

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



Dissertação

**Aplicação e comparação de metodologias de Fragilidade Ambiental para o
município de Pelotas/RS**

Solange Otte Nörnberg

Pelotas, 2019

Solange Otte Nörnberg

**Aplicação e comparação de metodologias de Fragilidade Ambiental para o
município de Pelotas/RS**

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

Orientador: Prof. Dr. Moisés Ortemar Rehbein

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

N111a Nörnberg, Solange Otte

Aplicação e comparação de metodologias de fragilidade ambiental para o município de Pelotas/RS / Solange Otte Nörnberg ; Moisés Ortemar Rehbein, orientador. — Pelotas, 2019.

145 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Usos e coberturas da terra. 2. Processos erosivos. 3. Planejamento ambiental. 4. Geoprocessamento. I. Rehbein, Moisés Ortemar, orient. II. Título.

CDD : 526.8

Solange Otte Nörnberg

Aplicação e comparação de metodologias de Fragilidade Ambiental para o município
de Pelotas/RS

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

Data da Defesa: 31/05/2019

Banca examinadora:

Prof. Dr. Moisés Ortemar Rehbein (Orientador)
Doutor em Geografia pela Universidade de São Paulo

Prof. Dra. Edvânia Aparecida Corrêa Alves
Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (Rio Claro)

Prof. Dra. Tais Kalil Rodrigues
Doutora em Geologia pela Universidade Federal da Bahia

**A Deus que sempre me deu coragem, força e
iluminou meus caminhos.**

Agradecimentos

Eis que chega o tão esperado momento de escrever os agradecimentos e um filme se passa na minha mente, os motivos de escolher o mestrado em Geografia na Universidade Federal de Pelotas, a aprovação na seleção, os dias de aula e agora reta final rumo à defesa dessa dissertação.

Elaborar um trabalho requer dedicação e esforço, que necessariamente não é só meu, contei e conto com o incentivo e apoio de várias pessoas nessa caminhada, muitas vezes cansativa. Agradeço a todos, especialmente:

À Deus, que se mostra presente em todas as etapas da minha vida, guiando os meus passos e me dando forças para nunca desistir mesmo nos momentos de fraqueza e nas horas de desânimo;

Aos meus pais, Neiva e Olmar que sempre incentivaram a continuação aos estudos;

Ao meu namorado Tiago pelo amor, dedicação, companheirismo e por todo apoio.

Às minhas tias Loiva, Miriam e Mara Beatriz, por oferecerem suas casas para me hospedar nos dias que necessitei ficar na cidade;

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pelo ensino de qualidade, estrutura oferecida e pela oportunidade de formação;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Moisés Rehbein, pela confiança, motivação e pelas boas conversas e orientações durante a pesquisa;

Ao Prof. Dr. Allan de Oliveira de Oliveira, pelas preciosas orientações nas ferramentas do programa de SIG;

Aos membros da Banca Examinadora, Prof. Dra. Edvânia Correa e Prof. Dra. Tais Rodrigues, pela disponibilidade de participação, contribuições e sugestões.

Aos colegas do mestrado, pelo carinho, amizade e pela troca de conhecimento e experiência;

E a todos aqueles que mesmo indiretamente torceram por mim, meu muito obrigada!

*“ A natureza criou o tapete sem fim que recobre a superfície terra.
Dentro da pelagem desse tapete vivem todos os animais
respeitosamente. Nenhum estraga, nenhum róí, exceto o homem”.*

Monteiro Lobato

Resumo

NÖRNBERG, S. O. **Aplicação e Comparação de Metodologias de Fragilidade Ambiental para o Município de Pelotas/RS**. 2019. 145f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

