamento de diversos problemas ambientais (GUERRA et al., 2007). Nesse cenário, as enchentes e instabilizações em encostas são consideradas, pelo meio técnico nacional, como os principais riscos físicos no país. De forma geral, as enchentes são responsáveis por perdas materiais severas, enquanto que as instabilizações nas encostas ocasionam grandes perdas de vidas (FARAH, 2003).

Tendo em vista que as encostas tem papel fundamental no desenvolvimento de movimentos de massa, Farah (2003) elenca 3 fatores que condicionam a estabilidade das encostas em seu estado natural: a geometria (inclinação, declividade, amplitude e perfil); a geologia (tipos e origens dos solos e rochas); e o ambiente fisiográfico em que se insere (clima, cobertura vegetal, drenagens naturais).

Segundo o autor, qualquer alteração nesses fatores pode implicar na alteração da estabilidade, potencializando a instabilização das encostas. As ações humanas para a implantação da agricultura, pecuária, mineração e urbanização podem alterar as características originais das encostas através da retirada da vegetação, movimentações de terra, alteração do regime natural de escoamento e infiltração das águas pluviais, introdução de novas fontes de águas e deposição de material (FARAH, 2003; OLIVEIRA, 2010).

Para Castro (2008), a dinâmica superficial das encostas é regida pelo transporte de massa e por movimentos gravitacionais de massa. O primeiro caracteriza-se pelos processos de erosão laminar, erosão em sulcos ou ravinas e erosão por voçorocas, enquanto que o segundo é caracterizado por rastejos, escorregamentos, quedas ou tombamentos e corridas de massa. Tominaga (2007) destaca que os movimentos gravitacionais de massa são processos naturais importantes que atuam na dinâmica das vertentes.

Levando-se em consideração a importância da definição de movimentos de massa, e que na literatura encontram-se diversas definições para a expressão, a título de esclarecimento algumas dessas definições são apresentadas a seguir.

Os movimentos de massa são constituídos por movimentos de solo, rocha ou vegetação ao longo da vertente, através da ação direta da gravidade. “A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos” (TOMINAGA, 2009, p.27).

Esses processos envolvem “todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidades, formas e demais características” (CASTRO, 2008), sendo “responsáveis pela mobilização de partículas, sedimentos, solo ou rocha pela encosta abaixo” (OLIVEIRA, 2010, p.25).

Estudos realizados por Guerra et al. (2007) enfatizam que o desencadeamento dos movimentos de massa dependem de diversos condicionantes naturais, entretanto, a chuva é um dos fatores mais significativos, uma vez que grande parte dos registros de ocorrência estão associados a eventos pluviométricos intensos e/ou prolongados. Na mesma perspectiva, Oliveira (2010) destaca que as precipitações contribuem para a instabilização das encostas através da infiltração e do encharcamento do solo, pela formação de superfícies de ruptura, saturação do solo e aumento do peso específico, redução da resistência dos solos pela perda de coesão.

Conforme Highland e Brobowsky (2008), as causas dos deslizamentos podem ser divididas em naturais e antrópicas. Dentre as causas naturais, existem três mecanismos principais de desencadeamento: água; atividade sísmica; e atividade vulcânica. Com relação às causas antrópicas, um grande número de atividades pode desencadear deslizamentos: expansão para novas terras, com a criação de bairros, vilas; perturbação ou alteração do padrão de drenagem; desestabilização de encostas; remoção da vegetação; aumento de carga no cume de uma encosta; irrigação; vazamento de tubulações; dentre outros.

4.1.1 Classificação dos Movimentos de Massa

4.1.1.1 Rastejo (Creep)

O rastejo (Figura 24) é caracterizado por movimentos lentos e contínuos de parte do solo ao longo do talude, sem que ocorra o desenvolvimento de uma superfície de ruptura. Esse processo atinge grandes áreas e afeta os horizontes superficiais das encostas e estratos profundos (CASTRO, 2008; OLIVEIRA, 2010). O movimento do rastejo é causado por uma tensão de cisalhamento suficiente para produzir uma deformação permanente, mas insuficiente para produzir a falha do cisalhamento (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008; USGS, 2004).



Figura 24: Rastejo (creep).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

A origem desse processo está relacionada com a instabilização da encosta, a partir da abertura de cortes, pisoteio do gado, crescimento de raízes e escavação de buracos pelos animais (OLIVEIRA, 2010).

Os rastejos mobilizam grandes volumes de solos pela ação da gravidade, associada aos efeitos das variações de temperatura e umidade. A expansão e contração da massa de material provoca o movimento vertente abaixo (TOMINAGA, 2009). Esse movimento é tão lento que pode ser medido em centímetros por ano. Outra característica desse processo é que pode ser contínuo ou pulsante. "Este último associa-se a alterações climáticas sazonais, intensificando-se nos períodos de chuva e estacionando nos períodos secos" (CASTRO, 2008, p.155).

Apesar do movimento lento, o rastejo pode preceder movimentos rápidos como os escorregamentos (CASTRO, 2008). Assim como outros processos, o

rastejo pode ser subdividido em: sazonal (ocorre por mudanças na umidade e temperatura do solo); contínuo (quando a tensão de cisalhamento excede a resistência do material); e progressivo (quando afeta outros materiais, como árvores, cercas, muros de contenção) (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008; USGS, 2004).

4.1.1.2 Escorregamentos (*Slides*)

Os escorregamentos caracterizam-se por movimentos rápidos e bruscos, que apresentam limites laterais e profundidades bem definidas. Os materiais mobilizados nesse processo podem envolver solo, solo e rocha ou apenas rocha, deslocando-se sob a ação da gravidade, para baixo e para fora da vertente (OLIVEIRA, 2010; TOMINAGA, 2009). O escorregamento é um movimento descendente de uma massa de solo ou rocha, ocorrendo predominantemente em superfícies de ruptura ou zonas com intensa tensão de cisalhamento (WP / WLI, 1993).

Esse processo pode ocorrer isoladamente no tempo e no espaço (escorregamento esparso) e simultaneamente com outros movimentos gravitacionais (escorregamento generalizado) (CASTRO, 2008). Tem como principal agente deflagrador a precipitação, geralmente associada a desmatamentos, oscilações do lençol freático, erosão. Dentre as causas antrópicas, alguns aspectos são determinantes, como a concentração de águas pluviais, o lançamento de águas servidas, a presença de fossas sanitárias, a declividade e alturas excessivas de cortes (OLIVEIRA, 2010).

A geometria e a natureza dos materiais envolvidos permite subdividir os escorregamentos em: rotacionais ou circulares, translacionais ou planares e em cunha (OLIVEIRA, 2010; TOMINAGA, 2009). Essa subdivisão pode ser observada na Figura 25.

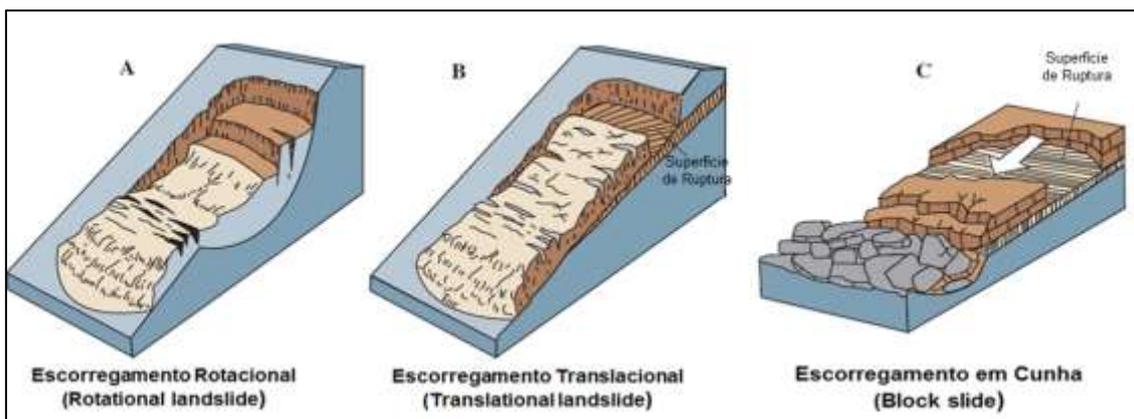


Figura 25: A) Escorregamentos Rotacionais (Rotational landslide). B) Escorregamentos Translacionais (Translational landslide). C) Escorregamentos em Cunha (Block slide).

Fonte: Modificado de 'Landslide Types and Processes, USGS (2004)'.

4.1.1.2.1 Escorregamentos Rotacionais (*Rotational Landslide*)

Os escorregamentos rotacionais apresentam uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se desenvolve um movimento rotacional do maciço de solo (TOMINAGA, 2009; USGS, 2004). Esse processo apresenta uma superfície de ruptura curvada no sentido superior e “o movimento da queda de barreira é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude” (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008, p.13).

Outra característica é que a massa pode se deslocar de forma coerente, ao longo da superfície de ruptura, tendo 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” (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008, p.13).

Quando um escorregamento rotacional possui muitos planos de movimento paralelos e curvos, chama-se abaixamento. Os efeitos dos escorregamentos rotacionais são bastante danosos as estruturas, rodovias e redes de abastecimentos, além de que o grande volume de material mobilizado pode represar rios e causar inundações (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

4.1.1.2.2 Escorregamentos Translacionais (*Translational Landslide*)

Os escorregamentos translacionais formam superfícies de ruptura planar associadas aos processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos

(HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008; TOMINAGA, 2009). A massa se move ao longo de um plano de superfície com pouca rotação ou inclinação para trás (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008; USGS, 2004).

Quando a superfície de ruptura é suficientemente inclinada, esse processo pode progredir por grandes distâncias. Inicialmente, os efeitos podem ser lentos, atingindo propriedades e redes de abastecimento, porém, quando os escorregamentos ganham velocidade podem ameaçar a vida (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

4.1.1.2.3 Escorregamentos em Cunha (*Block Slide*)

Os escorregamentos em cunha estão associados aos maciços rochosos com presença de estruturas planares favoráveis à instabilização, provocando o deslocamento da massa em forma de prisma (TOMINAGA, 2009).

4.1.1.3 Queda de Blocos e Tombamentos (*Falls and Topples*)

4.1.1.3.1 Queda de Blocos (*Rockfall*)

Ao contrário dos escorregamentos, as quedas (Figura 26) são caracterizadas por movimentos rápidos, em queda livre ou rolamento e envolvem blocos e lascas de rocha em encostas íngremes (CASTRO, 2008; OLIVEIRA, 2010; TOMINAGA, 2009). Outra característica desse processo é a ausência de uma superfície de movimentação, uma vez que a queda ocorre a partir de uma superfície de elevação (TOMINAGA, 2009). “A instabilização do bloco se dá pela perda da resistência mecânica de apoio, que pode ser uma superfície rochosa ou elementos como árvores e raízes” (OLIVEIRA, 2010, p.29).

As quedas ocorrem quando materiais geológicos (rochas e pedregulhos) se desprendem de encostas íngremes ou de falésias. Esse desprendimento se dá ao longo de descontinuidades (fraturas, articulações e planos de estratificações), em queda livre, saltando ou rolando, tendo influência da gravidade, do desgaste mecânico e da água (USGS, 2004; WP / WLI, 1993).

Esse processo se inicia com a separação de solo e/ou rocha de taludes íngremes, ao longo de sua superfície com pouco ou nenhum cisalhamento. O

material em queda pode ameaçar vidas, danificar propriedades abaixo da linha de queda, bloquear estradas e ferrovias. Outro problema refere-se a possibilidade da grande distância percorrida por esses materiais, danificando estruturas e podendo causar mortes (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

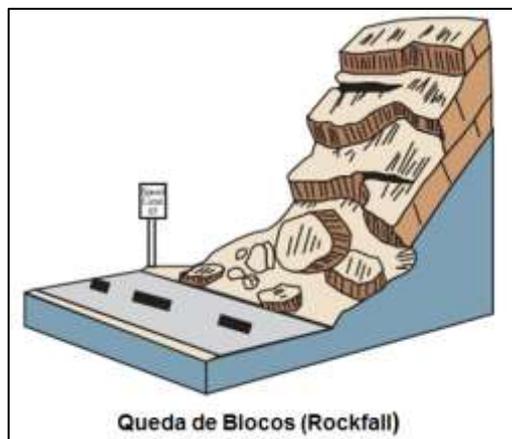


Figura 26: Queda de Blocos (Rockfall).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

4.1.1.3.2 Tombamento (*Topple*)

Os tombamentos (Figura 27) são caracterizados pelo movimento de uma massa de solo ou rocha em torno de um ponto ou eixo, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. Esse processo sofre a ação da gravidade, das forças exercidas pelas unidades adjacentes e dos fluídos nas fendas (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008; USGS, 2004; WP / WLI, 1993).

As discontinuidades presentes nos maciços rochosos (acamamento, xistosidade, planos de falhas e fraturas) provocam o desprendimento e tombamento de lascas e placas de rocha. Os tombamentos podem se originar devido a variações térmicas, erosão e pressão nas discontinuidades. "A ocupação inadequada das áreas de pedreiras desativadas, onde são comuns lascas e blocos instáveis, pode provocar acidentes relacionados a esse processo" (OLIVEIRA, 2010, p.29).

Os efeitos dos tombamentos podem ser extremamente destrutivos, e esses efeitos são agravados quando a ruptura é repentina ou quando a velocidade é alta (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

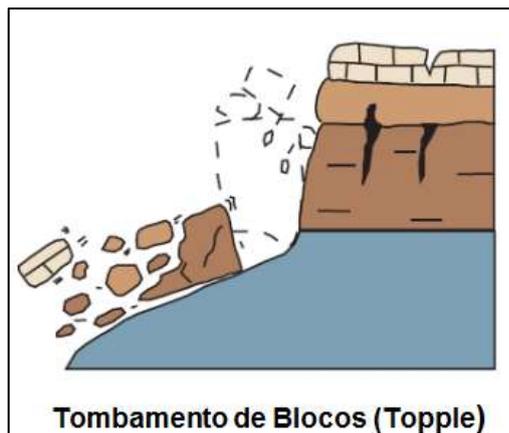


Figura 27: Tombamento (Topple).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

4.1.1.4 Corridas de Massa (*Flows*)

As corridas de massa são processos rápidos de escoamento de uma massa de solo ou solo e rocha ao longo de uma vertente, com caráter hidrodinâmico pela perda do atrito interno das partículas devido ao excesso de água (CASTRO, 2008; TOMINAGA, 2009). Essa massa viscosa é composta por água, argila e silte e material grosseiro, como areia, grânulos, seixos e matacões. As precipitações originam as corridas de massa, no entanto a ocupação desordenada das encostas pode antecipar e ampliar esses processos. As corridas de massa envolvem “grandes volumes de massa com alto poder destrutivo e de transporte, atingindo grandes distâncias ao longo das drenagens e podendo atingir mesmo as áreas mais planas” (OLIVEIRA, 2010, p.30).

Outra definição mais simplificada trata as corridas como movimentos rápidos, em que o deslocamento da massa assemelha-se a um fluido viscoso (WP / WLI, 1993). As corridas de massa são geradas a partir de um grande aporte de material de drenagem, sobre terrenos pouco consolidados. São caracterizados pela grande capacidade de transporte, grande raio de ação e alto poder destrutivo (CASTRO, 2008).

4.1.1.4.1 Fluxo de Detritos (*Debris Flow*)

O fluxo de detritos (Figura 28) é uma forma rápida de movimento de massa, em que solo, rochas e material orgânico se misturam com a água e

formam a lama (grande quantidade de partículas finas) que desliza talude abaixo. “Quando um escorregamento rotacional ou translacional ganha velocidade, e a massa interna perde a coesão ou ganha água, esse fenômeno pode mudar para um fluxo de detritos” (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008, p.22).

Pelas características da massa e velocidade do movimento, os fluxos de detritos podem ser letais, podendo mover objetos e enterrar estruturas durante a descida. Outro efeito é a possibilidade de alterar a qualidade da água ao depositar grande quantidade de silte e fragmentos (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

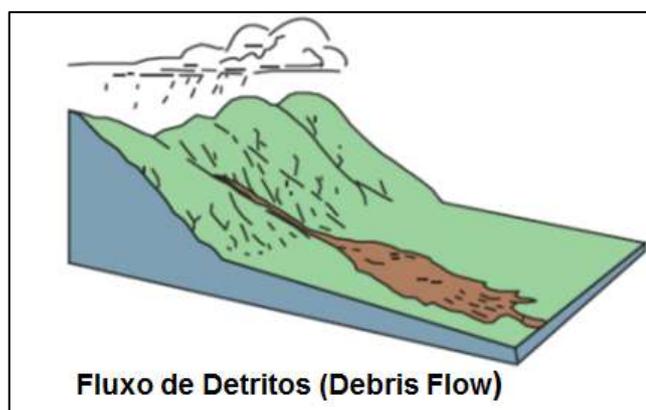


Figura 28: Fluxo de Detritos (Debris Flow).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

4.1.1.4.2 Avalanche de Detritos (*Debris Avalanche*)

As avalanches de detritos (Figura 29) possuem grande extensão, são extremamente rápidas e costumam formar escoamentos em taludes abertos. As avalanches “são formadas quando uma encosta instável se rompe e os fragmentos resultantes são rapidamente transportados para longe” (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008, p.28).

Quando há água suficiente, pode tornar-se um fluxo de detritos e nesses casos pode percorrer quilômetros, alastrando ainda mais os danos. Pela velocidade do movimento, as avalanches podem ser fatais, inundando grandes áreas (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

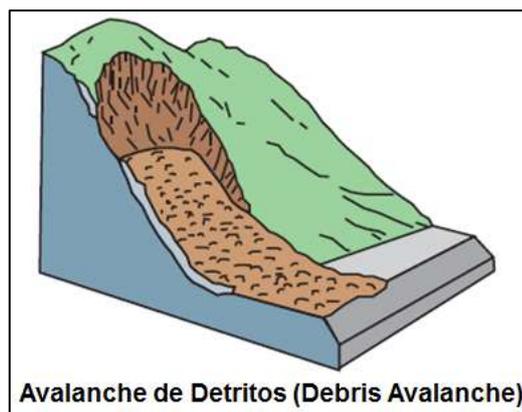


Figura 29: Avalanche de Detritos (Debris Avalanche).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

4.1.1.4.3 Fluxo de Terra (*Earthflow*)

Os fluxos da terra (Figura 30) têm a forma característica de uma ampulheta (USGS, 2004) e podem ocorrer encostas com inclinações suave e moderada, geralmente em solo de granulação fina (argila ou silte), ou em camadas de rochas argilosas. O material movimentado move-se como um fluido plástico e viscoso, com intensa deformação interna. Outros movimentos de massa (escorregamentos e espalhamentos laterais) podem evoluir para fluxos de terra (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

Dentre os efeitos dos fluxos de terra, destaca-se a devastação de grandes áreas, podendo percorrer grandes distâncias, além da possibilidade de perdas de vidas, destruição de edifícios, construções e infraestruturas lineares, represamento de rios e inundações nas cabeceiras (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).



Figura 30: Fluxo de Terra (Earthflow).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

4.1.1.5 Espalhamento Lateral (*Lateral Spread*)

Os espalhamentos laterais (Figura 31) ocorrem em taludes de baixa inclinação ou em terrenos planos, “especialmente onde exista uma camada superior de rocha ou solo que ao aumentar sua extensão mova-se para cima de uma camada menos rígida e mais fraca” (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008, p.19). Geralmente as rupturas são acompanhadas pelo afundamento em direção a camada inferior. Quando os espalhamentos ocorrem em solos rochosos, a parte sólida acaba se estendendo e se rompendo. Em determinadas condições, a camada menos rígida pode ser comprimida para cima e para o interior da fissura que separa os blocos rochosos. Quando são espalhamentos de terra, a camada superior e que apresenta condição estável se estende ao longo da camada inferior e mais fraca (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

A falha do espalhamento lateral começa repentinamente em pequenas áreas e se espalha rapidamente (USGS, 2004). Dependendo da extensão da saturação aquosa das camadas do solo, a velocidade do espalhamento pode variar. Com relação aos efeitos, esse tipo de movimento de massa pode causar grandes danos às propriedades (edifícios, estradas, ferrovias e redes de abastecimento), além de possibilitar o desencadeamento de escoamentos de terra (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008).

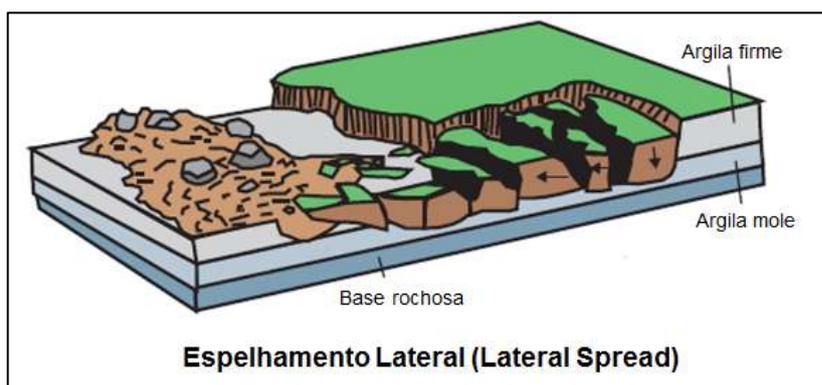


Figura 31: Espalhamento Lateral (Lateral Spread).

Fonte: Modificado de '*Landslide Types and Processes*, USGS (2004)'.

4.1.2 Fatores Condicionantes

Os fatores condicionantes dos movimentos de massa podem ser naturais (características dos solos e rochas, relevo, vegetação, clima, nível do lençol

freático e gravidade) ou induzidos (interferências antrópicas no ambiente) (OLIVEIRA, 2010). De acordo com Tominaga (2007), existem os agentes predisponentes e os agentes efetivos. Os agentes predisponentes correspondem às condições geológicas, geométricas e ambientais da área, ou seja, às características intrínsecas dos materiais. Já os agentes efetivos são aqueles responsáveis diretamente pelo desencadeamento dos movimentos de massa, como a pluviosidade, desmatamento, vento, dentre outros (TOMINAGA et al., 2007).

De acordo com Varnes (1978), os movimentos de massa ocorrem sob influência geológica, topográfica e climática, sendo rara a ocorrência de um evento com apenas um desses condicionantes. Fernandes et al. (2001) destacam ainda a atuação dos condicionantes geomorfológicos, pedológicos e antrópicos, elencando que os movimentos de massa ocorreram devido a interação de diversos fatores.

As condições para o desenvolvimento dos movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente, do regime de chuvas, da perda de vegetação, da atividade antrópica, da existência de espessos mantos intempéricos e da presença de faixas impermeáveis (BIGARELLA; PASSOS, 2003).

Os condicionantes geológicos englobam as características lito-estruturais e tectônicas, a composição física e química dos tipos de rochas e as propriedades mecânicas (FERNANDES, et al., 2001; PINTO et al., 2013). Os padrões de diáclases e fraturas e a presença de planos de descontinuidade influenciam no intemperismo, e conseqüentemente na movimentação de material nas encostas (BIGARELLA; PASSOS, 2003). Com relação às falhas e fraturas, cabe salientar que estas atuam como caminhos preferenciais de alteração do material de origem (FERNANDES; AMARAL, 1998). Quando os movimentos de massa ocorrem em áreas com regolito mais espesso, há significativa mobilização de material alterado, já em áreas com regolito pouco espesso, o material mobilizado constitui-se principalmente de blocos de rochas (BIGARELLA; PASSOS, 2003).

Os condicionantes geomorfológicos levam em consideração as relações entre a forma e a hidrologia das encostas, englobando parâmetros relacionados a declividade, forma da encosta, área de contribuição, orientação

das vertentes, espessura do solo, comprimento da encosta, assimetria/simetria dos vales e elevação (FERNANDES, et al., 2001). Nesse sentido, verifica-se que os movimentos de massa são influenciados principalmente, pela morfologia da vertente, sendo a altura da vertente e inclinação, fatores importantes a serem considerados (BIGARELLA; PASSOS, 2003).

Com relação aos condicionantes climáticos, a pluviosidade é um dos fatores de maior destaque, uma vez que os índices pluviométricos podem provocar a saturação do solo ou rocha, reduzindo a resistência à desagregação e influenciando na perda de estabilidade das encostas. Desta forma, altas pluviosidades associadas a vertentes íngremes, representam um dos principais fatores desencadeantes de movimentos de massa (PINTO et al., 2013).

Os condicionantes pedológicos estão frequentemente associados aos demais condicionantes. Entretanto, enquanto fator individual tem influência e sofre ação dos fatores erosivos devido às diferenças de textura, estrutura, permeabilidade e densidade. As propriedades dos solos superficiais e subsuperficiais, bem como a composição litológica subjacente interferem no desencadeamento de movimentos de massa, enquanto fator desencadeante e enquanto o próprio material envolvido (PINTO et al., 2013). Outro destaque se dá ao saprolito¹⁶, que pode conter descontinuidades e “feições estruturais relíquias do embasamento rochoso” (FERNANDES; AMARAL, 1998, p.156), e em função da condutividade e das descontinuidades hidráulicas, “atua como um dreno para os horizontes mais superficiais” (FERNANDES; AMARAL, 1998, p.156).

Alguns autores destacam também a vegetação como fator condicionante, na medida em que a presença da cobertura vegetal mantém o equilíbrio das vertentes (PINTO et al., 2013), controlando a escoamento superficial e a infiltração da água (BIGARELLA; PASSOS, 2003).

Levando-se em consideração a ação antrópica enquanto fator condicionante ao desencadeamento de movimentos de massa, os processos de uso e ocupação da terra influenciam na dinâmica natural das encostas, por meio de desmatamentos, cortes nos terrenos, aterros para construção,

¹⁶ “Termo utilizado para caracterizar a rocha completa, ou parcialmente intemperizada, *in situ*. Os saprolitos devem-se ao intemperismo químico, em áreas úmidas tropicais, ou subtropicais, e apresentam, geralmente, coloração marrom ou avermelhada.” (GUERRA e GUERRA, 2015, p.561).

retilização de canais fluviais, dentre inúmeras outras atividades antrópicas (PINTO et al., 2013).

Tendo em vista “que a ocorrência dos movimentos de massa nas encostas está relacionada ao comportamento de uma série de fatores condicionantes” (PINTO et al., 2015, p.118), o mapeamento de suscetibilidade é indispensável para a gestão de riscos naturais, bem como para o planejamento do uso da terra. Nesse contexto, o mapeamento preditivo de áreas de suscetibilidade pode contribuir e servir como instrumento de apoio no estabelecimento de medidas preventivas e/ou mitigadoras aos impactos decorrentes dos movimentos de massa (PINTO et al., 2015).

4.1.3 Estado da Atividade

Os movimentos de massa podem ser classificados quanto ao seu estado de atividade. Existem diversas classificações, entretanto, esse trabalho leva em consideração a classificação do WP/WLI (1993), que separa o estado de atividade dos movimentos de massa em 4 categorias: ativo, suspenso, reativado e inativo.

Um movimento de massa é ativo quando atualmente encontra-se em movimento. Classifica-se como suspenso quando esteve em atividade durante os últimos 12 meses, porém não se encontra ativo atualmente. Reativado é quando um movimento de massa inativo passou a ser ativo. E por fim, inativo é quando não mudou nos últimos 12 meses, podendo ser subdividido em adormecido (movimento de massa que pode ser reativado em função das causas originais), abandonado (quando não está sendo afetado por suas causas originais), estabilizado (foi protegido contra as suas causas originais por medidas corretivas) e relíquia (quando se desenvolveu sob condições climáticas ou geomorfológicas consideravelmente diferentes das atuais) (WP/WLI, 1993).

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Inventário de Movimentos de Massa

Uma das primeiras etapas para a identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa diz respeito à elaboração de um inventário das ocorrências. Para Bauzys (2012), o mapa de inventário

é a base necessária para a produção de mapas adicionais, como mapas de susceptibilidade e de risco de escorregamento, pois as condições de terreno em que os escorregamentos antigos e recentes ocorrem, geralmente são as mesmas que poderão deflagrar eventos no futuro (BAUZYS, 2012).

Os dados utilizados para a preparação do inventário podem ser compostos por informações históricas sobre deslizamentos ou por interpretação de fotografias aéreas e posterior checagem de campo (BAUZYS, 2012). Nesse sentido, Fell et al. (2008), elencam duas premissas referentes aos deslizamentos: 1) O passado é guia para o futuro, uma vez que nas áreas onde já ocorreram deslizamentos é possível o desencadeamento de novos processos; 2) Áreas com topografia, geologia e geomorfologia similar com áreas onde que já tiveram deslizamentos podem ser afetadas.

De acordo com Highland e Brobowsky (2008), é fundamental identificar a suscetibilidade das áreas à falhas e à deslizamentos, e posteriormente criar um zoneamento adequado para estas áreas. Dessa forma, a elaboração do zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa é essencial para maior segurança da população e para a redução das perdas materiais, sociais e ambientais.

Um zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa envolve a elaboração do inventário de ocorrências (com informações relacionadas data de ocorrência, classificação, estado da atividade, características da área no entorno, volume, distância percorrida), a avaliação das áreas com potencial de desencadeamento de movimentos de massa (com destaque para a propensão das encostas) e informações sobre os fatores condicionantes.

4.2.1.1 Inventário dos Movimentos de Massa em Arroio do Padre

Para coletar informações sobre os movimentos de massa ocorridos em Arroio do Padre, percorreu-se o município, em especial as áreas de declividade

acentuada, a fim de registrar a ocorrência de movimentos de massa. Após essa identificação, foi possível caracterizar individualmente os movimentos de massa.

A fim de detalhamento, o inventário deve conter informações referentes a localização, classificação, volume, distância percorrida, estado da atividade e data de ocorrência de cada movimento de massa (FELL et al., 2008). Em estudo realizado anteriormente, foram identificadas 2 ocorrências de movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta (MEURER; FLACH, 2015).

O trabalho de campo, realizado em 09/10/2016, teve como objetivos: localizar as cicatrizes de movimentos de massa já mapeados; procurar áreas onde poderiam ter ocorrido outros processos; obter informações para a caracterização e o inventário (tipo e características do solo, declividade, orientação da vertente, cobertura e uso da terra, presença ou não de surgência de água à superfície); e obter registros fotográficos. Durante esse trabalho de campo, foram identificadas outras duas áreas de movimentos de massa, além de áreas suscetíveis a ocorrências desses eventos.

4.2.2 Mapa dos Movimentos de Massa

Após a realização do campo e do inventário dos movimentos de massa ocorridos em Arroio do Padre, as ocorrências foram mapeadas sobre a base cartográfica do município, no *software ArcGIS 9.3*.

4.3 Resultados e Discussões

4.3.1 Inventário e Caracterização dos Movimentos de Massa

Conforme destacado anteriormente, ocorrem duas cristas alongadas no município de Arroio do Padre. A crista de menor continuidade lateral situa-se na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta e apresenta vertentes bastante íngremes, ou seja, com declividades acentuadas. Com base nas informações obtidas a campo e em trabalhos realizados anteriormente, foi possível identificar a ocorrência de 4 movimentos de massa, situados ao longo dessa crista alongada menor. Cada um desses processos está descrito na sequência.

4.3.1.1 Movimento de Massa 1 (MM1)

Localizado na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta (UTM 365.351m, 6.524.228m), esse movimento de massa (Figura 32) ocorreu em 15 de novembro de 2010, em setor de declividade acentuada ao longo da crista alongada menor, em vertente orientada a Sul. Foi calculada a declividade média da cicatriz do movimento de massa, obtendo-se 39,07% de declividade.



Figura 32: Cicatriz de movimento de massa do tipo fluxo de detritos inativo adormecido em Arroio do Padre/RS.
Fonte: autor (2016).

Apesar de ser considerado como um movimento de massa inativo (do tipo adormecido), a cicatriz ainda apresenta o plano de ruptura bem marcado na superfície, que se destaca ainda mais devido a presença pouco significativa de vegetação. Entretanto, nas adjacências da cicatriz, ocorre vegetação campestre.

Esse movimento de massa foi classificado como fluxo de detritos, associado a ocorrência de rolamento de blocos, em função da mobilização de material composto por areia, grânulos, blocos e matacões. Estima-se que o material mobilizado tenha sido aproximadamente 30m³. Encontram-se dois matacões sobre a cicatriz, sendo um deles com dimensões maiores (1,69m de comprimento e 0,97m de altura) e um com dimensões bem menores (0,34m de

comprimento e 0,27m de altura). Estes matacões encontram-se temporariamente estabilizados, porém em decorrência de eventos extremos futuros, estes matacões podem vir a se desprender e rolar pela vertente em direção a estrada.

O perfil do solo (Figura 33) apresenta contato lítico dentro de 50cm da superfície, revelando a presença pouco significativa de matéria orgânica, presença de grânulos e resquícios de rocha intemperizada, além de pouca coesão.



Figura 33: Perfil do solo junto à superfície de ruptura do movimento de massa.
Fonte: autor (2016).

Verificam-se processos erosivos (Figura 34) junto à superfície de ruptura do movimento de massa. Nesse setor, a altura da superfície de ruptura varia entre 45 – 70cm. A concentração do escoamento se faz visível por meio da formação de canais preferenciais, sendo que alguns desses sulcos apresentam mais de 20cm de profundidade.



Figura 34: Erosão hídrica junto à superfície de ruptura em cicatriz de movimento de massa.

Fonte: autor (2016).

4.3.1.2 Movimento de Massa 2 (MM2)

Também localizado na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta (UTM 365.545m, 6.524.205m), esse movimento de massa (Figura 35) foi desencadeado em 15 de novembro de 2010 e encontra-se ativo atualmente. Assim como o anterior, situa-se em vertente orientada ao Sul, e em área com declividade acentuada na crista alongada menor.

Esse movimento de massa foi classificado como queda de blocos, devido à vertente escarpada de aproximadamente 3m de altura, fornecedora do material mobilizado. Essa vertente escarpada é composta por rocha intemperizada e com fraturas e descontinuidades em diferentes orientações (possivelmente a charneira¹⁷ de uma dobra), além de ser concentradora do fluxo. Fundamental para o desencadeamento dos movimentos de massa, a estrutura da rocha diversas vezes está orientada no sentido do declive, atuando como um fator agravante.

¹⁷ Linha de articulação estrutural entre regiões de subsidência ou soerguimento diferenciados, que se configura sob forma de flexura ou de falhamento (Glossário de termos geológicos – MINEROPAR, 2016).

Parte do material removido da vertente escarpada por processos erosivos e queda de blocos resultou na formação de depósito de tálus¹⁸ (Figura 36), composto predominantemente por grânulos, seixos e blocos, em uma área com aproximadamente 5m de comprimento. Esse material encontra-se acumulado na base da vertente escarpada, sob a forma de uma superfície inclinada. Sobre essa área, cresce vegetação campestre.



Figura 35: Movimento de massa do tipo queda de blocos, ativo (a área mais clara na vertente escarpada indica a queda recente de material), em vertente escarpada em Arroio do Padre/RS.
Fonte: autor (2016).

¹⁸ Depósitos detríticos, compostos por blocos de rocha de tamanhos variados, formados pela ação da água e da gravidade.



Figura 36: Formação de depósito de tálus.
Fonte: autor (2016).

4.3.1.3 Movimento de Massa 3 (MM3)

Esse movimento de massa (Figura 37) também ocorreu em 15 de novembro de 2010, tendo sido identificado em trabalho anterior. O MM3 foi desencadeado na parte superior de uma área de extração de material de empréstimo, próximo a habitações. Devido a instabilidade da encosta, o local foi considerado como área de risco e as famílias foram removidas.

Atualmente, a área encontra-se completamente descaracterizada e coberta por vegetação campestre (UTM 365.447, 6.524.177). Tendo em vista as condições encontradas no trabalho de campo, esse movimento de massa foi classificado como inativo, do tipo adormecido. O perfil do solo (Figura 38) indica a presença significativa de material intemperizado e pouco coeso. Outro aspecto a ser considerado é a presença de áreas descobertas, com solo exposto e rocha nua.

Com base em estudos anteriores, verifica-se nessa área, que os cortes realizados na encosta potencializaram a instabilização da vertente, desencadeando o fluxo de detritos.



Figura 37: Cicatriz de movimento de massa do tipo fluxo de detritos inativo adormecido em Arroio do Padre/RS.
Fonte: EMATER/AP (2010).



Figura 38: Perfil de solo indicando a presença de material intemperizado e pouco coeso em área de ocorrência de movimento de massa.
Fonte: autor (2016).

4.3.1.4 Movimento de Massa 4 (MM4)

Assim como os demais, esse movimento de massa (Figura 39) também ocorreu em 15 de novembro de 2010, na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta. Esse movimento de massa ocorreu nos fundos de uma residência, em uma área de vertente escarpada. A concentração do fluxo permite a surgência de água à superfície, na base da vertente, dando origem ao poço (cacimba) destinado ao abastecimento da família. Esse poço foi entulhado com material proveniente do movimento de massa, tendo que ser reconstituído.

A disponibilidade de água muito próxima à superfície proporciona o escoamento superficial constante. Destaca-se que essa presença do lençol freático muito próxima à superfície atua como um fator agravante aos processos erosivos, uma vez que ocorre a rápida saturação do solo em eventos pluviométricos intensos. A água também assume o efeito de lubrificante, pois o excesso de água afeta a estabilidade do solo, e de acordo com Bigarella e Passos (2003), favorece o relaxamento dos esforços internos através da lubrificação dos planos de cisalhamento, desencadeando os movimentos de massa.