A exploração excessiva dos recursos naturais vem desenvolvendo diversos processos de degradação ambiental, a destacar a erosão dos solos. Os modelos metodológicos de análise da fragilidade ambiental surgiram para auxiliar na identificação de áreas suscetíveis a ocorrências de processos erosivos e auxiliar no planejamento territorial e ambiental. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo aplicar e comparar duas metodologias de análise da fragilidade ambiental consagradas na literatura, a de Ross (1994) e a de Crepani *et al.* (2001), que, a partir do conceito de Unidades Ecodinâmicas proposto por Tricart (1977), abordam o ambiente dentro de uma perspectiva sistêmica. A área de estudo é o município de Pelotas, localizado na porção sul do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 31° 50' 6" a 31° 16' 55" de latitude Sul e 51° 57' 33" a 52° 40' 24" de longitude Oeste. Para a elaboração do banco de dados digital e dos documentos cartográficos, utilizou-se dados de sensoriamento remoto e ferramentas computacionais de geoprocessamento. Os mapeamentos síntese de fragilidade ambiental apresentaram resultados divergentes devido as diferenças na operacionalização dos métodos, nas variáveis utilizadas e nos pesos atribuídos para cada uma das variáveis envolvidas. No mapeamento elaborado a partir da metodologia de Ross (1994), foram identificadas cinco classes de fragilidade: áreas com fragilidade muito fraca (0,85%), fraca (23,36%), média (44,02%), forte (19,43%), e muito forte (2,68%). No mapeamento gerado a partir da aplicação do modelo metodológico sugerido por Crepani *et al.* (2001), foram identificadas três classes de vulnerabilidade: áreas com vulnerabilidade moderadamente estável (6,14%), medianamente estável/vulnerável (50,04%) e moderadamente vulnerável (34,16%). Não foram identificadas as classes de áreas estáveis e vulneráveis. Na sobreposição dos mapeamentos sínteses e comparação entre as classes de mesmo nível hierárquico, constatou-se que 5,06% da área apresentou grau de fragilidade fraco e grau de vulnerabilidade moderadamente estável, 25,62% da área grau de fragilidade médio e grau de vulnerabilidade moderadamente estável/vulnerável e 0,49% da área grau de fragilidade forte e grau moderadamente vulnerável à perda de solo. A análise comparativa dos dois modelos de fragilidade, além de apontar áreas de maior fragilidade na área de estudo, poderá balizar futuras discussões sobre a formulação de uma proposta metodológica mais adequada às realidades ambientais regionais.

Palavras-chave: Usos e Coberturas da Terra; Processos Erosivos; Planejamento Ambiental; Geoprocessamento.

Abstract

NÖRNBERG, S. O. **Application and Comparison of Environmental Fragility Methodologies for the Municipality of Pelotas/RS**. 2019. 145f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

Excessive exploitation of natural resources has been developing several processes of environmental degradation, highlighting soil erosion. The methodological models of environmental fragility analysis have emerged to help identification of areas susceptible to occurrence of erosive processes and to assist in territorial and environmental planning. In this sense, the present paper had as objective to apply and to compare two methodologies of analysis of the environmental fragility consecrated in the literature, Ross's (1994) and Crepani's *et al.* (2001), which, based on the concept of Ecodynamic Units proposed by Tricart (1977), approach the environment from a systemic perspective. The area of study is the municipality of Pelotas, located in the southern portion of the state of Rio Grande do Sul, between the geographic coordinates 31° 50' 6" to 31° 16' 55" south latitude and 51° 57' 33" to 52° 40' 24" west longitude. For the elaboration of the digital database and cartographic documents, remote sensing data and computational geoprocessing tools were used. The environmental fragility synthesis mappings presented divergent results due to the differences in the operationalization of the methods, in the variables used and in the weights assigned to each of the variables involved. In the mapping developed using Ross's methodology (1994), five fragility classes were identified: areas with very weak fragility (0.85%), weak (23.36%), medium (44.02%), strong (19.43%) and very strong (2.68%). In the mapping generated from the application of the methodological model suggested by Crepani *et al.* (2001), three vulnerability classes were identified: areas with moderately stable vulnerability (6.14%), fairly stable/vulnerable (50.04%) and moderately vulnerable (34.16%). No classes of stable and vulnerable areas were identified. In the overlapping of the synthesis mappings and comparison between classes of same hierarchical level, 5.06% of the area showed a weak fragility degree and a moderately stable degree of vulnerability, 25.62% of the area of medium fragility and degree of vulnerability moderately stable/vulnerable and 0.49% of the area degree of strong fragility and degree moderately vulnerable to soil loss. The comparative analysis of the two models of fragility, besides pointing out areas of greater fragility in the study area, will be able to mark future discussions on the formulation of a methodological proposal more adequate to the regional environmental realities.

Key words: Uses and Land Coverages; Erosive Processes; Environmental Planning; Geoprocessing.