A área onde esse processo foi desencadeado apresenta a estrutura da rocha orientada no sentido do declive. Com relação a vegetação, sobre a vertente escarpada ocorre campo sujo, com plantas de pequeno porte. Após o desencadeamento do fluxo de detritos, foram realizadas intervenções na vertente escarpada, o que permite classificá-lo, quanto ao seu estado de atividade, como inativo estabilizado.



Figura 39: Área de desencadeamento de movimento de massa (fluxo de detritos inativo estabilizado), no entorno de cacimba (em destaque).
Fonte: autor (2016).

4.3.2 Identificação de áreas com potencial para desencadeamento de Movimentos de Massa

Além das áreas onde ocorreram movimentos de massa, durante o campo foram identificadas outras áreas com potencial para o desencadeamento de movimentos de massa ao longo da crista alongada menor na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta.

Foram realizados outros 4 perfis (Figura 40 e Figura 41) que permitiram verificar que ao longo da crista alongada menor, os solos tendem a ser mais rasos e compostos por material intemperizado, com predomínio de grânulos pouco coesos. A vegetação mais exuberante dessas áreas corresponde a cobertura campestre, sendo frequentes também as áreas descobertas.

Tendo em vista que essas áreas encontram-se orientadas ao Sul, a presença da umidade é um fator importante para o intemperismo químico, que tende a ser mais acentuado. Entretanto, a presença de declividades acentuadas favorece os processos erosivos e a remoção da camada superficial do solo. A presença de blocos e matacões arredondados também é frequente e muitos deles encontram-se instáveis em função das condições do relevo.

Existe também uma área de extração de saibro bastante suscetível a ocorrência de movimentos de massa. Essa área, atualmente abandonada, é formada por material intemperizado e instável. O escoamento, inicialmente difuso, concentra-se em pequenos canais organizados, resultando processos erosivos intensos nas vertentes instáveis, festonando as bordas dos patamares. Tendo em vista essas características, e o fato de estar descoberta, essa área é provavelmente uma importante fonte de sedimentos para a rede de drenagem.

Nessa área podem ser identificados 3 patamares (Figura 42). O patamar inferior apresenta uma rampa de sedimentos (provenientes dos patamares superiores), sulcos erosivos e diversos locais com surgência de água. O patamar encontra-se predominantemente descoberto, com alguns setores cobertos por vegetação campestre. O patamar intermediário é semelhante ao inferior (presença de sulcos erosivos e surgência de água), porém quando comparado um com o outro, este apresenta vegetação mais densa e solo mais estável (material intemperizado úmido, porém mais coeso). Por fim, o patamar superior apresenta cobertura campestre entremeada por silvicultura nas bordas e no interior apresenta mata secundária/alterada, com presença mais significativa de matéria orgânica no solo. Ocorre a formação de curso d'água intermitente, em área com declividade acentuada, com leito intercalado por plantas e restos vegetais (condiciona o escoamento a menor velocidade de fluxo), além da presença de matacões.



Figura 40: Perfis do solo realizados ao longo da crista alongada menor em Arroio do Padre/RS.

Fonte: autor (2016).

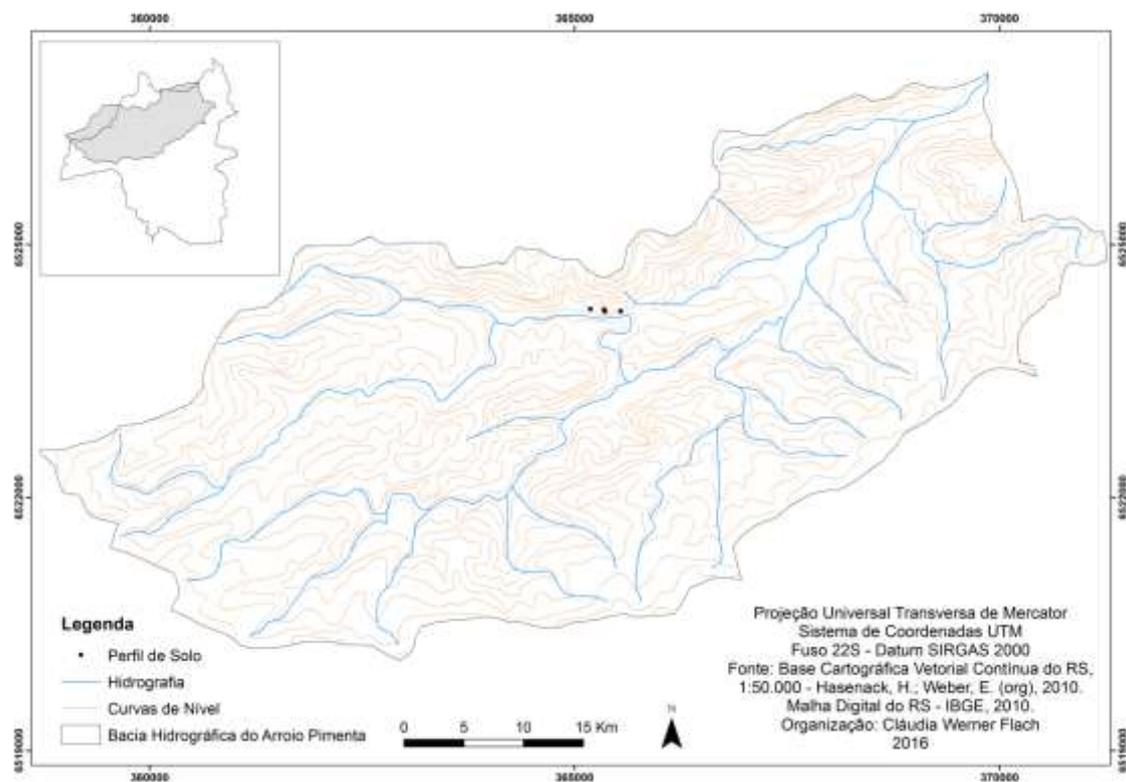


Figura 41: Mapa de localização dos perfis de solo realizados na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, em Arroio do Padre/RS.

Fonte: autor, 2016.



Figura 42: Antiga área de extração de saibro. A) Patamar Inferior. B) Patamar Intermediário. C) Patamar Superior.

Fonte: autor (2016).

4.3.3 Mapa dos Movimentos de Massa

Com base nas quatro ocorrências de movimentos de massa identificadas para o município de Arroio do Padre, foi elaborado o Mapa de Movimentos de Massa (Figura 43, Apêndice 2).

Tabela 7: Síntese das ocorrências de movimentos de massa em Arroio do Padre/RS.

	Classificação	Estado da Atividade
MM1	Fluxo de Detritos	Inativo Adormecido
MM2	Queda de Blocos	Ativo
MM3	Fluxo de Detritos	Inativo Adormecido
MM4	Fluxo de Detritos	Inativo Estabilizado

Do ponto de vista geológico, os movimentos de massa estão situados sobre a unidade lito-estratigráfica N_γ2a, caracterizada pela presença de granitos róseos a cinza róseos, homogêneos, de granulação média, com isótopos levemente orientados, mormente nas bordas (CPRM, 2000).

Os movimentos de massa registrados para Arroio do Padre ocorrem em área classificada como associação de Neossolo Litólico e Argissolo Bruno Acinzentado com presença de afloramentos rochosos (CUNHA, 1996). Em

campo, pode-se verificar essa presença de afloramentos rochosos, além da presença de matacões. Entretanto, a característica mais marcante dos perfis de solos realizados refere-se ao predomínio de material intemperizado e pouco coeso, ou seja, composto por fragmentos rochosos.

Esses movimentos de massa ocorrem na unidade geomorfológica do Planalto Rebaixado Marginal, em vertentes orientadas a Sul, com declividade > 30%. As vertentes orientadas a Sul são as que recebem menor insolação na área de estudo, e devido a umidade mais pronunciada nessas áreas, o intemperismo químico é mais efetivo, o que pôde ser verificado em campo.

De acordo com Coelho-Netto et al. (2007) e Lima et al. (2014), áreas com declividade até 10° são propícias à deposição de materiais; áreas com declividade entre 10° e 35° podem ser consideradas como intermediárias quanto à instabilidade; e por fim, áreas com declividade superior à 35° são consideradas críticas para o desencadeamento de movimentos de massa.

Tendo em vista as diferentes classes de declividade utilizadas nos trabalhos de Coelho-Netto et al. (2007) e Lima et al. (2014), e o presente trabalho, verifica-se que a área de estudo onde ocorreram os movimentos de massa pode ser considerada como intermediária à crítica quanto a instabilidade.

Com relação a forma do terreno, dois movimentos de massa ocorrem em vertente divergente convexa (MM3 – Fluxo de Detritos, inativo adormecido; e MM4 – Fluxo de Detritos, inativo estabilizado), caracterizadas pela dispersão do escoamento superficial e baixa capacidade de transporte e remoção de partículas. Um movimento de massa em vertente planar côncava (MM1 – Fluxo de Detritos, inativo adormecido) e um em vertente divergente côncava (MM2 – Queda de Blocos, ativo). As vertentes côncavas tendem a concentrar o escoamento superficial, potencializando a remoção e o deslocamento de partículas.

Quanto à cobertura e uso da terra, a área de ocorrência dos movimentos de massa foi mapeada como cobertura campestre, o que pôde ser comprovado em campo. Coelho-Netto et al. (2007) verificaram que as áreas com vegetação composta por gramíneas, arbustos ou floresta degradada são mais propensas a ocorrência de movimentos de massa.

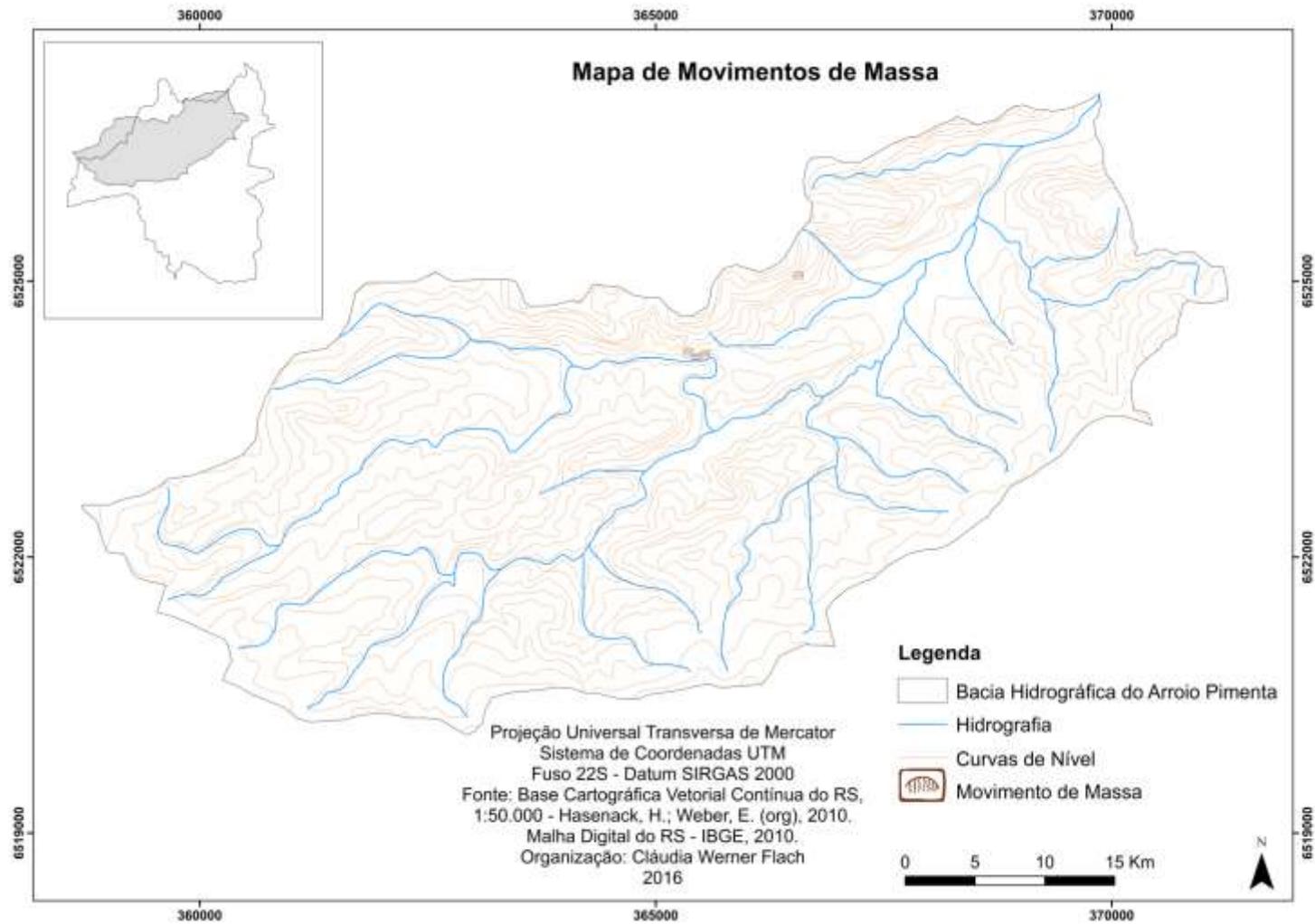


Figura 43: Mapa das ocorrências dos Movimentos de Massa, com destaque para a Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, Arroio do Padre/RS. Fonte: autor (2016).

Levando-se em consideração a distância dos movimentos de massa com relação as residências, o MM2 e o MM3 encontram-se em área de risco, e à época do desencadeamento, as famílias foram removidas do local e realocadas. Atualmente a área encontra-se abandonada. O MM4 encontra-se bastante próximo às infraestruturas da propriedade. Esse movimento de massa atualmente encontra-se estabilizado, porém à uma distância de aproximadamente 3 metros de um dos galpões da propriedade. E por fim, o MM1 encontra-se afastado de qualquer residência próxima. Dessa forma, podemos destacar que apenas um movimento de massa (MM4) pode vir a causar danos futuros e diretos à propriedade, pois os demais se encontram em área não habitada.

Levando-se em consideração a distância do local de ocorrência dos movimentos de massa com os cursos d'água, verifica-se que três deles (MM1, MM2 e MM3) encontram-se bastante próximos aos cursos d'água, ou seja, a menos de 100 metros entre o local de ocorrência e o curso d'água. Entretanto, cabe ressaltar que em dois desses locais (MM2 e MM3) ocorre a surgência de água. Já o MM4 está a aproximadamente 430m do curso d'água, porém registra-se a existência de uma cacimba que fornece água permanentemente aos proprietários da área. Essa proximidade indica que nessas áreas ocorre a elevação do nível do lençol freático.

4.4 Conclusões do Capítulo

Até o presente momento, foram registrados apenas 4 movimentos de massa em Arroio do Padre, sendo este pequeno número de registros resultante da inexistência de monitoramento e de inventário anterior à 2015. Entretanto, a elaboração do inventário de movimentos de massa e o mapeamento dos mesmos são importantes passos para o monitoramento das ocorrências no município, bem como para a elaboração de trabalhos futuros.

Com base no inventário de movimentos de massa ocorridos em Arroio do Padre/RS, é possível identificar que a área ao longo da crista alongada menor apresenta características favoráveis ao desencadeamento de movimentos de massa. Tendo em vista a vertente orientada a Sul, o intemperismo químico é bastante efetivo, uma vez que essas áreas são mais úmidas que as demais.

Assim, o solo é constituído predominantemente por material intemperizado e pouco coeso.

O solo pouco coeso, frequentemente úmido, associado a declividade acentuada (>30%) e a precipitações intensas e prolongadas atuam como condições ideais para o desencadeamento de movimentos de massa na área de estudo. Outro aspecto a ser considerado é a pouca profundidade do solo e do manto de alteração.

Com base no mapa das ocorrências dos movimentos de massa (Figura 43), identifica-se a presença de controle estrutural responsável por mudanças bruscas no comportamento do curso d'água, que também pode ser responsável pelo desencadeamento de movimentos de massa.

5. ZONEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA EM ARROIO DO PADRE

5.1 Introdução

Os mapas geotécnicos, cada vez mais utilizados no âmbito dos desastres naturais, vêm sendo elaborados por profissionais de diversas áreas. Segundo Bressani e Costa (2013), os diferentes profissionais que trabalham com probabilidade de ocorrência de movimentos de massa acabam adotando conceitos variados, muitos dos quais utilizados como sinônimos. Tendo em vista essas informações, julgou-se pertinente realizar a revisão teórica conceitual de alguns desses termos, elencando assim as diferenças conceituais entre cada um, evitando seu uso inadequado no contexto desse trabalho.

5.1.1 Os conceitos de ameaça, risco, vulnerabilidade, fragilidade e suscetibilidade.

5.1.1.1 Ameaça

Ameaça pode ser considerada como a estimativa da ocorrência e magnitude de um evento adverso podendo ser expressa em termos de probabilidade estatística de concretização do evento e da provável magnitude de sua manifestação (CASTRO, 2008).

A ameaça constitui-se como um fenômeno natural, com possibilidade de ocorrência e que pode causar consequências negativas (perdas e danos) em relação aos elementos expostos (BITAR, 2014; BRESSANI; COSTA, 2013). Em caso de ocorrência, a ameaça é um evento em potencial, capaz de causar prejuízos ao ser humano (BRESSANI; COSTA, 2013).

5.1.1.2 Risco

De acordo com Bressani e Costa (2013) o risco representa a combinação de uma avaliação da probabilidade de ocorrência de um processo e o potencial de dano ou prejuízo causado aos elementos expostos, ou seja, envolve a

probabilidade da ocorrência de um evento associada às consequências de sua ocorrência. Corresponde a uma medida da ameaça (por um processo ou fenômeno) e das consequências (sociais e econômicas) num dado intervalo de tempo, sobre um elemento, grupo ou comunidade (BITAR, 2014; CASTRO, 2008; IPT, 2007). Essas consequências podem ser diretas ou indiretas (JULIÃO et al., 2009).

Para o EM DAT (2016), o risco representa as perdas esperadas (de vidas, pessoas feridas, propriedades danificadas e interrupção da atividade econômica) devido a um perigo específico para uma determinada área, tendo como base um período de referência. Baseando-se em cálculos matemáticos, o risco é o produto de perigo e vulnerabilidade.

De acordo com Marcelino (2008), pode-se destacar outro aspecto, pois

“O risco é extremamente cambiante e apresenta uma dinâmica própria, que varia em função dos elementos naturais e sociais envolvidos no processo. Além disso, o risco não pode ser eliminado, mas pode ser gerenciado a tal ponto que se torne aceitável” (MARCELINO, 2008, p.25).

Simplificadamente, o autor considera risco a probabilidade de um perigo transformar-se num desastre. Para a avaliação de risco, os dados utilizados podem ser classificados sob 3 aspectos: dados sobre o perigo (tipo, data, local de ocorrência, frequência, magnitude); dados sobre o ambiente (geologia, geomorfologia, hidrologia, climatologia, uso da terra); e dados sobre a exposição local (infraestrutura urbana, edificações, população, dados socioeconômicos, agropecuários).