Lista de Figuras

Figura 1	Mapa de localização do município de Pelotas/RS.....	22
Figura 2	Regiões administrativas do município de Pelotas/RS.....	23
Figura 3	Regiões fitoecológicas no município de Pelotas/RS.....	24
Figura 4	Mapa hidrográfico do município de Pelotas/RS.....	26
Figura 5	Médias mensais e anual de precipitação (mm) da região de Pelotas/RS no período de 1971 a 2000.....	27
Figura 6	Variação das temperaturas (°C) médias mensais e anual da região de Pelotas/RS entre o período de 1971/2000.....	27
Figura 7	Variações mensais e anual da umidade relativa do ar (%) da região de Pelotas/RS entre o período de 1971/2000.....	28
Figura 8	Categorias de tratamento da informação espacial por geoprocessamento.....	43
Figura 9	Composição da imagem colorida falsa-cor da área de influência do município de Pelotas, obtido através das imagens Landsat 8 OLI com bandas 4, 5 e 6 associadas ao filtro azul, vermelho e verde, respectivamente.....	52
Figura 10	Modelo esquemático do cálculo da vulnerabilidade à perda de solo de uma unidade de paisagem.....	66
Figura 11	Percentual de população urbana e rural no município de Pelotas nos anos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.....	68
Figura 12	Mapa de uso e cobertura da terra do município de Pelotas/RS.....	74
Figura 13	Lavouras temporárias no município de Pelotas. a) Lavoura de fumo. b) Lavoura de soja.....	75
Figura 14	Áreas descobertas no município de Pelotas. a) Lavoura sendo preparada para plantio. b) Área desmatada.....	76
Figura 15	Floresta Estacional Semidecidual no município de Pelotas.....	76
Figura 16	Áreas campestres e pastagens no município de Pelotas - a) Campo utilizado para a criação de equinos. b) Pastagem	

	plantada.....	77
Figura 17	Corpos d'água no município de Pelotas. a) Açude localizado em uma propriedade rural. b) Reservatório Santa Bárbara.....	78
Figura 18	Área urbanizada - a) Rua Andrade Neves - b) Avenida Dom Joaquim.....	79
Figura 19	Áreas úmidas no município de Pelotas - a) Áreas úmidas próximas ao Canal São Gonçalo, entre o Arroio Santa Bárbara em 1º plano e o Arroio Fragata em 2º plano; b) Área úmida e sua vegetação característica próximo à localidade do Barro Duro.....	79
Figura 20	Área de silvicultura no município de Pelotas.....	80
Figura 21	Distribuição das classes de fragilidade dos tipos de usos e coberturas da terra.....	82
Figura 22	Distribuição das classes de vulnerabilidade dos tipos de usos e coberturas da terra.....	83
Figura 23	Mapa hipsométrico do município de Pelotas/RS.....	85
Figura 24	Distribuição das classes de vulnerabilidade hipsométrica.....	87
Figura 25	Mapa clinográfico do município de Pelotas/RS (classes clinográficas propostas por Ross (1994)).....	88
Figura 26	Distribuição das classes de fragilidade clinográfica.....	90
Figura 27	Mapa clinográfico do município de Pelotas/RS (classes clinográficas propostas por Crepani <i>et al.</i> (2001)).....	91
Figura 28	Distribuição das classes de vulnerabilidade clinográfica.....	93
Figura 29	Compartimentação das Unidades Morfoesculturais do Estado do Rio Grande do Sul.....	93
Figura 30	Mapa geológico do município de Pelotas/RS.....	95
Figura 31	Distribuição das classes de vulnerabilidade das unidades geológicas.....	99
Figura 32	Mapa geomorfológico do município de Pelotas/RS.....	100
Figura 33	Distribuição das classes de vulnerabilidade das unidades geomorfológicas.....	103
Figura 34	Mapa de solos do município de Pelotas/RS.....	106
Figura 35	Distribuição das classes de fragilidade dos solos.....	112

Figura 36	Distribuição das classes de vulnerabilidade dos solos.....	114
Figura 37	Mapas utilizados para a geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de Pelotas/RS.....	116
Figura 38	Mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas/RS....	118
Figura 39	Mapas utilizados para a geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo do fator geomorfologia.....	122
Figura 40	Mapas utilizados para a geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de Pelotas/RS.....	123
Figura 41	Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo do município de Pelotas/RS.....	124
Figura 42	Comparação entre as metodologias de análise da Fragilidade Ambiental.....	129