De acordo com alguns autores, o risco pode ser classificado como instalado ou como aceitável/tolerável. Considera-se risco instalado quando representa uma possibilidade de ocorrência do processo de instabilização passível de avaliação pelo histórico de ocorrências ou evidências (BRESSANI; COSTA, 2013) e aceitável/tolerável quando é aceito por uma sociedade com base nos padrões de aceitabilidade para outros riscos da atividade humana (BRESSANI; COSTA, 2013), sendo que essa aceitabilidade leva em consideração informações científicas, fatores sociais, econômicos e políticos e os benefícios decorrentes desta condição (CASTRO, 2008).

Fell et al. (2008) destacam que a população, edifícios e obras de engenharia, atividades econômicas, serviços públicos, infraestrutura em geral e

recursos ambientais constituem-se elementos em risco. Nesse sentido, o zoneamento de risco deve avaliar o potencial de danos às pessoas, às propriedades e aos recursos ambientais, além de representar a probabilidade e a vulnerabilidade temporal e espacial. Um dos instrumentos do zoneamento é o mapa de risco, com escala variada e sinalização sobre riscos específicos, estando definidos níveis de probabilidade de ocorrência e de intensidade de danos previstos (CASTRO, 2008). Entretanto, “o risco deve ser calculado para cada processo que possa causar acidentes em uma determinada região” (BRESSANI; COSTA, 2013, p.07).

Bressani e Costa (2013) enfatizam que “o risco é o parâmetro mais completo na análise da segurança de uma região com respeito aos processos de instabilização” (BRESSANI; COSTA, 2013, p.07), pois considera os aspectos envolvidos na ocorrência destes processos e também os seus prejuízos recorrentes.

5.1.1.3 Vulnerabilidade

Para o IPT (2007), a vulnerabilidade representa o grau de perda para um elemento, grupo ou comunidade dentro de uma área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo, e quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. A vulnerabilidade é um parâmetro adimensional, pois expressa percentualmente o quanto da consequência, prejuízo ou dano ocorre em decorrência do processo em uma dada região atingida. Para a sua avaliação, é necessário ter em mente a questão: vulnerável a quê? (BRESSANI; COSTA, 2013).

Vulnerabilidade diz respeito ao grau de perda, resultante de um fenômeno potencialmente prejudicial (EM DAT, 2016), estando associada ao grau de perdas e danos aos elementos expostos (BITAR, 2014), resultante da ocorrência de processo ou ação natural, tecnológico ou misto de determinada severidade (JULIÃO et al., 2009), variando de 0 a 1, sendo que 0 não representa perda e 1 representa perda total (BITAR, 2014; JULIÃO et al., 2009).

Outra definição utilizada destaca a vulnerabilidade como o inverso da segurança, representando a “condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor

que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis” (CASTRO, 2008, p.188).

Bressani e Costa (2013) destacam que é importante ter em mente que a vulnerabilidade é em função primariamente do processo e da região atingida, pois são os moradores, o meio ambiente ou o processo produtivo elementos passíveis de danos, prejuízos ou consequências, exemplificando que uma casa é primariamente vulnerável a inundações se estiver na várzea de um rio, e secundariamente se estiver ao nível do terreno, sem nenhuma forma de segurança.

Nesse sentido, em um mapa de vulnerabilidade são analisadas as populações, os ecossistemas e o mobiliamento do território considerados vulneráveis a um dado risco (CASTRO, 2008).

5.1.1.4 Fragilidade

Para Vitte e Melo (2009) o conceito de fragilidade procura relacionar homem e natureza, estando ligada à suscetibilidade de um ambiente sofrer intervenções ou ser alterado, ou seja, a fragilidade do ambiente está ligada a fatores de desequilíbrio tanto de ordem natural quanto de ordem social. Spörl e Ross (2004) salientam que estudos relativos à fragilidade ambiental são de extrema importância para o planejamento ambiental servindo de base para o zoneamento e gestão territorial, pois identificando os ambientes naturais e as suas fragilidades potenciais e emergentes é possível definir ações adequadas a serem implementadas em determinadas áreas.

5.1.1.5 Suscetibilidade

A suscetibilidade é definida pela propensão a ocorrência de um processo ou fenômeno em uma determinada área (BITAR, 2014), podendo ser expressa segundo classes de probabilidade de ocorrência (IPT, 2007). A suscetibilidade não considera possíveis danos ou frequência, mas representa uma expectativa técnica com relação às áreas, estabelecendo quais são mais sujeitas a eventos adversos, baseando-se em eventos históricos e dados geoambientais

(topografia, geologia, ocupação, forma do terreno), devendo ser determinada para cada evento de forma isolada (BRESSANI; COSTA, 2013).

Para Julião et al. (2009), a suscetibilidade corresponde a incidência espacial do perigo, representada pela propensão de uma determinada área em ser afetada por algum tipo de perigo, em um tempo indeterminado. Pode ser avaliada por meio de fatores de predisposição de ocorrência, porém não contempla o período de retorno nem a probabilidade de ocorrência.

De acordo com Bressani e Costa (2013), a suscetibilidade estima o potencial de ocorrência de um tipo de processo em certa área, sem considerar os possíveis danos associados ou a sua frequência (tempo de retorno). Segundo os autores, este é um parâmetro adimensional que pode ser definido em termos qualitativos (alta, média ou baixa) ou quantitativos (em termos de probabilidade de ocorrência de um processo de instabilização com características definidas).

A representação cartográfica da suscetibilidade ocorre por meio das cartas de suscetibilidade, que representam a incidência espacial dos perigos, com a identificação e classificação das áreas propensas de serem afetadas por um determinado perigo, porém em um tempo indeterminado (JULIÃO et al., 2009). Um mapa ou carta de suscetibilidade deve representar a divisão dos terrenos em áreas ou domínios homogêneos, classificados segundo diferentes graus (alta, média e baixa), os quais representam a maior ou menor propensão na área delimitada (BITAR, 2014).

5.1.2 Zoneamento de Suscetibilidade

Uma vez que o zoneamento de suscetibilidade é um dos estágios iniciais para o desenvolvimento de trabalhos mais complexos, e que a definição de suscetibilidade envolve a estimativa do potencial de ocorrência de um tipo de processo em determinada área sem considerar possíveis danos ou a frequência, para o presente trabalho adotou-se o conceito de suscetibilidade. Dessa forma, a seguir são apresentadas algumas considerações sobre zoneamento de suscetibilidade.

De acordo com o CPRM (2016), cartas municipais de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações indicam as áreas mais suscetíveis a

processos de deslizamento, enchentes e inundações. Essas cartas fornecem dados para a execução de cartas geotécnicas de planejamento do uso e ocupação do solo e dados para futuros mapeamentos de risco. Este material também serve como instrumento ao planejamento da expansão urbana, indicando áreas inaptas e adequadas à urbanização.

As cartas de suscetibilidade indicam os terrenos que,

por suas características naturais e associados à ocupação desordenada em áreas urbanas e periurbanas, podem deflagrar ou serem atingidos pelos desastres naturais já relacionados, em geral potencializando os seus efeitos destrutivos (CPRM, 2016).

Essas cartas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações possibilitam a elaboração do zoneamento das áreas. Entende-se por zoneamento a divisão da terra em áreas ou domínios homogêneos e seu ranqueamento de acordo com os graus atuais e potenciais de ocorrência de determinados processos. O zoneamento constitui-se como um material essencial ao planejamento de uso da terra para áreas urbanas e rurais (FELL et al., 2008).

As zonas indicam as áreas de predominância quanto ao processo analisado, porém não indicam a trajetória e o raio de alcance dos materiais mobilizáveis, nem a interação entre os processos. Tendo em vista a classificação das áreas quanto a suscetibilidade, as classes apontam as áreas mais propensas ao desencadeamento dos processos (CPRM, 2016).

Os zoneamentos podem ser realizados em função do tipo e do nível. Dentre os tipos, podem ser zoneamentos de suscetibilidade, de perigo e de risco. Com relação ao nível podem ser regionais, locais e de áreas específicas. Os zoneamentos de suscetibilidade e perigo são utilizados em estágios preliminares de desenvolvimento dos estudos. Já os zoneamentos de risco são utilizados em estudos mais detalhados (FELL et al., 2008).

Os zoneamentos de suscetibilidade são menos exigentes que os zoneamentos de perigo, que por sua vez são menos exigentes que os zoneamentos de risco. Entretanto, zoneamentos de perigo e risco não podem ser realizados com base em dados inexistentes ou incertos. Nesse caso, recomenda-se a realização de zoneamento de suscetibilidade, que é o primeiro estágio para o desenvolvimento dos demais zoneamentos (FELL et al., 2008).

5.2 Materiais e Métodos

A elaboração do mapa de suscetibilidade à movimentos de massa foi baseada em 6 condicionantes: declividade, pedologia, cobertura e uso da terra, geomorfologia, orientação das vertentes e geologia. Para cada um dos condicionantes, atribui-se um peso, conforme o grau de influência na instabilização das encostas em Arroio do Padre.

Após, foram atribuídos os pesos para as variáveis de cada condicionante, levando-se também em consideração o grau de influência na instabilização das encostas no município. Para tanto, adotou-se uma escala numérica de 1 à 10, na qual os pesos correspondem ao grau de suscetibilidade, conforme a tabela 8.

Tabela 8: Graus de suscetibilidade a movimentos de massa.

Peso	Grau de Suscetibilidade
1	Muito baixo
2	
3	Baixo
4	
5	Médio
6	
7	Alto
8	
9	Muito Alto
10	

5.2.1 Declividade

Conforme já destacado, a declividade também é considerada como um fator condicionante para a instabilidade das encostas. Quanto mais acentuada a declividade, maior a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão (prevalece a morfogênese). Assim, valores próximos de 1 (da escala de vulnerabilidade) correspondem a pequenos ângulos de inclinação das encostas (prevalece a pedogênese) e valores próximos de 3 correspondem às áreas de maior declividade (prevalece a morfogênese) (CREPANI et al., 2001). Farias et al. (2010), estabeleceram valores de vulnerabilidade para as classes de declividade, conforme segue: áreas com declividade < 6% apresentam vulnerabilidade igual a 1; entre 6 e 20%, vulnerabilidade igual a 2; e > 20%, vulnerabilidade igual a 3.

Spörl e Ross (2004), baseando-se no modelo de fragilidade potencial natural, determinaram valores de fragilidade (de 1 à 5) para cada classe de declividade: < 6% (1); 6 a 12% (2); 12 a 20% (3); 20 a 30% (4); e > 30% (5).

Para as classes de declividade de Arroio do Padre, foram atribuídos os seguintes pesos (Tabela 9):

Tabela 9: Pesos atribuídos para as classes de declividade (1 à 10).

Classe	Peso
0 – 6%	2
6 – 12%	4
12 – 20%	6
20 – 30%	8
> 30%	10

5.2.2 Pedologia

A erodibilidade, fator K ($t \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$) da Equação Universal de Perda de Solo¹⁹, é o fator que exprime numericamente a suscetibilidade de um determinado solo sofrer erosão. Devido às características e propriedades inerentes de cada solo (principalmente físicas e químicas), a erodibilidade se manifesta de maneira diferente para cada tipo de solo, sendo alguns mais facilmente erodíveis que outros, mesmo quando são mantidos constantes os demais fatores relacionados com a erosão, como a erosividade, as características topográficas, a cobertura do solo e as práticas de manejo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Em estudo de Silva e Alvares (2005), os autores realizaram o levantamento de informações para a estruturação de um banco de dados referente à erodibilidade de classes de solo para o Estado de São Paulo. De acordo com os autores, ocorrem três classes de erodibilidade ($K < 0,015$ = erodibilidade baixa; $K 0,015 - 0,030$ = erodibilidade média; e $K > 0,030$ = erodibilidade alta), sendo que os Argissolos e os Neossolos apresentam erodibilidade alta. De acordo com alguns trabalhos (CREPANI et al., 2001;

¹⁹ Equação Universal de Perda de Solo (EUPS): apresentada por Wischmeier & Smith, em 1978, é expressa em função de seis variáveis, sendo quatro (R, K, L, S) de condições naturais e duas (C, P) de condições antrópicas. Nesse sentido, a EUPS exprime a ação dos principais fatores que tem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica. Equação: $A = R.K.L.S.C.P$.

FARIAS et al., 2010; LOPES, 2015), os Argissolos apresentam vulnerabilidade média (2), enquanto que os Neossolos e os Afloramentos Rochosos apresentam vulnerabilidade alta (3) (vulnerabilidade dos solos de 1 à 3).

Para Ross (1994), os Argissolos Bruno Acinzentados apresentam fragilidade média (3), os Argissolos Vermelho Amarelos, fragilidade alta (4) e os Neossolos Litólicos, fragilidade muito alta (5).

A vulnerabilidade dos Argissolos está relacionada ao perfil pouco profundo, sendo pouco estáveis e intemperizados, ocorrendo em relevos movimentados. Os Argissolos Vermelho Amarelos têm como característica a presença do horizonte B textural, que dificulta a infiltração da água ao longo do perfil. Os Argissolos Bruno Acinzentados apresentam permeabilidade lenta, com forte retenção de água e possível encharcamento em determinadas épocas do ano. Já nos Neossolos, a vulnerabilidade está associada ao perfil pouco evoluído, em locais de declividade acentuada, onde a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo (CREPANI et al., 2001; ROSS, 1994).

Levando em consideração essas características, foram atribuídos os pesos para cada classe pedológica, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: Pesos atribuídos para as classes pedológicas (1 à 10).

Classe Pedológica	Peso
Argissolo Vermelho Amarelo	7
Argissolo Bruno Acinzentado + Neossolo Litólico	8
Argissolo Bruno Acinzentado + Neossolo Litólico + Afloramento Rochoso	9
Neossolo Litólico + Argissolo Bruno Acinzentado + Afloramento Rochoso	10

5.2.3 Cobertura e Uso da Terra

De acordo com Farias et al. (2010), áreas com vegetação densa e mata ciliar apresentam baixa vulnerabilidade (1), as áreas de vegetação esparsa apresentam média vulnerabilidade (2) e as áreas com solo exposto, afloramentos rochosos, áreas agrícolas e pastagens apresentam alta vulnerabilidade (3).

Ross (1994) estabeleceu graus de proteção dos tipos de cobertura vegetal, com valores de 1 (proteção muito alta) à 5 (proteção muito baixa à

nula). Para o autor, áreas de florestas e matas naturais apresentam proteção muito alta (1), formações arbustivas proteção alta (2), pastagens e silvicultura, proteção média (3), culturas temporárias com curvas de nível e terraceamento, proteção baixa (4) e culturas temporárias sem práticas conservacionistas e áreas descobertas apresentam proteção muito baixa (5).

Mendonça et al. (2012), atribuiu pesos de 1 à 10 para as classes de cobertura e uso da terra, onde as áreas de pastagem recebem peso 3, áreas de floresta, peso 2, áreas com influência urbana, peso 3 e áreas de savana, peso 5. Para Lopes (2015), as classes de cobertura e uso da terra apresentam os seguintes pesos quanto a vulnerabilidade (de 1 à 3): floresta 1,3, água 1,5, silvicultura 2,2, pastagem 2,5, campos 2,6, cultura temporária 2,8, solo exposto 3 e área urbanizada 3.

Apesar de alguns autores atribuírem pesos mais elevados para as áreas urbanizadas, em Arroio do Padre a área urbana é pouco expressiva, portanto, recebeu peso menor (1). Os pesos atribuídos às demais subclasses de cobertura e uso da terra podem ser verificados na tabela 11.

Tabela 11: Pesos atribuídos às subclasses de cobertura e uso da terra (1 à 10).

Subclasse	Peso
Área Urbanizada	1
Área Florestal	1
Corpo d'água continental	2
Área Campestre	6
Pastagem	7
Silvicultura	7
Cultura Temporária	9
Área Descoberta	10

5.2.4 Geomorfologia

Segundo Meurer (2013), em Arroio do Padre ocorrem três unidades geomorfológicas. O Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul apresenta média predisposição à erosão, devido a presença de solos pouco espessos que não permitem uma grande infiltração da precipitação, favorecendo o escoamento superficial e os processos erosivos. As áreas de fortes declividades e solos pouco profundos, recobertas por material intemperizado eluvial (Planalto Rebaixado Marginal), são desfavoráveis à infiltração,

apresentando forte predisposição à erosão. Já a Planície Alúvio Coluvionar, por estar situada no fundo de vale do Arroio Pimenta e do Arroio do Padre, apresenta pouca predisposição à erosão, sendo frequentes os processos deposicionais.

Adotando-se as considerações de Meurer (2013) e as observações a campo, foram atribuídos os seguintes pesos (Tabela 11):

Tabela 12: Pesos atribuídos para as unidades geomorfológicas (1 à 10).

Unidade Geomorfológica	Peso
Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul	6
Planalto Rebaixado Marginal	9
Planície Alúvio Coluvionar	3

5.2.5 Orientação das Vertentes

Assim como a declividade, a orientação das vertentes atua como um dos fatores condicionantes aos processos erosivos nas encostas, uma vez que tem influência na exposição ao vento, nas precipitações atmosféricas e na insolação, afetando indiretamente a resistência ao cisalhamento (relação direta com a umidade e a cobertura vegetal) (VANACÔR, 2006; VANACÔR e ROLIM, 2012). Sendo assim, nas vertentes orientadas ao Sul e ao Oeste, o intemperismo químico tende a ser mais efetivo, uma vez que as áreas são mais úmidas (recebem menor insolação). Já nas vertentes orientadas ao Norte e ao Leste, o intemperismo químico é menos efetivo, devido a maior insolação e menor umidade.

Desta forma, atribuem-se pesos maiores para as áreas que recebem menor incidência de insolação. Os pesos atribuídos para cada classe de orientação das vertentes podem ser observados na tabela 13.

Tabela 13: Pesos atribuídos para as classes de orientação das vertentes (1 à 10).

Classe	Peso
Áreas Planas	-
Leste	3
Norte	4
Oeste	6
Sul	8

5.2.6 Geologia

Para Crepani et al. (2001), no que diz respeito a geologia, toda rocha é um agregado de minerais e sua resistência ao intemperismo depende da composição mineral e da resistência à desagregação entre os minerais. A água atua como um importante agente intemperizador, e quanto mais a água fica em contato com o mineral, mais ele será intemperizado. Assim, quanto mais porosa ou fraturada for a rocha, maior a atuação do agente intemperizador.

Levando-se em consideração esses aspectos, Crepani et al. (2001) estabeleceram uma escala de vulnerabilidade à denudação para as principais rochas. Tendo como base essa escala (com valores de 1 à 3) e as unidades lito-estratigráficas presentes em Arroio do Padre, tem-se que os granitos apresentam vulnerabilidade à denudação de 1,1, os gnaisses 1,3 e os milonitos 1,7. Ou seja, essas rochas são muito coesas, com predomínio dos processos de intemperismo e de formação de solos (pedogênese). Mendonça et al. (2012) atribuíram pesos semelhantes, com peso igual a 1 para granitos e peso igual a 2 para gnaisses (em escala de pesos de 1 à 10).