Lista de Tabelas

Tabela 1	Soma dos valores e definição das classes de Fragilidade Ambiental.....	59
Tabela 2	Qualidade da classificação em relação ao valor Kappa.....	72
Tabela 3	Matriz de Erros: bandas do sensor LANDSAT - OLI.....	73
Tabela 4	Classes referentes ao uso e cobertura da terra e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas para o mês de agosto de 2017.....	75
Tabela 5	Relação das classes de altitudes e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.....	86
Tabela 6	Relação das classes de declividade e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.....	89
Tabela 7	Relação das classes de declividade propostas por Crepani <i>et al.</i> (2001) e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.....	92
Tabela 8	Relação das unidades geológicas e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.....	96
Tabela 9	Distribuição das unidades geomorfológicas no município de Pelotas/RS.....	101
Tabela 10	Relação das classes de solos e respectivas área ocupadas na área de estudo.....	107
Tabela 11	Graus de fragilidade dos tipos de solos no município de Pelotas e áreas correspondentes.....	112
Tabela 12	Graus de vulnerabilidade dos tipos de solos no município de Pelotas e áreas correspondentes.....	113-114
Tabela 13	Classes de fragilidade ambiental em Pelotas.....	119
Tabela 14	Área das classes de vulnerabilidade à perda de solo em Pelotas.....	125
Tabela 15	Porcentagem do grau de Fragilidade Ambiental para as duas metodologias analisadas.....	128

Lista de Quadros

Quadro 1	Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas	41
Quadro 2	Correlação das classes de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à erosão.....	41
Quadro 3	Classes hipsométricas propostas por Crepani <i>et al.</i> (2001)....	48
Quadro 4	Classes clinográficas propostas por Ross (1994) e Crepani <i>et al.</i> (2001).....	49
Quadro 5	Chave de interpretação desenvolvida para a definição das áreas de treinamento.....	53-54
Quadro 6	Grau de fragilidade das classes de solos.....	57
Quadro 7	Classes de fragilidade para o tema declividade do terreno.....	57
Quadro 8	Grau de proteção das classes de uso e cobertura da terra.....	58
Quadro 9	Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.....	60
Quadro 10	Escala de Vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.....	61
Quadro 11	Valores de vulnerabilidade para as unidades geomorfológicas.....	61-62
Quadro 12	Valores de vulnerabilidade para a hipsometria.....	62
Quadro 13	Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas..	62
Quadro 14	Valores de Vulnerabilidade/estabilidade dos solos.....	63-64
Quadro 15	Vulnerabilidade/estabilidade para as classes de uso e cobertura da terra.....	64-65
Quadro 16	Censo populacional do município de Pelotas/RS referente aos anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.....	67-68
Quadro 17	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município de Pelotas.....	70
Quadro 18	Produção em hectares (ha) e toneladas (t) de produtos agrícolas do município de Pelotas/RS no ano de 2014.....	70-71
Quadro 19	Pecuária em Pelotas.....	71
Quadro 20	Fragilidade das classes de uso e cobertura da	

	terra.....	81
Quadro 21	Vulnerabilidade das classes de uso e cobertura da terra.....	82-83
Quadro 22	Correlação entre a classificação anterior e a atual de solos do município de Pelotas/RS.....	105
Quadro 23	Variáveis utilizadas em cada procedimento técnico- operacional.....	126-127

Lista de Abreviaturas e Siglas

CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DGI	Divisão de Geração de Imagem
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRG	Escudo Sul-Rio-Grandense
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IAV	Índice de Área Verde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITEPA	Instituto Técnico de Pesquisa e Assessoria
ka	Mil anos
km	Quilômetros
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MAXVER	Máxima Verissimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
MNT	Modelo Numérico do Terreno
N	Norte
NE	Nordeste
NO	Noroeste
OLI	<i>Operation Land Imager</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PCRS	Planície Costeira do Rio Grande do Sul
PDI	Processamento Digital de Imagens
PI	Plano de Informação
PIB	Produto Interno Bruto
Pixel	Picture and Element
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PPGeo	Programa de Pós-Graduação em Geografia
RADAM	Radar na Amazônia
RS	Rio Grande do Sul
SE	Sudeste
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
SO	Sudoeste
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UCPEL	Universidade Católica de Pelotas
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
UTB	Unidade Territorial Básica
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