Com base nas considerações de Crepani et al. (2001) e Mendonça et al. (2012), foram atribuídos os pesos para as unidades lito-estratigráficas do município, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14: Pesos atribuídos para as unidades lito-estratigráficas (1 à 10).

Unidade Lito-estratigráfica	Peso
N_γ2a (granito)	1
N_γ2b (granito)	1
N_γ1a (milonito gnaiss e gnaiss migmático)	2

Na figura 44 consta o fluxograma dos materiais utilizados para a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa. Já os procedimentos operacionais, realizados no *software ArcGIS 9.3*, estão descritos a seguir:

- a) inserção dos planos de informação (condicionantes)²⁰;
- b) atribuição dos pesos para as variáveis²¹ (Figura 45);

²⁰ Procedimentos: *Add Data* → *Conversion Tools* → *To Raster* → *Feature to Raster*.

²¹ Procedimentos: *Spatial Analyst* → *Reclassify*.

c) cruzamento automático das informações²² através de equação, na qual se multiplica cada condicionante pelo peso atribuído, em seguida são somados os valores dos condicionantes gerando o mapa final (Figura 46);

d) edição final do mapa de suscetibilidade à movimentos de massa;

e) zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa;

f) quantificação (absoluta e percentual) das subclasses de coberturas e usos da terra nas áreas prioritárias.

A tabela 15 apresenta a síntese dos pesos atribuídos para cada um dos condicionantes e suas variáveis.

Tabela 15: Síntese dos pesos atribuídos para cada condicionante e variável.

CONDICIONANTE	VARIÁVEL	PESO
Declividade (Peso 0,30)	0 – 6%	2
	6 – 12%	4
	12 – 20%	6
	20 – 30%	8
	> 30%	10
Pedologia (Peso 0,25)	Argissolo Vermelho Amarelo	7
	Argissolo Bruno Acinzentado + Neossolo Litólico	8
	Argissolo Bruno Acinzentado + Neossolo Litólico + Afloramento Rochoso	9
	Neossolo Litólico + Argissolo Bruno Acinzentado + Afloramento Rochoso	10
Cobertura e Uso da Terra (Peso 0,25)	Área Urbanizada	1
	Área Florestal	1
	Corpo d'água continental	2
	Área Campestre	6
	Pastagem	7
	Silvicultura	7
	Cultura Temporária	9
	Área Descoberta	10
Geomorfologia (Peso 0,10)	Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul	6
	Planalto Rebaixado Marginal	9
	Planície Alúvio Coluvionar	3
Orientação das	Áreas Planas	-

²² Procedimentos: *Spatial Analyst* → *Raster Calculator* (abrir parênteses, duplo clique em um condicionante, inserir espaço, inserir o símbolo de multiplicação, inserir o valor do peso, fechar parênteses, inserir espaço e repetir procedimento para todos os condicionantes) → *Evaluate* → *Symbology* → *Classified*.

Vertentes (Peso 0,05)	Leste	3
	Norte	4
	Oeste	6
	Sul	8
<hr/>		
Geologia (Peso 0,05)	Ny2a (granito)	1
	Ny2b (granito)	1
	Ny1a (milonito gnaisse e gnaisse migmático)	2

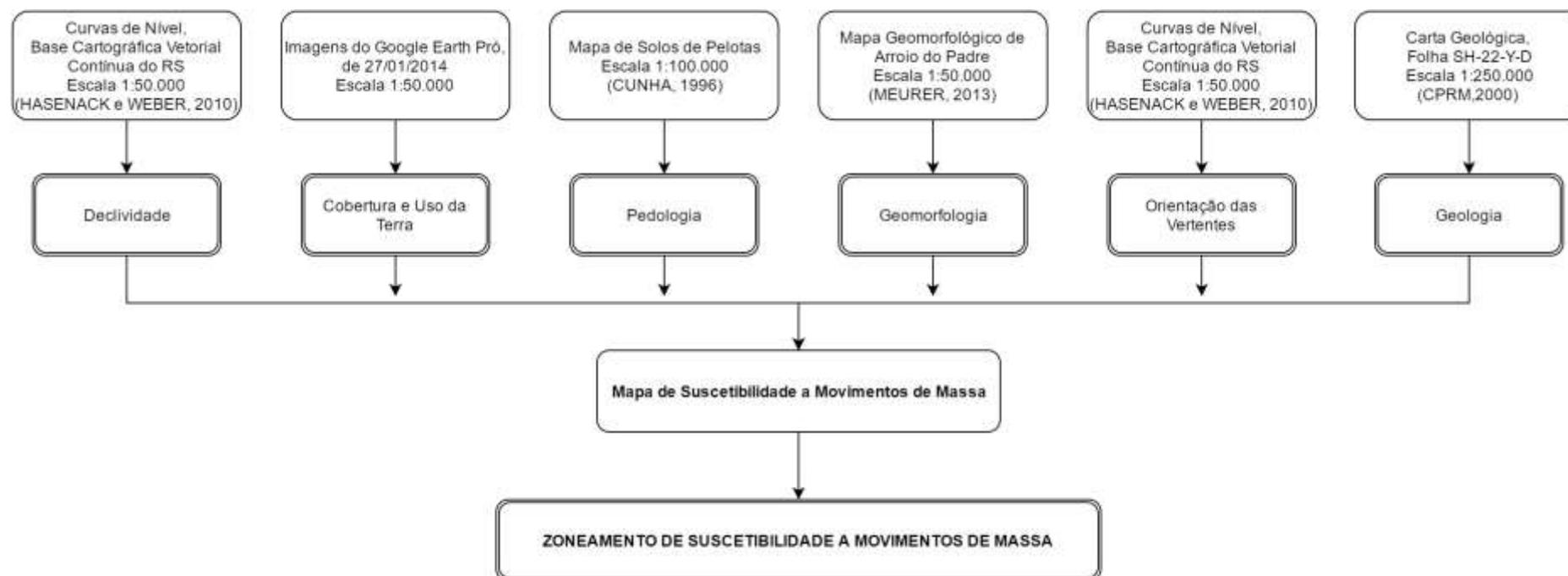


Figura 44: Fluxograma dos materiais utilizados para a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.

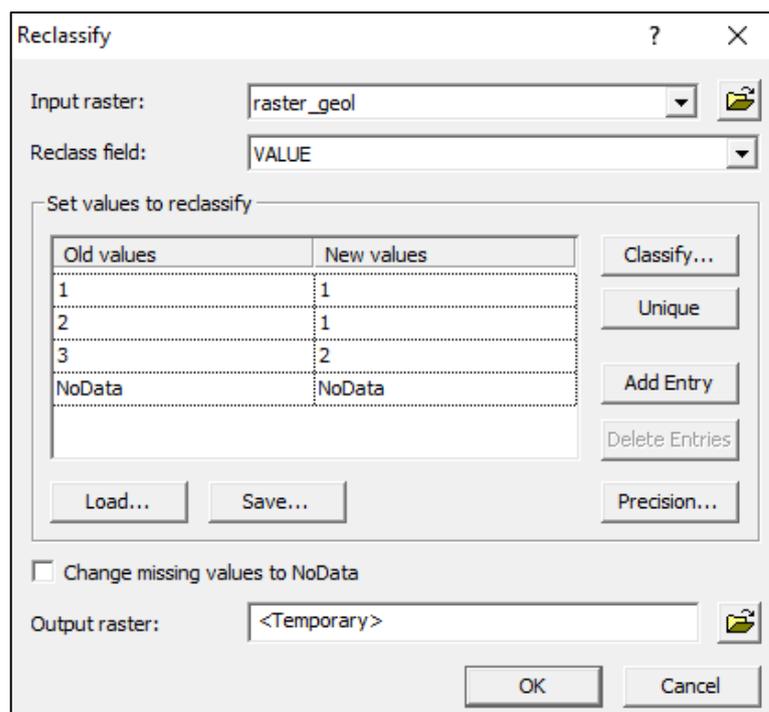


Figura 45: Procedimento realizado para a atribuição dos pesos.

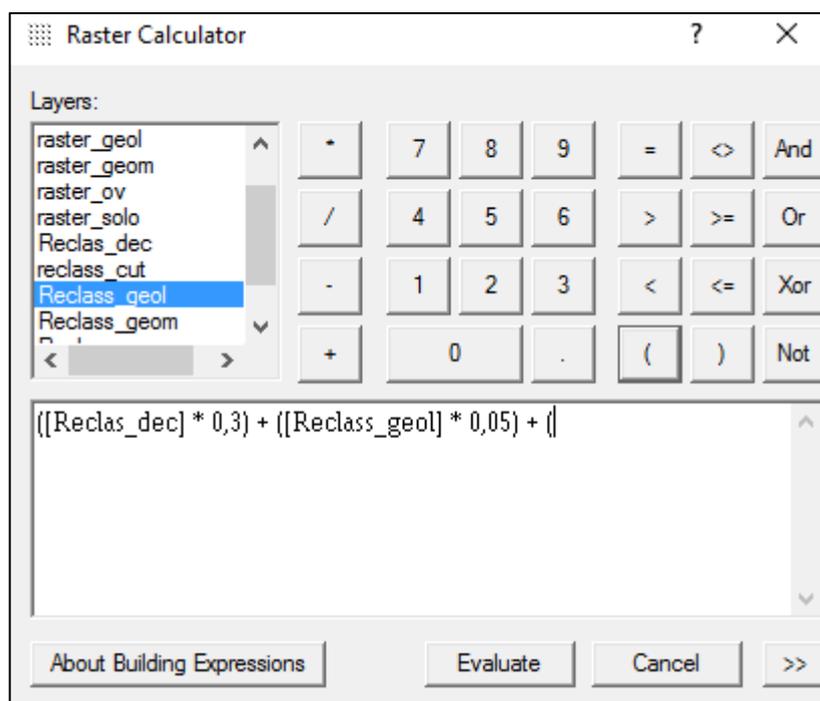


Figura 46: Procedimento realizado para o cruzamento das informações.

5.3 Resultados e Discussões

De acordo com o Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa de Arroio do Padre (Figura 47 e Apêndice 3), verifica-se, de modo geral, a inexistência de áreas com suscetibilidade muito baixa, enquanto que as áreas com suscetibilidade baixa e muito alta são pouco frequentes e pouco expressivas. Por outro lado, as áreas com suscetibilidade média e alta são bastante significativas e bem distribuídas ao longo do município.

No mapa, não foram registrados setores com suscetibilidade muito baixa, o que pode ser explicado principalmente pelos tipos de solos presentes no município, caracterizados pela pouca profundidade do perfil e também pela presença de horizonte B textural, associados a afloramentos rochosos, inclusive em áreas de declividade suave.

Setores com suscetibilidade baixa ocorrem ao longo dos cursos d'água e em áreas planas, com declividade até 6%. Além das condições do terreno, a cobertura florestal contribui para maior estabilidade dessas áreas.

Setores com suscetibilidade média ocorrem com maior expressividade em locais com declividade até 6% e presença de vertentes planas, ou seja, nos fundos de vale do Arroio Pimenta e do Arroio do Padre (unidade geomorfológica da planície alúvio-coluvionar), e na porção sul do município. O fundo de vale do Arroio Pimenta encontra-se na transição entre a unidade lito-estratigráfica $N_{\gamma}2a$ e $N_{\gamma}2b$, ambas com a presença de granito, e na transição entre Argissolo Bruno Acinzentado/Neossolo Litólico e Neossolo Litólico/Argissolo Bruno Acinzentado/Afloramento Rochoso. No que diz respeito às coberturas e usos da terra, ocorrem com maior expressividade às culturas temporárias e as pastagens, além da maior área descoberta do município, ao longo do curso d'água. O fundo de vale do Arroio do Padre ocorre sobre a unidade lito-estratigráfica $N_{\gamma}1a$ (milonito gnaisse e gnaisse migmático), em solos Neossolo Litólico/Argissolo Bruno Acinzentado com presença de Afloramento Rochoso. Nessas áreas há destaque para as culturas temporárias e pastagens. Na porção sul do município, ocorre o a unidade geomorfológica do planalto rebaixado marginal, a unidade lito-estratigráfica $N_{\gamma}1a$ e solo do tipo Argissolo Vermelho Amarelo. Este setor é utilizado para as culturas temporárias, pastagens e silvicultura.

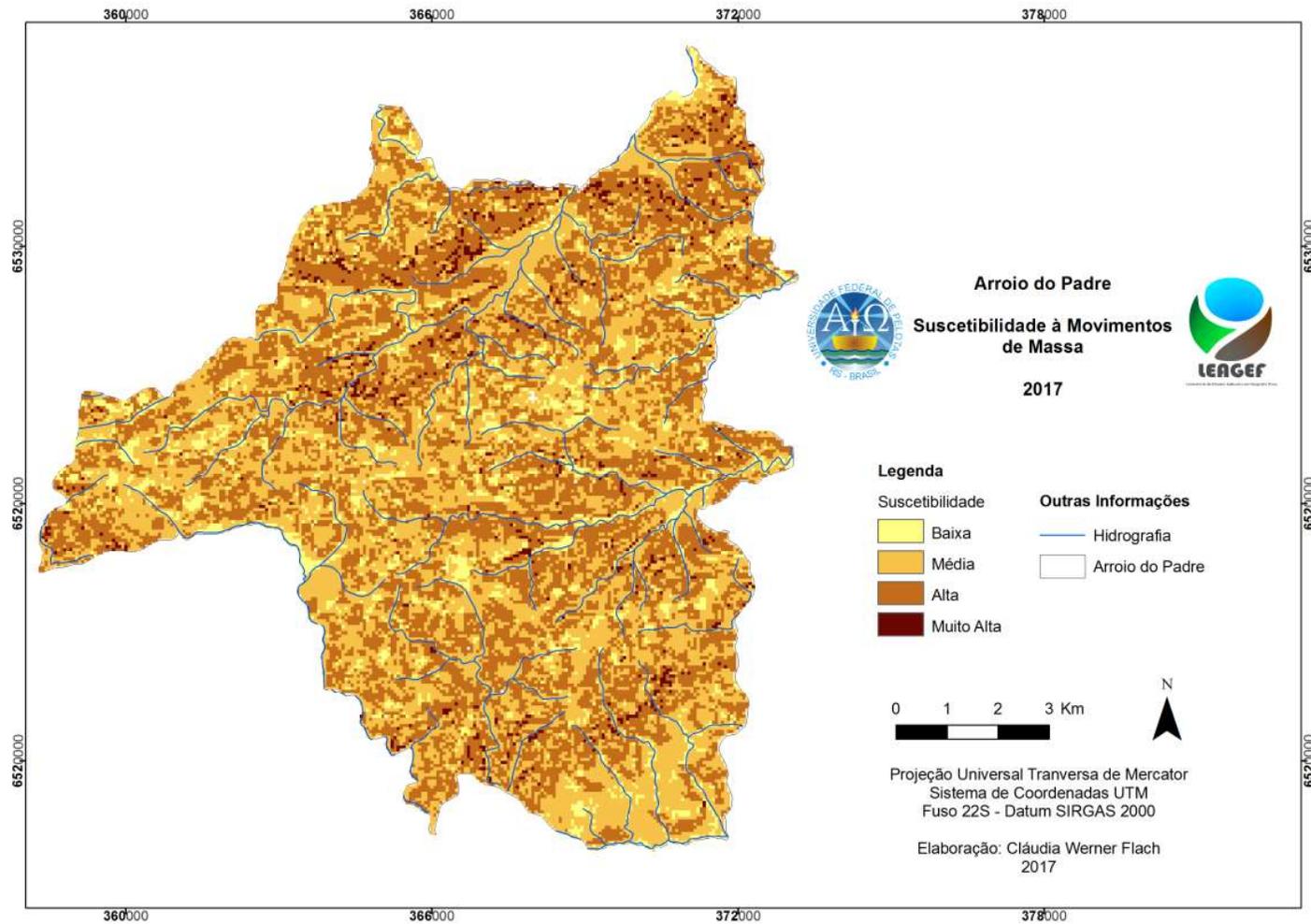


Figura 47: Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em Arroio do Padre.
Fonte: autor (2017).

Áreas com suscetibilidade alta ocorrem predominantemente em setores com declividade superior a 20% e na unidade geomorfológica do planalto rebaixado marginal. Essas áreas apresentam cobertura florestal e campestre, entretanto, a declividade atua como o principal fator para a instabilidade das encostas, juntamente com o tipo de solo predominante: Neossolo Litólico/Argissolo Bruno Acinzentado com presença de Afloramento Rochoso. Através do mapa, podem ser identificados diversos setores com suscetibilidade alta, com destaque para as seguintes áreas:

- ✓ Área 1 (Figura 47): unidade lito-estratigráfica N_γ2a; predomínio de vertentes orientadas ao sul; declividades acentuadas (acima de 20%); presença de solos rasos com afloramentos rochosos. É nessa área que foram registrados os movimentos de massa desencadeados durante as precipitações intensas e prolongadas de 15 de novembro de 2010.
- ✓ Área 2 (Figura 47): área de transição entre as unidades lito-estratigráficas N_γ2a, N_γ1a, N_γ2b; transição entre o planalto rebaixado marginal e as demais unidades geomorfológicas; declividade superior a 12%; vertentes orientadas a norte e leste; solos rasos com afloramentos rochosos.
- ✓ Área 3 (Figura 48): unidade lito-estratigráfica N_γ2b; transição entre as unidades geomorfológicas do planalto rebaixado marginal e planalto residual Canguçu-Caçapava do Sul; predomínio de vertentes orientadas a norte; declividade superior à 20%; solos rasos com afloramentos rochosos.
- ✓ Área 4 (Figura 48): unidade lito-estratigráfica N_γ1a; transição do planalto rebaixado marginal para a planície alúvio coluvionar; vertentes orientadas ao norte e ao sul; declividade superior à 20%; solos rasos, com afloramentos rochosos.
- ✓ Área 5 (Figura 48): unidade lito-estratigráfica N_γ1a; planalto residual Canguçu-Caçapava do Sul e planalto rebaixado marginal; vertentes orientadas predominantemente ao sul, porém ocorrem também vertentes orientadas a leste e oeste; declividade superior a 12%; solos rasos e afloramentos rochosos.

Junto a alguns setores de suscetibilidade alta, ocorrem setores com suscetibilidade muito alta, porém são pouco frequentes e pouco expressivos.

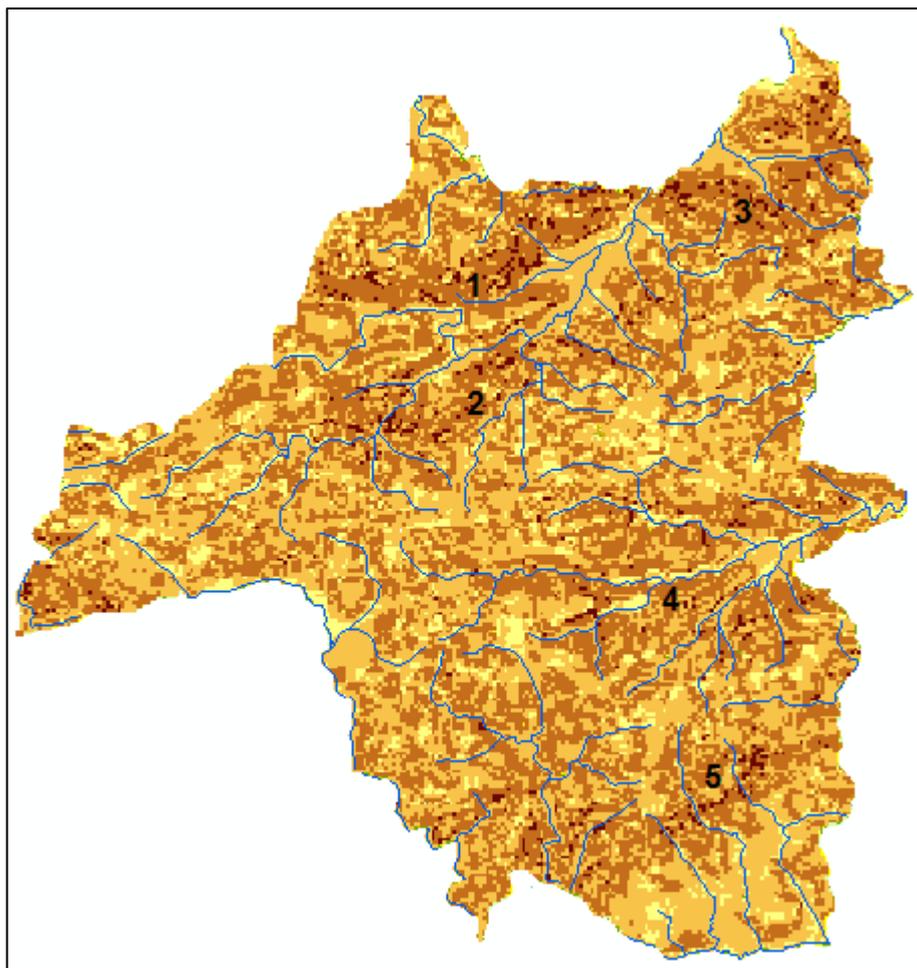


Figura 48: Ilustração com destaque para as 5 áreas com suscetibilidade alta.

Conforme destacado anteriormente, a declividade exerce papel fundamental no desencadeamento de movimentos de massa e processos erosivos no município de Arroio do Padre. Tendo em vista esta característica, o peso atribuído foi de 30%, o que se reflete no resultado final do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa. Associados a declividade, os condicionantes pedologia e cobertura e uso da terra contribuem para que grande parte do município apresente suscetibilidade que varia de 5 - 8, ou seja, de média a alta.

Tendo em vista as áreas com suscetibilidade alta e muito alta, foram delimitadas as áreas prioritárias para atuação na prevenção de processos erosivos e movimentos de massa, como pode ser observado na Figura 49.

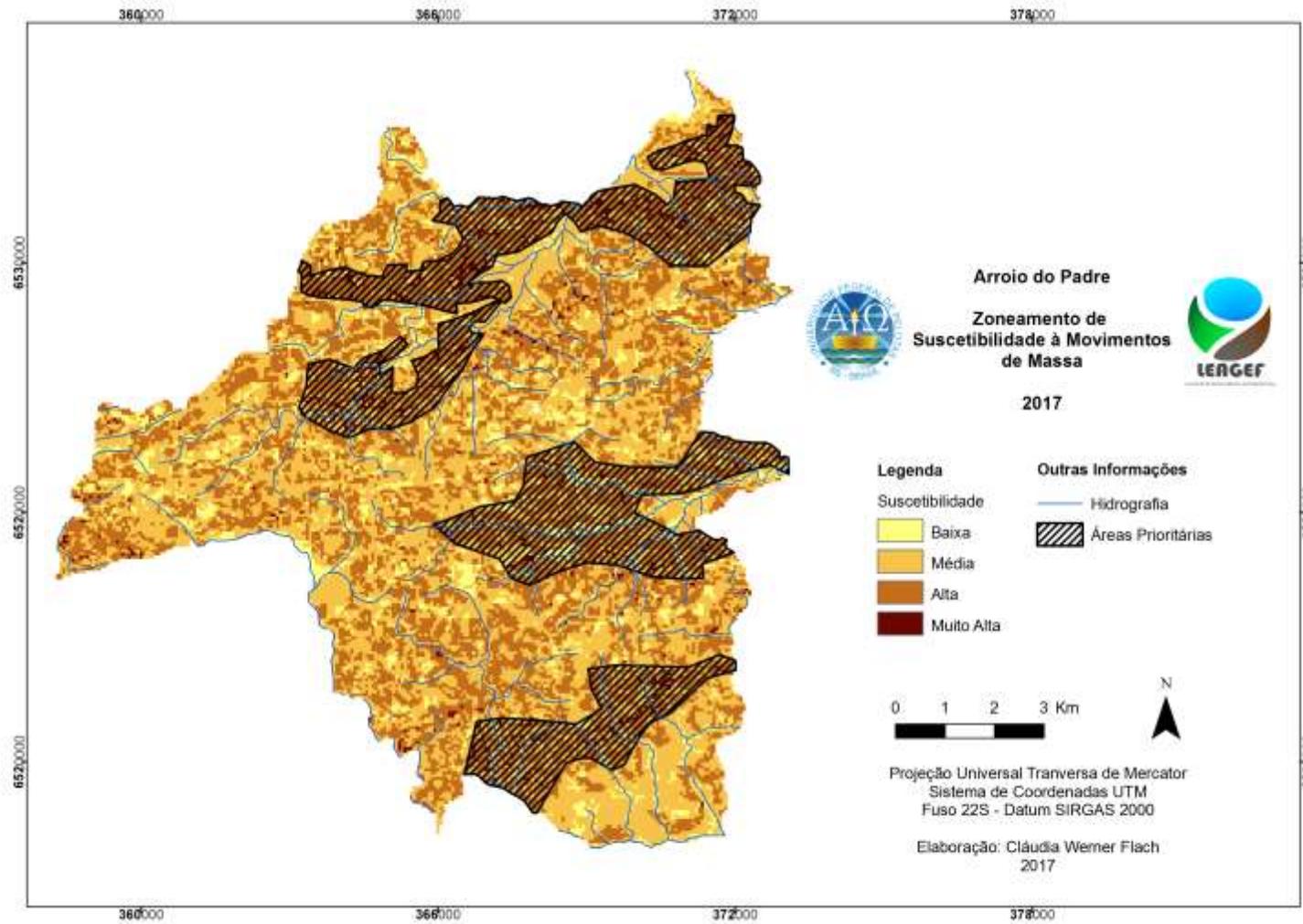


Figura 49: Áreas prioritárias de atuação na prevenção de processos erosivos e movimentos de massa em Arroio do Padre. Fonte: autor (2017).

Com base no Zoneamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa de Arroio do Padre, são identificadas 3 áreas prioritárias para atuação na prevenção de processos erosivos e movimentos de massa: parte da Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, Alta Bacia Hidrográfica do Arroio do Padre, Setor Sul do município.

✓ Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta

Nessa área, ocorre a maior concentração de declividades acentuadas do município, ou seja, declividade acima de 20%. De acordo com a Tabela 16, grande parte dessas áreas mantém a cobertura vegetal, composta predominantemente por área florestal e campestre. Entretanto, verifica-se a presença significativa de subclasses de uso da terra, com destaque para as culturas temporárias e áreas de pastagens.

Tabela 16: Área absoluta e percentual das subclasses de Coberturas e Usos da Terra presentes na área prioritária 1.

	Subclasse	Área (Km²)	Área (%)
Coberturas da Terra	Área Florestal	6,24	42,05
	Área Campestre	2,23	15,03
	Área Descoberta	0,06	0,40
	Água Continental	0,03	0,20
	Subtotal	8,56	57,68
Usos da Terra	Cultura Temporária	3,33	22,44
	Pastagem	1,76	11,86
	Silvicultura	1,19	8,02
	Área Urbanizada	0,00	0,00
	Subtotal	6,28	42,32
	Total	14,84	100,00

Os diversos processos erosivos nessa área, incluindo movimentos de massa e abertura de sulcos e ravinas (especialmente em áreas de cultivo de fumo), registrados em 15 de novembro de 2010 reforçam a necessidade de enquadrar a Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta como uma das áreas prioritárias para a atuação na prevenção de processos erosivos e movimentos de massa.

✓ Alta Bacia Hidrográfica do Arroio do Padre

Na alta Bacia Hidrográfica do Arroio do Padre, ocorrem declividades superiores a 12%, porém são representativas as áreas com declividade

superior a 20%, as quais se mantêm cobertas por florestas e áreas campestres. As coberturas da terra são predominantes na área prioritária 2, conforme pode ser observado na Tabela 17. Por outro lado, as subclasses de uso da terra são frequentes e bem distribuídas, destacando-se as culturas temporárias, as pastagens e as áreas com silvicultura.

Tabela 17: Área absoluta e percentual das subclasses de Coberturas e Usos da Terra presentes na área prioritária 2.

	Subclasse	Área (Km²)	Área (%)
Coberturas da Terra	Área Florestal	4,68	45,13
	Área Campestre	1,46	14,08
	Área Descoberta	0,02	0,19
	Água Continental	0,04	0,39
	Subtotal	6,2	59,79
Usos da Terra	Cultura Temporária	2,55	24,59
	Pastagem	0,83	8,00
	Silvicultura	0,79	7,62
	Área Urbanizada	0	0,00
	Subtotal	4,17	40,21
	Total	10,37	100,00

A inexistência de registros de movimentos de massa e processos erosivos nessa área ocorre em função da inexistência de trabalhos referentes ao assunto na Bacia Hidrográfica do Arroio do Padre. Entretanto, as condições locais, especialmente de declividade e de solos, tornou a área bastante suscetível ao desencadeamento de movimentos de massa.

✓ Setor Sul do município

Em parte do setor Sul do município, ocorrem áreas com declividades superiores a 12% e em menor expressividade, áreas com declividade superior a 20%. Com base na Tabela 18, é possível verificar o predomínio de coberturas da terra, sendo significativas as áreas florestais e campestres. Quanto aos usos da terra, destacam-se as áreas com culturas temporárias e de pastagens, uma peculiaridade, entretanto, diz respeito às expressivas áreas agrícolas em locais de declividade acentuada, como pode ser observado na Figura 50.

Assim como na área prioritária 2, a área prioritária 3 carece de informações e registros de processos erosivos e movimentos de massa, porém, a ocorrência de áreas agrícolas junto a declividades acentuadas e solos com

horizonte B textural torna esse setor bastante suscetível a ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos.

Tabela 18: Área absoluta e percentual das subclasses de Coberturas e Usos da Terra presentes na área prioritária 3.

	Subclasse	Área (Km ²)	Área (%)
Coberturas da Terra	Área Florestal	2,05	32,96
	Área Campestre	1,11	17,85
	Área Descoberta	0,1	1,61
	Água Continental	0,02	0,32
	Subtotal	3,28	52,73
Usos da Terra	Cultura Temporária	1,48	23,79
	Pastagem	1,08	17,36
	Silvicultura	0,38	6,11
	Área Urbanizada	0	0,00
	Subtotal	2,94	47,27
	Total	6,22	100,00

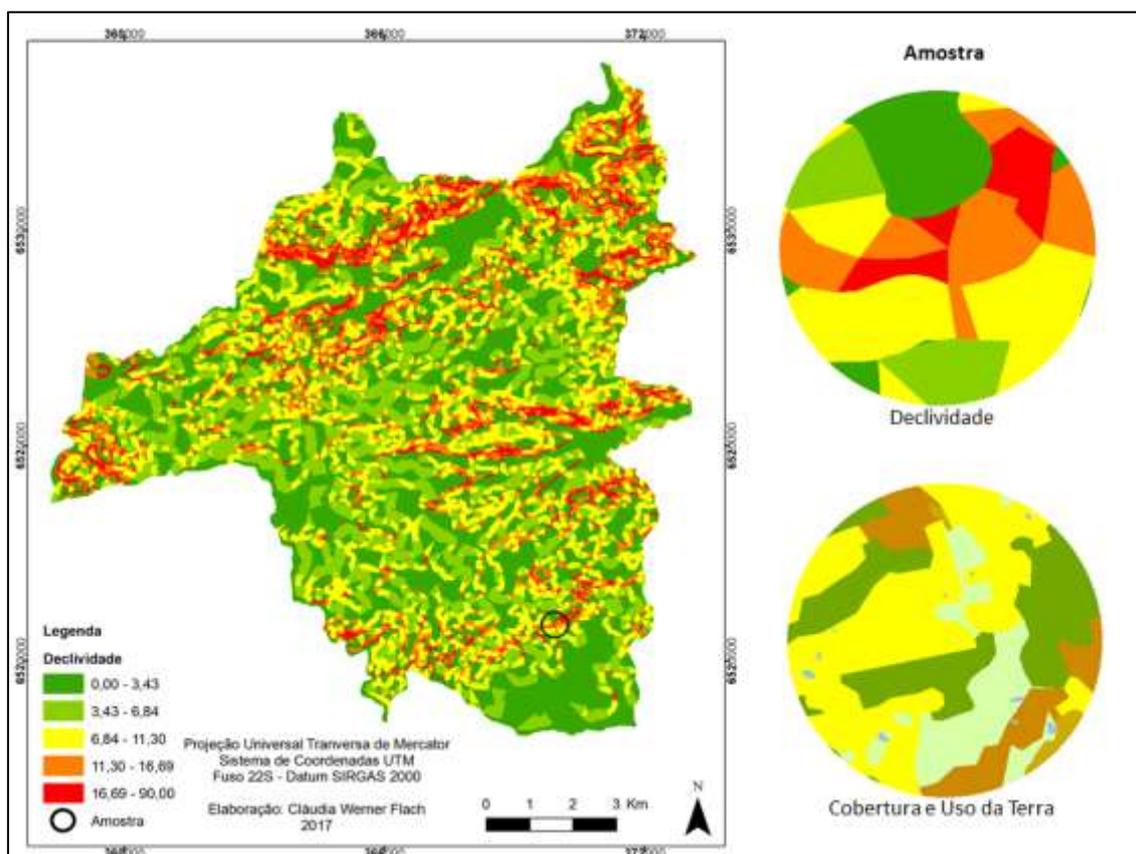


Figura 50: Amostra das coberturas e usos da terra em função da declividade.

Conforme já mencionado e verificado à campo, o município de Arroio do Padre é essencialmente agrícola, com grande parte da produção voltada para o cultivo de fumo no Sistema Convencional (preparo da área com o revolvimento

do solo – aração e gradagem – e construção do camalhão²³ à cada safra) e no Sistema de Plantio Direto com Camalhões (camalhão construído no antes da implantação das culturas de inverno, dessecando-se a cobertura vegetal para o plantio sob a camada morta). A construção dos camalhões na direção “morro acima e morro abaixo”, visa a maior operacionalidade do maquinário agrícola, porém, atua como um condicionante para a instabilização das encostas, uma vez que esses camalhões concentram as águas das chuvas, potencializando as perdas de água e solo.

Sendo assim, grande parte dos processos erosivos em Arroio do Padre ocorre em áreas agrícolas, especialmente aquelas destinadas às culturas temporárias, como o fumo. Já nas pastagens, outro importante cultivo destinado à produção leiteira, esses processos foram pouco observados, sendo frequentes os processos deposicionais, verificados principalmente na área prioritária 1.

Tendo em vista o tamanho das propriedades rurais (pequenas propriedades), muitos agricultores fazem uso de áreas consideradas inadequadas aos cultivos agrícolas. Nesse sentido, se faz necessário a adoção de práticas conservacionistas nessas áreas agrícolas, visando a diminuição das perdas de solo e água, bem como a manutenção da produtividade. Com relação as práticas conservacionistas que podem ser indicadas para essas áreas, destacam-se as práticas vegetativas (manejo da cobertura vegetal para proteger o solo) e as mecânicas (barreiras físicas implantadas para a redução da velocidade do escoamento superficial).

Dentre as práticas vegetativas, recomenda-se para as áreas prioritárias de Arroio do Padre: o florestamento e reflorestamento das áreas cultivadas em declividades muito acentuadas; o manejo das pastagens levando-se em consideração a capacidade de suporte; a manutenção da cobertura do solo e manejo da cobertura morta (essa prática também é recomendada por empresas de tabaco); a implantação dos cultivos em contornos ou em faixas, bem como a implantação de cordões vegetativos em áreas de declividade acentuada, aumentando a rugosidade do terreno. Dentre as práticas mecânicas

²³ Monte ou canteiro de solo, construído *in loco* e em linha. É construído com arado reversível enleirando o solo no sentido da linha de plantio ou com um equipamento de dois discos que direciona a terra formando o camalhão. Técnica muito utilizada em solos que possuem pequena profundidade efetiva, facilitando o desenvolvimento do sistema radicular.

que podem ser recomendadas, destacam-se: construção de terraços associados a canais escoadouros em áreas agrícolas (aumento da rugosidade do terreno e da infiltração da água no solo); e bacias de captação²⁴ em terrenos com declividade acentuada, utilizados para cultivos.

5.4 Conclusões do Capítulo

De modo geral, as áreas com declividades acentuadas apresentam maior suscetibilidade a movimentos de massa. Associados à declividade, os tipos de solos e o uso da terra contribuem significativamente para a delimitação das áreas com maior probabilidade de desencadeamento de movimentos de massa.

Analisando-se as informações do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa em Arroio do Padre, foram destacadas três áreas consideradas como prioritárias, sendo necessária intervenção para a prevenção de processos erosivos e movimentos de massa. Essas três áreas representam aproximadamente 25,29% da área total do município, ou seja, cerca ¼ do município possui alta a muito alta suscetibilidade ao desencadeamento de movimentos de massa. Nessas áreas, verifica-se o predomínio de coberturas da terra (florestal e campestre), porém, a ocorrência de usos da terra (cultura temporária, pastagem e silvicultura) nessas áreas não deve ser desconsiderada. Tendo em vista as características do município, recomenda-se a adoção de práticas de manejo e conservação do solo e da água, sob os princípios da agricultura conservacionista.

²⁴ Reservatórios em forma de bacia, caixa ou terraço, utilizados no controle de enxurradas em estradas vicinais ou propriedades rurais. Tem como função a retenção de água e sedimentos.

6. CONCLUSÕES

Refletindo a preocupação e o interesse decorrentes dos movimentos de massa e demais processos erosivos desencadeados em 15 de novembro de 2010, objetivou-se realizar o Zoneamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa para o município de Arroio do Padre/RS. Com base na caracterização do município, na morfometria das vertentes e nas coberturas e usos da terra, foram atribuídos pesos aos fatores condicionantes e suas variáveis, de acordo com a influência na instabilização das encostas, gerando o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.