Sumário

1 Introdução	19
1.1 Localização e caracterização da área de estudo	21
1.2 Objetivos	29
1.2.1 Objetivo geral.....	29
1.2.2 Objetivos específicos	29
1.3 Justificativa.....	30
2 Referencial teórico e metodológico.....	31
2.1 Equilíbrio dinâmico, processos erosivos e modelos de fragilidade ambiental ..	31
2.2 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto como subsídio aos estudos de fragilidade ambiental	42
3 Procedimentos metodológicos e operacionais	46
3.1 Materiais e Métodos.....	46
3.1.1 Base cartográfica	47
3.1.2 Mapa hipsométrico.....	47
3.1.3 Mapas clinográficos	48
3.1.4 Geologia.....	49
3.1.5 Geomorfologia.....	50
3.1.6 Solos	50
3.1.7 Análise e mapeamento do uso e cobertura da terra	51
3.1.8 Avaliação da Fragilidade Ambiental, conforme a proposta de Ross (1994) ..	56
3.1.9 Avaliação da Fragilidade Ambiental, conforme a proposta de Crepani <i>et al.</i> (2001).....	59
4 Caracterização populacional, socioeconômica e uso da terra no município de Pelotas.....	67
4.1 Caracterização populacional e socioeconômica do município de Pelotas	67
4.2 Análise do uso e cobertura da terra	72
5 Caracterização, mapeamento e fragilidades de elementos do meio físico do município de Pelotas.....	84
5.1 Mapa hipsométrico.....	84
5.2 Mapas clinográficos	87
5.3 Geologia.....	93

5.4 Geomorfologia.....	99
5.5 Solos	103
5.5.1 Tipos de solos encontrados no município de Pelotas	104
6 Mapeamento da fragilidade ambiental do município de Pelotas.....	115
6.1 Mapeamento da fragilidade ambiental baseado no modelo de Ross (1994)..	115
6.2 Mapeamento da fragilidade ambiental baseado no modelo de Crepani <i>et al.</i> (2001).....	120
6.3 Comparação entre os mapeamentos	126
7 Considerações finais	132
8 Referências	135

1 Introdução

Os seres humanos, ao longo de sua existência, não pouparam esforços para se apropriar da natureza e de todos os recursos nela disponíveis, transformando o meio natural em consequência dos modelos de consumos atuais, utilizando-o, principalmente, como meio financeiro e não apenas como um sistema que assegure a sua sobrevivência. Essa intervenção, cada vez mais intensa na apropriação dos recursos naturais, ocasiona, segundo Spörl (2007), o rompimento do estado de equilíbrio dinâmico dos ambientes naturais e, conseqüentemente, causa significativas alterações na paisagem num ritmo mais intenso que o determinado pela natureza.

Ross (1994) associa esse avanço na exploração dos recursos naturais com o complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas nos dois últimos séculos. Isso promoveu um rápido crescimento demográfico, pois houve a redução dos índices de mortalidade, mas não a redução ao mesmo nível dos índices de natalidade. Em consequência disso, a busca por recursos naturais foi ampliada, assim como a tecnificação e a sofisticação dos padrões socioculturais. Esse autor pressupõe que:

A crescente industrialização concentrada em cidades, a mecanização da agricultura em sistemas de monocultura, a generalizada implantação de pastagens, a intensa exploração de recursos energéticos e matérias-primas como o carvão mineral, petróleo, recursos hídricos, minérios, tem alterado de modo irreversível o cenário da Terra e levado com frequência a processos degenerativos profundos da natureza (ROSS, 1994, p. 63).

De acordo com Spörl e Ross (2004), qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) estimula o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado

de equilíbrio dinâmico. Esses ambientes, estando em desequilíbrio, tornam-se frágeis e suscetíveis a processos de degradação que modificam os componentes físicos do meio. Em virtude disso, geralmente ocorre a perda da biodiversidade em diferentes graus de intensidade e também da qualidade de vida devido às alterações ambientais causadas por ações antrópicas ou naturais. Deste modo, segundo Spörl (2007), é imprescindível que as inserções antrópicas na natureza sejam realizadas de maneira compatível com a potencialidade dos recursos naturais de um lado e com a fragilidade dos ambientes de outro.