De acordo com o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, foram delimitadas três áreas consideradas como prioritárias para a atuação na prevenção de processos erosivos e movimentos de massa, dando origem ao zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa. Essas áreas prioritárias são fortemente influenciadas pela declividade, bem como pelos tipos de solo e pelas coberturas e usos da terra.

A alta probabilidade de desencadeamento de movimentos de massa em parte da área prioritária 1 resultou, em 2010, na classificação desse setor como área de risco pela Defesa Civil, que atuou na remoção de alguns moradores. Tendo em vista o histórico de precipitações intensas e prolongadas e as consequências resultantes desses eventos, é necessário o acompanhamento das áreas prioritárias, bem como a atuação e intervenção do poder público municipal e dos moradores, através de medidas preventivas e práticas conservacionistas em áreas agrícolas.

Retomando algumas das informações sobre o Marco de Sendai (UNISDR, 2015), que tem como objetivo a redução nos riscos de desastres naturais, ressalta-se a importância do presente trabalho. Este trabalho contribui com uma série de informações necessárias para que os objetivos e as prioridades de ação estabelecidas pelo Marco de Sendai sejam atingidos no município.

Nesse sentido, o trabalho auxilia na compreensão do risco de desastres, por meio do zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa, fornecendo informações para a promoção de parcerias entre mecanismos e instituições a fim de destinar e alocar investimentos em medidas estruturais e não estruturais para a redução do risco de desastres. Desta forma, destaca-se

também o papel da academia, através de estudos que se concentram em cenários de risco de desastres.

Apesar das contribuições deste trabalho, este é apenas o passo inicial para o desenvolvimento de estudos mais detalhados. De acordo com Fell et al. (2008), os zoneamentos de suscetibilidade são menos exigentes que os de perigo e risco, entretanto, a realização de zoneamento de perigo e risco passa necessariamente pelo zoneamento de suscetibilidade.

Como continuidade ao trabalho realizado até o momento, é fundamental dar sequência ao inventário de movimentos de massa, formando um banco de dados com as ocorrências desses processos, permitindo o acompanhamento à longo prazo. Ressalta-se a necessidade de produção de dados básicos no município, sendo importante a instalação de pluviômetros para o monitoramento das precipitações e determinação do regime pluviométrico de Arroio do Padre. Também é imprescindível a elaboração de mapas em escala mais detalhada, a citar, mapeamento geológico e pedológico.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. **A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data**. United States Government Printing Office, Washington: 1976. Versão digitalizada (2001). Disponível em: http://www.pbcgis.com/data_basics/anderson.pdf. Acesso em: Maio, 2016.
- BAUZYS, F. Mapa de inventário dos movimentos de massa ocorridos no alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar, Santa Catarina. **Revista Geonorte**, Manaus, v.1, n.4, p.788 – 799, 2012.
- BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E.W. Dinâmica espaço temporal das inundações do Rio dos Sinos, RS. In: ROBAINA, L.E.de S; TRENTIN, R. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2013.
- BERGAMO, E.P.; ALMEIDA, J.A.P. A importância da geomorfologia para o planejamento ambiental: um estudo do município de Fartura/SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, VI, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2006.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1999.
- BIAS, E.deS.; PIVELLO, L.; GUEDES, S.C.; ROCHA, K.C. Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF. **Geociências**. São Paulo, v. 31, n. 3, p. 411-429, 2012.
- BIE, C.A.J.M.de; VAN LEEUWEN, J.A.; ZUIDEMA, P.A. **A Knowledge-Based Software Program for Structured Storage and Retrieval of User-Defined Land Use Data Sets**. ITC, FAO, UNEP, WAU; 1996.
- BIGARELLA, J.J.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3.
- BITAR, O.Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000**. São Paulo: IPT. Brasília: CPRM. 2014.
- BORSATO, F.H.; MARTONI, A.M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.
- BRESSANI, L.A.; COSTA, E.A.da. Mapeamento geotécnico – suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade técnica, risco instalado e risco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14, 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2013.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. Livro Digital, 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap1/>. Acesso em: Outubro, 2015.
- CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres. Volume III: Desastres Mistos**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002.
- _____. **Manual de Desastres. Volume II: Desastres Humanos de Natureza Tecnológica**. I parte. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003b.

CASTRO, A. L. C. (Org.). **Glossário de Defesa Civil. Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5ª Ed. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília: 2008.

CEPED (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013a. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/atlas/Brasil%20Rev%202.pdf> Acesso em: maio, 2016.

_____. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012 - Rio Grande do Sul**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013b. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Rio%20Grande%20do%20Sul%202.pdf>. Acesso em: Maio, 2016.

CHAGAS, C.daS.; FONTANA, A.; JUNIOR, W.deC.; CAIRES, S.M.de. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, 2013.

COELHO-NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; FERNANDES, M. C.; LACERDA, W. A. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. **Geomorphology** n.87, p. 120-131, 2007.

CORRÊA, M.P. **Influência da radiação solar na regeneração natural de Mata Atlântica**. Seropédica: UFRJ, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso, 2008.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. 2016. 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.htm>. Acesso em: Junho, 2016.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Carta Geológica**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Pelotas, SH-22-Y-D. CPRM, 2000.1 mapa. Escala 1:250.000.

_____. **Carta Geológica**. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. CPRM, 2006. 1 mapa. Escala 1:750.000.

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). **The Human Cost of the Natural Disaster: a global perspective**. CRED: 2015. Disponível em: <http://www.emdat.be/publications>. Acesso em: Maio, 2016.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. de.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, N.G. da.; **Mapa de Solos de Pelotas**. EMBRAPA: CPACT: Pelotas, 1996. 1 mapa. Escala 1:100.000.

CUSTÓDIO, M. de S.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Insolação no Rio Grande do Sul: Climatologia e Tendência Temporal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju. **Anais...** CD-ROM.

EIRD/ONU (Estratégia Internacional para a Redução de Desastres / Organização das Nações Unidas). **Marco de Ação de Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres**. Suíça, 2005.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 2013.

_____. Arroio do Padre - Geologia, [s.d], 1 mapa, Escala 1/50.000.

EM DAT.(2016) <http://www.emdat.be/>.

FARAH, F. **Habitacões e Encostas**. Coleção Habitare. São Paulo: IPT, 2003.

FARIAS, J.A.de. **Atividade Florestal no contexto da fumicultura: oportunidade de desenvolvimento regional, diversificação, geração de emprego e renda**. Santa Maria: UFSM, 2010. Tese de Doutorado, 2010.

FARIAS, M.M.M.W.E.C.de; BELFORT, C.F.N.L.A.L.; TRAVASSOS, N.L.M.; BARBOSA, I.M.B.R.; CARVALHO, V.S. Utilização de técnicas de geoprocessamento para avaliação da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Capibaribe. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, Recife, 2010.

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

FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R. A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1, p.51-71, 2001.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológica geomorfológica**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

FITZ, P.R. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLACH, C.W. **Alterações geomorfológicas decorrentes da enxurrada de 15 de novembro de 2010 na Bacia Hidrográfica do Arroio Pimenta, no município de Arroio do Padre/RS**. Pelotas: UFPel, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, 2014.

FLACH, C.W.; MEURER, M. Análise Morfométrica da Bacia do Arroio Pimenta – Arroio do Padre/RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, XXII, 2013, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2013.

FRANCISCO, P.R.M.; CHAVES, I.de B.; LIMA, E.R.V.de. Classificação de terra para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. **Revista Educação Agrícola Superior**. v.28, n.1, p.30-35, 2013.

GLP (Global Land Project). **Science Plan and Implementation Strategy**. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19. IGBP Secretariat, Stockholm, 2005. Disponível em: http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006384/1376383121392/report_53-GLP.pdf. Acesso em: Junho, 2016.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 11ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUERRA, A.J.T.; CORRÊA, A.C.B.; GIRAO, O. Encostas Urbanas como unidades de gestão e planejamento, a partir do estudo de áreas a sudoeste da cidade do Recife-PE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 24, n. 3, p. 238-263, 2007.

GUHA-SAPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. **Annual Disaster Statistical Review 2011 – The numbers and trends**. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Institute of Health and Society (IRSS) Université Catholique de Louvain – Brussels, Belgium, 2012.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM.

HIGHLAND, L.M.; BROBOWSKY, P. **O manual de deslizamento – um guia para a compreensão de deslizamentos**. Reston, Virginia, USGS Circular 1325, 2008.

HÖFIG, P.; ARAUJO-JUNIOR, C.F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no Estado do Paraná. **Coffee Science**. Lavras, v. 10, n. 2, p. 195 - 203, 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual técnico de geologia**. Manuais Técnicos em Geociências, Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Censo Agropecuário de 2006**. Dados para Arroio do Padre. IBGE, 2006. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430107&idtema=3&search=rio-grande-do-sul|arroio-do-padre|censo-agropecuario-2006>. Acesso em: Janeiro, 2016.

_____. **Primeiros Resultados do Censo 2010**. Base de Dados Cidades: Arroio do Padre. IBGE, 2010. Disponível em: [<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>]. Acesso: Janeiro, 2016.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Manuais Técnicos em Geociências, n.7. 3ed. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Produção Agrícola Municipal - Lavoura Temporária 2014**. Base de Dados Cidades: Arroio do Padre. Rio de Janeiro: IBGE, 2015a. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430107&idtema=149&search=rio-grande-do-sul|arroio-do-padre|producao-agricola-municipal-lavoura-temporaria-2014>. Acesso em: Janeiro, 2016.

_____. **Pecuária 2014**. Base de Dados Cidades: Arroio do Padre. Rio de Janeiro: IBGE, 2015b. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430107&idtema=147&search=rio-grande-do-sul|arroio-do-padre|pecuaria-2014>. Acesso em: Janeiro, 2016.

_____. **Extração Vegetal e Silvicultura 2014**. Base de Dados Cidades: Arroio do Padre. Rio de Janeiro: IBGE, 2015c. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430107&idtema=150&search=rio-grande-do-sul|arroio-do-padre|extracao-vegetal-e-silvicultura-2014>. Acesso em: Janeiro, 2016.

_____. **Estatísticas do Cadastro Central de Empresas 2014**. Base de Dados Cidades: Arroio do Padre. Rio de Janeiro: IBGE, 2015d. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430107&idtema=155&search=rio-grande-do-sul|arroio-do-padre|estatisticas-do-cadastro-central-de-empresas-2014>. Acesso em: Janeiro, 2016.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: IPT, 2007.

JULIÃO, R.P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; BRANCO, M.C.; ZÉZERE, J.L. **Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal**. Instituto Geográfico Português: 2009.

KERSTNER, J.V. **Análise - diagnóstico de sistemas agrários: um estudo sobre a agricultura familiar no município de Arroio do Padre**. Pelotas: UFPel, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso, 2013.

KOBYIAMA, M.; et al. **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

LAMBIN, E.F.; ROUNSEVELL, M.D.A.; GEIST, H.J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.82, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880900002358>. Acesso em: Maio, 2016.

LAMBIN, E.F. et al. **Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Implementation Strategy**. IGBP Report 48, IHDP Report 10: IGBP, Stockholm, 1999. Disponível em: http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc12005/m2/1/high_res_d/report-48.pdf. Acesso em: Maio, 2016.

LAMBIN, E.F. et al. The causes of landuse and landcover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, p. 261-269, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378001000073>. Acesso em: Abril, 2016.

LIMA, R.N. de S. Google Earth aplicado a pesquisa e ensino da geomorfologia. **Revista de Ensino de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 5, p. 17-30, 2012.

LIMA, P.H.M.; COUTINHO, B.H.; GOMES, G.B.; FERNANDES, M.C.; COELHO NETTO, A.L. Parâmetros morfométricos relacionados às bacias de 1º ordem e a ocorrência de deslizamentos rasos na Bacia do Córrego Dantas: Nova Friburgo – RJ. **Revista Geonorte**, Ed. Especial 4, v.10, n.1, p.218-223, 2014.

LOPES, M.S. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do Oeste da Bacia Hidrográfica do Camaquã – RS. **Dissertação**. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

MADAIL, J.C.M.; BINI, D.A. **Diagnóstico Rápido Participativo e Fomento à Fruticultura como Alternativa de Diversificação Rural em Áreas de Tabaco no Município de Arroio do Padre - RS**. Comunicado Técnico 258. Embrapa: Pelotas, 2011.

MAGALHÃES, L.T.S.; GOMES, J.B.V.; VASCO, A.N. do; AGUIAR NETTO, A. de O.; FERREIRA, R.A. Caracterização geo-pedológica das áreas de nascentes na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 169-181, 2012.

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. São José dos Campos: INPE, 2008.

MELLO, T.F.de. **Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quase-florestas de São Luiz do Paraitinga (SP)**. São Paulo, 2009. Dissertação de Mestrado, 2009.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, F. B.; DINIZ, N. C.; BAPTISTA, G. M. M. Mapa de risco de movimentos gravitacionais de massa, obtido por meio de inventário de cicatrizes de deslizamentos no trecho 4 do trem da alta velocidade brasileiro. **RBGEA**, São Paulo, p. 73-94, 2012.

MENDONÇA, S.D.; HOROKOSKI, T.T.; GARRASTAZÚ, M.C.; ROSOT, M.A.D. **Cadernos de Geoprocessamento (7): atualização de mapeamento de uso e cobertura da terra com auxílio de imagens do Google Earth**. Comunicado Técnico 367. EMBRAPA: Colombo, 2015.

MEURER, M. **Geomorfologia e Depósitos Quaternários do município de Arroio do Padre – RS: A geomorfologia como subsídio ao planejamento e à prevenção de riscos**. Relatório de Pesquisa apresentado à FAPERGS referente ao Edital 01/2011 – ARD, 2013.

MEURER, M.; MARTINS, D.P. Alterações Geomorfológicas Decorrentes da Enxurrada de Novembro de 2010 do Município de Arroio do Padre – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XV, 2013, Vitória. **Anais...** Vitória, 2013.

MEURER, M.; FLACH, C.W. A Geomorfologia do município de Arroio do Padre – RS e as suas relações com as Alterações Geomorfológicas da Enxurrada de 15 de novembro de 2010. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 n. 3. p.311-328, 2015.

OLIVEIRA, L.M. **Acidentes Geológicos Urbanos**. MINEROPAR: Curitiba, 2010. Disponível em: http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/Acidentes_Geologicos_Urbanos_2010.pdf. Acesso em: Junho de 2016.

OLIVEIRA, T.A. de; VIADANA, A.G. Mapeamento e Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Lourenço Velho, sul do Estado de Minas Gerais-Brasil. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, I, 2014, Alfenas. **Anais...** Alfenas, 2014.

PINOTTI, A.M.; CARNEIRO, C.D.R. Geologia Estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP. **Terra e Didática**, v.9, n.2, p. 132-168.

PINTO, R.C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S.C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoiingá**, Maringá, v.5, n.1, p. 102-124, 2013.

PINTO, R.C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S.C. Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada. **Caderno de Geografia**, v.25, n.43, 2015.

PMAP (Prefeitura Municipal de Arroio do Padre). Plano Ambiental Municipal de Arroio do Padre, RS. Arroio do Padre, RS, 2008, 74 p.

PRESS, F.; SIEVER R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para Entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat, 4 ed. Porto Alegre: bookman, 2006.

REIS, J. B. C.; CORDEIRO, T. L.; LOPES, E. S. S. Utilização do Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais aplicado a situações de escorregamento - caso de Angra dos Reis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 14, 2011, Dourados. **Anais...** Dourados, 2011.

ROBAINA, L. E.deS.; OLIVEIRA, E. L. de A. Bases conceituais para o estudo de áreas de risco em ambientes urbanos. In: ROBAINA, L.E.deS.; TRENTIN, R (org). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2013.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo em Bacias Hidrográficas. In: VENTURI; L.A.B. (org) **Praticando Geografia técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 8, n. 2 p. 63-73, 1994.

ROSSATO, M.S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. Tese de Doutorado, 2011.

ROVANI, F.F.M.; CASSOL, R. Cartografia Temática: uma contribuição na análise geográfica do município de Barão de Cotegipe/RS. **Ateliê Geográfico**. Goiânia, v. 6, n. 2, 2012. p. 33 – 54.

SAJIKUMAR, N.; REMYA, R.S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. **Journal of Environmental Management** n.161, p. 460 – 468, 2015.

SANTOS, H.G. dos; ZARONI, M.J.; ALMEIDA, E. de P.C. **Neossolos Litólicos**. EMBRAPA. 2016a. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html. Acesso em: Julho, 2016.

_____. **Argissolos Bruno-Acinzentados**. EMBRAPA. 2016b. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gmz isqcs02wx5ok0liq1mqzgi5tjo.html. Acesso em: Julho, 2016.

SAUSEN, T.M.; LACRUZ, M. S. P.; SAITO, S. M.; PEREIRA, R. da S. **Análise do Evento de Inundação Brusca ocorrido em São Lourenço do Sul, RS, em 10 de março de 2011**. INPE: São José dos Campos, 2012.

SAYDELLES, A.P., SARTORI, M. G. B. Análise da insolação direta nas vertentes do Bairro Centro da cidade de Santa Maria-RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10, 2007, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2007.

SILVA-NETO, J.C.A.da. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1, p.05-25, 2013.

SILVA, M.V.da; NETA, L.C. Frequência de Eventos Extremos de Precipitação para Pelotas/RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, Ed. Especial, p. 507-509, 2013.

SILVA, M.S.L.da; NETO, M.B.de O. **Argissolo Vermelho Amarelo**. EMBRAPA. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_perna_mbucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html. Acesso em: Julho, 2016.

SILVA, A.M. da; ALVARES, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SIMON, A.L.H.; TRENTIN, G. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do Google Earth. **Ar@cne**, Barcelona, n.116, p. 1-11, 2009.

SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and Synoptic Characteristics of Heavy Rainfall Episodes in Southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 598-617, 2007.

TOMINAGA, L.K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. São Paulo, 2007. Tese de Doutorado, 2007.

TOMINAGA, L.K. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do A. (orgs). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Variável Forma do Terreno, da Folha 31s525. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: Setembro, 2016.

TRENTIN, G.; SIMON, A.L.H. Análise da ocupação espacial urbana nos fundos de vale do município de Americana–SP, Brasil. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, XII, 2009, Uruguai. **Anais...** Uruguai, 2009.

TURNER, B.L.; MOSS, R.H.; SOLE, D.L. **Relating land use and global land-cover change: A proposal for an IGBP-HDP core project**. Stockholm: International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Secretariat, Royal Swedish Academy of Sciences, 1993. Disponível em: <http://ciesin.org/docs/008-105/008-105.html>. Acesso em: Junho, 2016.

USGS (United States Geological Survey). **Landslide Types and Processes**. USGS, 2004.

UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 -2030. Geneva, Switzerland, 2015a. Disponível em: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>. Acesso em: Abril, 2016.