Posto isto, os estudos relativos à fragilidade dos ambientes vêm se demonstrando fundamentais, pois possuem como principal preocupação o desenvolvimento sustentado, no qual a conservação e a recuperação ambiental andam juntos com o desenvolvimento tecnológico, econômico e social (SPÖRL, 2001). Estes estudos visam identificar as áreas suscetíveis a ocorrência de processos erosivos, considerados como um dos processos de degradação ambiental mais conhecidos, e se constituem como um dos principais instrumentos utilizados pelos órgãos públicos no planejamento territorial ambiental (SPÖRL, 2007).

A degradação dos solos através da erosão faz com que sejam perdidas toneladas de camada agricultável do solo todos os anos, inviabilizando, principalmente, atividades agrícolas. Segundo os dados da FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) publicados no ano de 2011, de todo os solos do planeta, 25% encontram-se degradados, colocando em risco os sistemas de produção e a qualidade dos recursos hídricos (FAO, 2011).

Nos dias de hoje, em torno de 1,6 milhões de hectares dos melhores e mais produtivos solos do mundo são utilizados para o cultivo (FAO, 2011). Porém, o manejo inadequado do solo pelo uso de maquinários pesados causa a sua compactação, dificultando a penetração das raízes das plantas e a infiltração das águas pluviais que escoam para os corpos d'água carregadas de partículas, ocasionando danos erosivos e assoreamento, afetando a qualidade dos cursos fluviais (ROSS, 1994).

Nesse sentido, os modelos qualitativos empíricos utilizados na análise da fragilidade ambiental auxiliam a evitar a ocorrência dos processos de erosão no solo, pois possuem o objetivo de avaliar o fenômeno da erosão no que tange à sua origem, evolução, condicionantes e mecanismos que as fazem surgir e que atuam no seu desenvolvimento (SPÖRL, 2007). Através da inter-relação entre as variáveis

ambientais (relevo, solos e uso e cobertura da terra), os modelos metodológicos direcionados ao estudo da fragilidade ambiental resultam em mapeamentos síntese, nos quais a área em estudo é classificada de acordo com uma escala de fragilidade ambiental.

Tomando como base o exposto, o presente estudo possui como objetivo mapear as fragilidades da área de estudo que corresponde ao município de Pelotas (RS), através da aplicação de dois modelos metodológicos qualitativos de análise da fragilidade ambiental: o modelo proposto por Ross (1994) e aquele proposto por Crepani *et al.* (2001), ambos com algumas adaptações para a área de estudo. Após o mapeamento serão comparadas as semelhanças e divergências entre os modelos.

Este estudo é desenvolvido mediante a aplicação de técnicas de geoprocessamento, consideradas ferramentas primordiais em estudos ambientais, pois proporcionam maior agilidade no processamento e atualização de dados. E, também, mediando o uso de dados de sensoriamento remoto, os quais constituem-se atualmente como uma das principais fontes geradoras de informações e alimentam banco de dados geográficos integrados em um sistema de informação geográfica (SIG) que auxiliam nas análises da fragilidade (BACANI *et al.*, 2015).

1.1 Localização e caracterização da área de estudo

O município de Pelotas encontra-se localizado no extremo sul do Brasil, na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 31° 50' 6" a 31° 16' 55" de latitude sul e 51° 57' 33" a 52° 40' 24" de longitude oeste, conforme ilustrado na figura 1.

A área territorial pelotense, segundo o IBGE (2010), é de 1.610,084km², tendo divisa com os municípios de Morro Redondo e Canguçu a oeste, São Lourenço do Sul e Turuçu ao norte e Capão do Leão e Rio Grande ao sul. Uma característica peculiar da formação territorial de Pelotas é apresentar o município de Arroio do Padre, ex-distrito pelotense emancipado no ano de 1997, como enclave.