VALERIANO, M.M. **Dados Topográficos**. In: FLORENZANO, T.G. Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALERIANO, M.M.; CARVALHO-JUNIOR, O.A.de. Geoprocessamento de Modelos Digitais de Elevação para Mapeamento da Curvatura Horizontal em Microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n. 1, p.17-29, 2003.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre: CEPSSRM/UFRGS. 129 p., 2006.

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

VARNES, D.J. **Slope movements types and processes**. In: SCHUSTER, R.L.; KRIZEK, R.J. (eds) Landslides Analysis and Control. National Academy of Science, Washington: 1978, p.11-33.

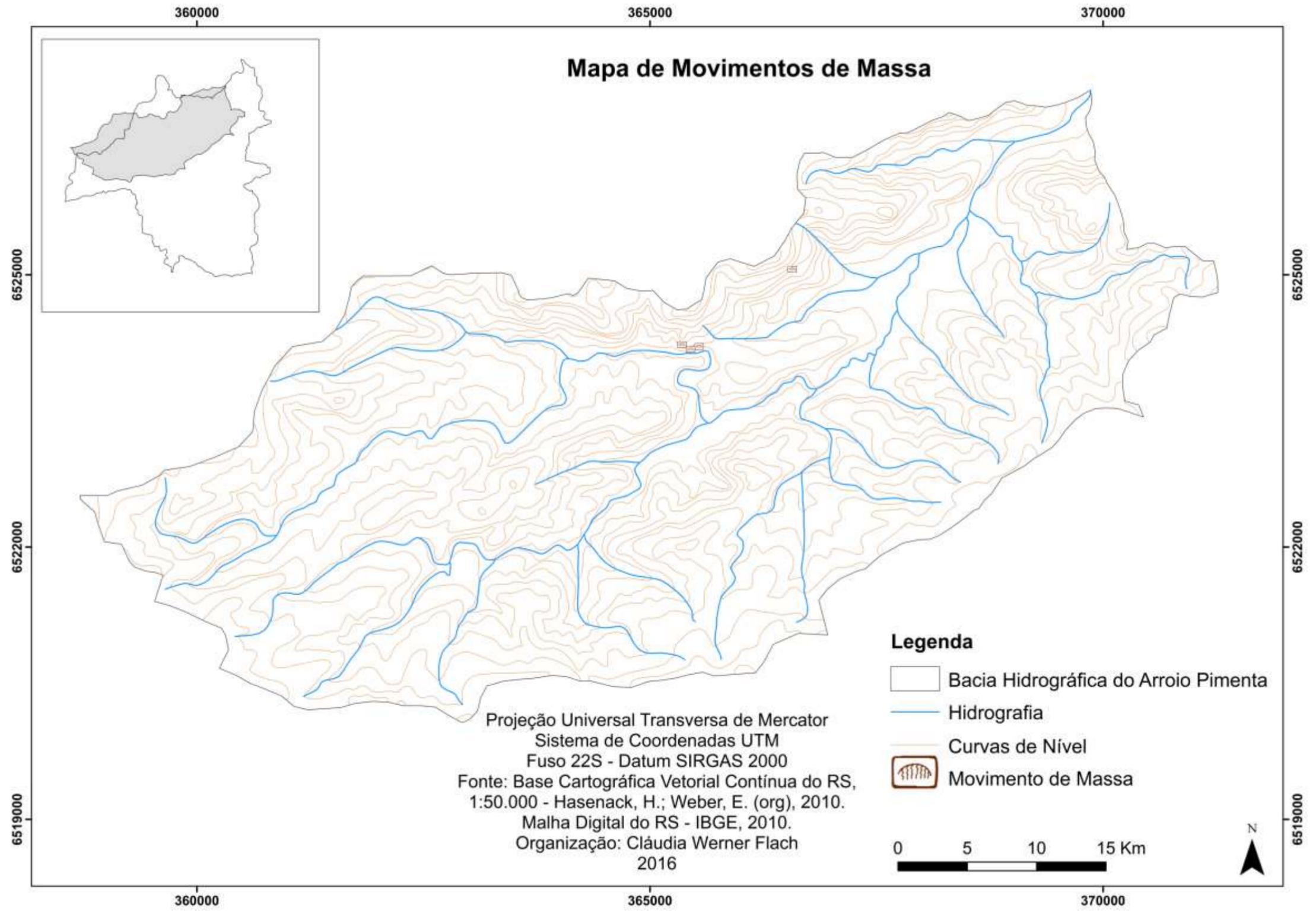
VITTE A. C.; MELLO, J. P. Determinação da fragilidade ambiental na bacia do rio Verde, região nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Territorium**, n. 16, p. 79–98, 2009.

WP/WLI (Working Party/World Landslide Inventory). **Multilingual Landslide Inventory**. Canadá, 1993.

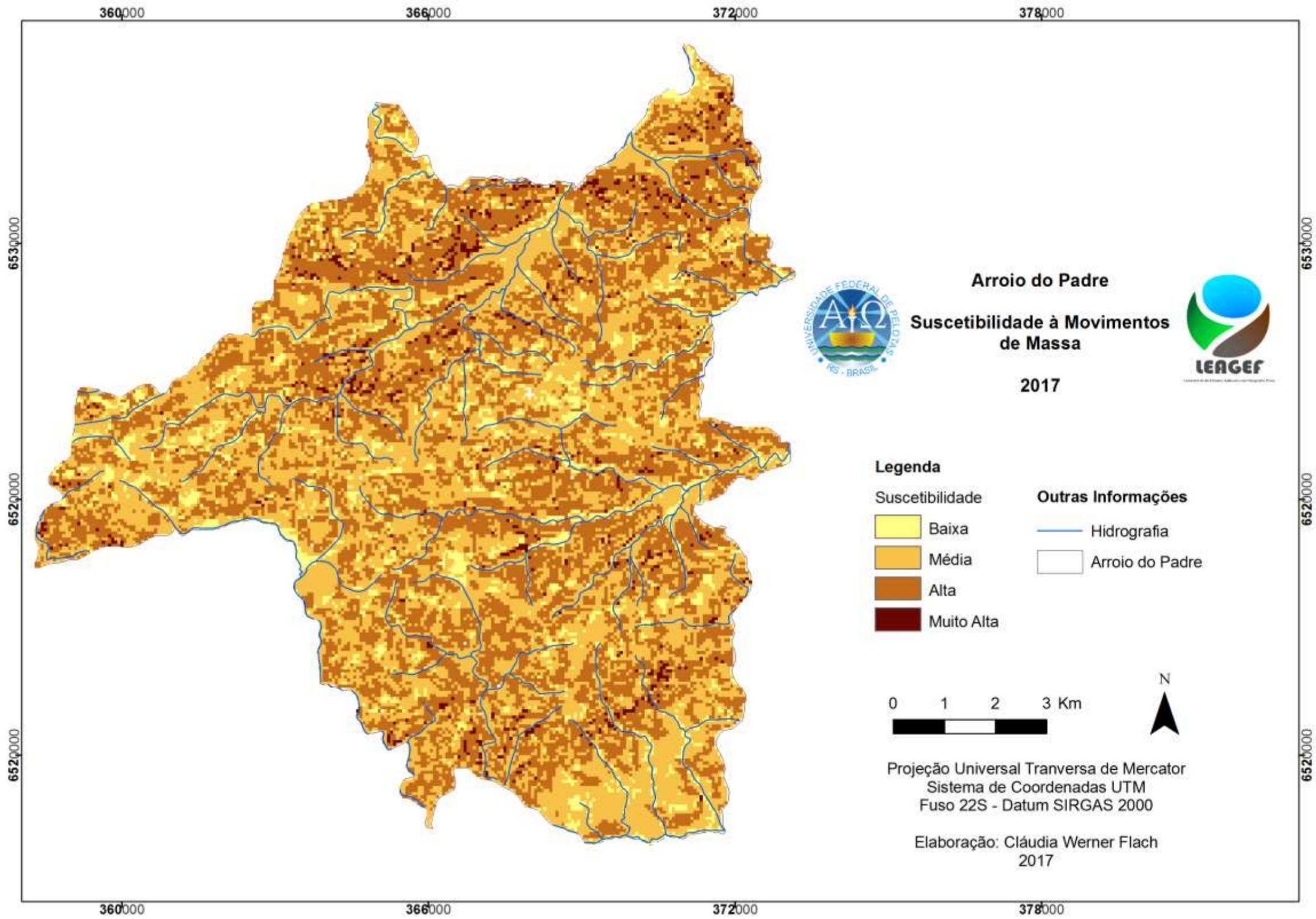
APÉNDICE

Apêndice 1: Mapa de Cobertura e Uso da Terra de Arroio do Padre

Apêndice 2: Mapa de Movimentos de Massa de Arroio do Padre.



Apêndice 3: Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa de Arroio do Padre.



ANEXOS

Anexo A: Sistema de Classificação dos Usos e Coberturas da Terra (BOSSARD et al, 2000).

<i>System Land Use and Land Cover Classification</i>		
Class	Class	Class
<i>Class 1: Artificial areas</i>	<i>Class 1.1 Urban fabric</i>	<i>111 Continuous urban fabric</i>
		<i>112 Discontinuous urban fabric</i>
	<i>Class 1.2 Industrial, commercial and transport units</i>	<i>121 Industrial or commercial units</i>
		<i>122 Road and rail networks and associated land</i>
		<i>123 Port areas</i>
		<i>124 Airports</i>
	<i>Class 1.3 Mine, dump and construction sites</i>	<i>131 Mineral extraction sites</i>
		<i>132 Dump sites</i>
		<i>133 Construction sites</i>
	<i>Class 1.4 Artificial non-agricultural vegetated areas</i>	<i>141 Green urban areas</i>
<i>142 Sport and leisure facilities</i>		
<i>Class 2: Agricultural areas</i>	<i>Class 2.1 Arable land</i>	<i>211 Non-irrigated arable land</i>
		<i>212 Permanently irrigated land</i>
		<i>213 Rice fields</i>
	<i>Class 2.2 Permanent crops</i>	<i>221 Vineyards</i>
		<i>222 Fruit trees and berry plantations</i>
		<i>223 Olive groves</i>
	<i>Class 2.3 Pastures</i>	<i>231 Pastures</i>
	<i>Class 2.4 Heterogeneous agricultural areas</i>	<i>241 Annual crops associated with permanent crops</i>
		<i>242 Complex cultivation patterns</i>
		<i>243 Land principally occupied by agriculture</i>
<i>244 Agro-forestry areas</i>		
<i>Class 3: Forest and semi-natural areas</i>	<i>Class 3.1 Forests</i>	<i>311 Broad-leaved forest</i>
		<i>312 Coniferous forest</i>
		<i>313 Mixed forest</i>
	<i>Class 3.2 Shrubs and/or herbaceous vegetation associations</i>	<i>321 Natural grassland</i>
		<i>322 Moors and heathland</i>
		<i>323 Sclerophyllous vegetation</i>
		<i>324 Transitional woodland/ shrub</i>
	<i>Class 3.3 Open spaces with little or no vegetation</i>	<i>331 Beaches, dunes, and sand plains</i>
		<i>332 Bare rock</i>
		<i>333 Sparsely vegetated areas</i>
<i>334 Burnt areas</i>		
<i>335 Glaciers and perpetual snow</i>		
<i>Class 4: Wetlands</i>	<i>Class 4.1 Inland wetlands</i>	<i>411 Inland marshes</i>
		<i>412 Peatbogs</i>
	<i>Class 4.2 Coastal wetland</i>	<i>421 Salt marshes</i>
		<i>422 Salines</i>
		<i>423 Intertidal flats</i>
<i>Class 5: Water bodies</i>	<i>Class 5.1 Inland waters</i>	<i>511 Water courses</i>
		<i>512 Water bodies</i>
	<i>Class 5.2 Marine waters</i>	<i>521 Coastal lagoons</i>
		<i>522 Estuaries</i>
		<i>523 Sea and ocean</i>

Anexo B: Sistema de Classificação dos Usos e Coberturas da Terra (ANDERSON et al, 1976).

<i>Land use and land cover classification system for use with remote sensor data</i>	
Level I	Level II
1 Urban or Built-up Land	11 Residential
	12 Commercial and Services
	13 Industrial
	14 Transportation, Communications, and Utilities
	15 Industrial and Commercial Complexes
	16 Mixed Urban or Built-up Land
	17 Other Urban or Built-up Land
2 Agricultural Land	21 Cropland and Pasture
	22 Orchards, Groves, Vineyards, Nurseries, and Ornamental Horticultural Areas
	23 Confined Feeding Operations
	24 Other Agricultural Land
3 Rangeland	31 Herbaceous Rangeland
	32 Shrub and Brush Rangeland
	33 Mixed Rangeland
4 Forest Land	41 Deciduous Forest Land
	42 Evergreen Forest Land
	43 Mixed Forest Land
5 Water	51 Streams and Canals
	52 Lakes
	53 Reservoirs
	54 Bays and Estuaries
6 Wetland	61 Forested Wetland
	62 Nonforested Wetland
7 Barren Land	71 Dry Salt Flats.
	72 Beaches
	73 Sandy Areas other than Beaches
	74 Bare Exposed Rock
	75 Strip Mines Quarries, and Gravel Pits
	76 Transitional Areas
	77 Mixed Barren Land
8 Tundra	81 Shrub and Brush Tundra
	82 Herbaceous Tundra
	83 Bare Ground Tundra
	84 Wet Tundra
	85 Mixed Tundra
9 Perennial Snow or Ice	91 Perennial Snowfields
	92 Glaciers

Anexo C: Sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra (IBGE, 2013)

Sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra - SCUT			
Classe	Subclasse	Unidades	
1 - Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1 Áreas Urbanizadas	1.1.1 Vilas	
		1.1.2 Cidades	
		1.1.3 Complexos industriais	
		1.1.4 Áreas urbano-industrial	
		1.1.5 Outras áreas urbanizadas	
	1.2 Áreas de Mineração	1.2.1 Minerais metálicos	
		1.2.2 Minerais não metálicos	
2 - Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1 Culturas Temporárias	2.1.1 Graníferas e cerealíferas	
		2.1.2 Bulbos, raízes e tubérculos	
		2.1.3 Hortícolas e floríferas	
		2.1.4 Espécies temporárias produtoras de fibras	
		2.1.5 Oleaginosas temporárias	
		2.1.6 Frutíferas temporárias	
		2.1.7 Cana-de-açúcar	
		2.1.8 Fumo	
		2.1.9 Cultivos temporários diversificados	
		2.1.10 Outros cultivos temporários (abóbora, trevo forrageiro, etc.)	
	2.2 Culturas Permanentes	2.2.1 Frutíferas permanentes	
		2.2.2 Frutos secos permanentes	
		2.2.3 Espécies permanentes produtoras de fibras	
		2.2.4 Oleaginosas permanentes	
		2.2.5 Cultivos permanentes diversificados	
		2.2.6 Outros cultivos permanentes	
	2.3 Pastagens	2.3.1 Pecuária de animais de grande porte	
		2.3.2 Pecuária de animais de médio porte	
		2.3.3 Pecuária de animais de pequeno porte	
	2.4 Silvicultura	2.4.1 Reflorestamento	
		2.4.2 Cultivo agroflorestal	
	2.5 Uso não Identificado	2.5.1 Uso não identificado	
	3 - Áreas de Vegetação Natural	3.1 Área Florestal	3.1.1 Unidades de conservação de proteção integral em área florestal
			3.1.2 Unidades de conservação de uso sustentável em área florestal
			3.1.3 Terra indígena em área florestal
			3.1.4 Outras áreas protegidas em área florestal
			3.1.5 Área militar em área florestal
3.1.6 Extrativismo vegetal em área florestal			
3.1.7 Extrativismo animal em área florestal			
3.1.8 Uso não identificado em área florestal			
3.2 Área Campestre		3.2.1 Unidades de conservação de proteção integral em área campestre	
		3.2.2 Unidades de conservação de uso sustentável em área campestre	
		3.2.3 Terra indígena em área campestre	
		3.2.4 Outras áreas protegidas em área campestre	
		3.2.5 Área militar em área campestre	
		3.2.6 Extrativismo vegetal em área campestre	
		3.2.7 Extrativismo animal em área campestre	
		3.2.8 Uso não identificado em área campestre	
		3.2.9 Pecuária de animais de grande porte em área	

		campestre
		3.2.10 Pecuária de animais de médio porte em área campestre
		3.2.11 Pecuária de animais de pequeno porte em área campestre
4 - Água	4.1 Águas Continentais	4.1.1 Unidades de conservação de proteção integral em corpo d'água continental
		4.1.2 Unidades de conservação de uso sustentável em corpo d'água continental
		4.1.3 Terra indígena em corpo d'água continental
		4.1.4 Áreas militares em corpo d'água continental
		4.1.5 Outras áreas protegidas em corpo d'água continental
		4.1.6 Captação para abastecimento em corpo d'água continental
		4.1.7 Receptor de efluentes em corpo d'água continental
		4.1.8 Geração de energia em corpo d'água continental
		4.1.9 Transporte em corpo d'água continental
		4.1.10 Lazer e desporto em corpo d'água continental
		4.1.11 Pesca extrativa artesanal em corpo d'água continental
		4.1.12 Aquicultura em corpo d'água continental
		4.1.13 Uso não Identificado em corpo d'água continental
		4.1.14 Uso diversificado em corpo d'água continental
	4.2 Águas Costeiras	4.2.1 Unidades de conservação de proteção integral em corpo d'água costeiro
		4.2.2 Unidades de conservação de uso sustentável em corpo d'água costeiro
		4.2.3 Terra indígena em corpo d'água costeiro
		4.2.4 Áreas militares em corpo d'água costeiro
		4.2.5 Outras áreas protegidas em corpo d'água costeiro
		4.2.6 Captação para abastecimento em corpo d'água costeiro
		4.2.7 Receptor de efluentes em corpo d'água costeiro
		4.2.8 Geração de energia em corpo d'água costeiro
		4.2.9 Transporte em corpo d'água costeiro
		4.2.10 Lazer e desporto em corpo d'água costeiro
		4.2.11 Pesca extrativa artesanal em corpo d'água costeiro
		4.2.12 Pesca extrativa industrial em corpo d'água costeiro
		4.2.13 Aquicultura em corpo d'água costeiro
		4.2.14 Uso não identificado em corpo d'água costeiro
4.2.15 Uso diversificado em corpo d'água costeiro		
5 - Outras Áreas	5.1 Áreas Descobertas	5.1.1 Unidade de conservação de proteção integral em área descoberta
		5.1.2 Unidade de conservação de uso sustentável em área descoberta
		5.1.3 Terra indígena em área descoberta
		5.1.4 Outras áreas protegidas em área descoberta
		5.1.5 Áreas militares em área descoberta
		5.1.6 Extrativismo animal em área descoberta
		5.1.7 Uso não identificado em área descoberta
		5.1.8 Uso diversificado em área descoberta
		5.1.9 Pecuária de animais de médio porte em área descoberta
		5.1.10 Pecuária de animais de pequeno porte em área descoberta