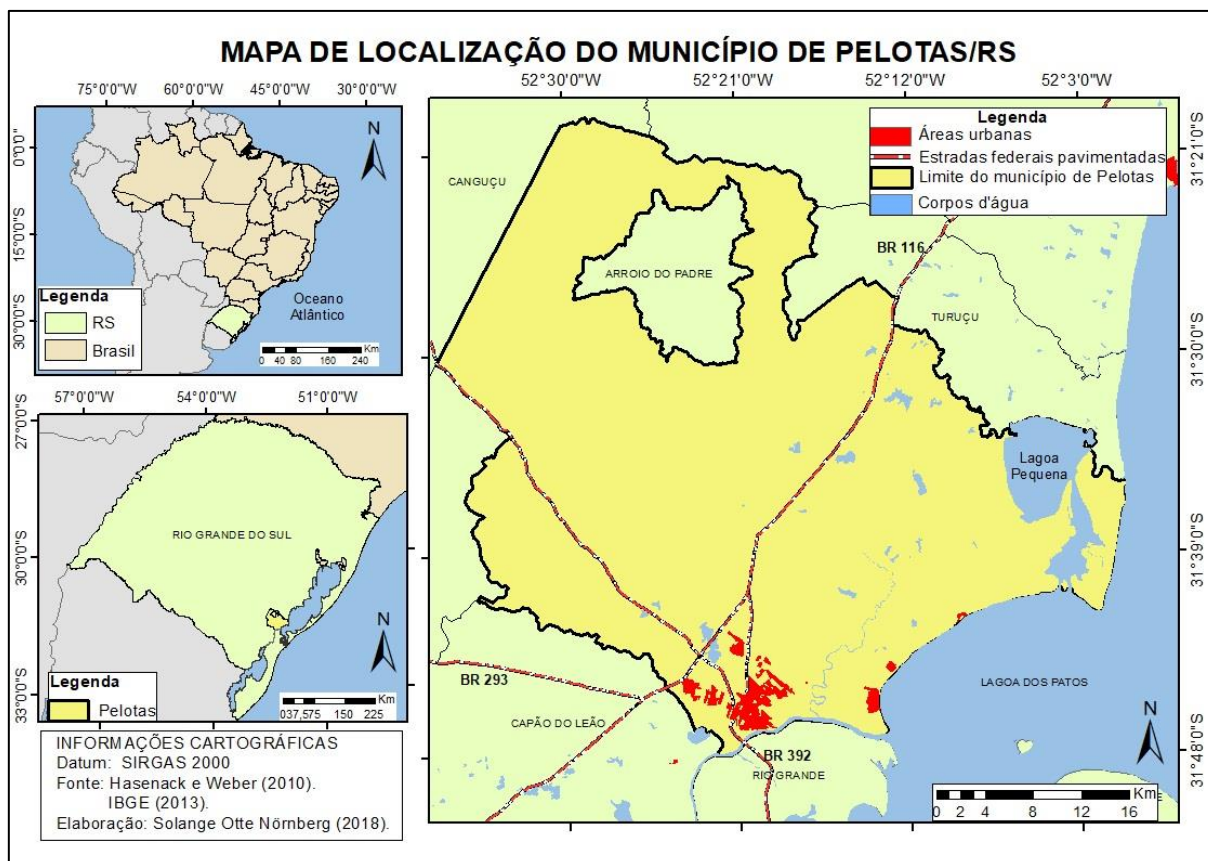


Figura 1 – Mapa de localização do município de Pelotas/RS.
Elaboração: AUTORA, 2018.

O acesso ao município de Pelotas se dá por duas rodovias principais: a BR116, através dos municípios limítrofes de Turuçu e Capão do Leão, e a BR392, através de Rio Grande e Canguçu.

Segundo o plano diretor vigente no município, Pelotas está atualmente dividida em sete regiões administrativas urbanas e nove rurais (distritos). As regiões administrativas urbanas são: Areal e Laranjal na zona leste, Barragem e Fragata na zona oeste, Centro na zona central, Porto na zona sul e Três vendas na zona norte. Já as regiões administrativas rurais (distritos) são: 1º Distrito - Sede ou Área Urbana; 2º Distrito – Colônia Z3; 3º Distrito – Cerrito Alegre; 4º Distrito – Triunfo; 5º Distrito – Cascata; 6º Distrito – Santa Silvana; 7º Distrito – Quilombo; 8º Distrito - Rincão da Cruz; e 9º Distrito – Monte Bonito (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2007). A figura 2 apresenta a localização dos distritos em Pelotas.

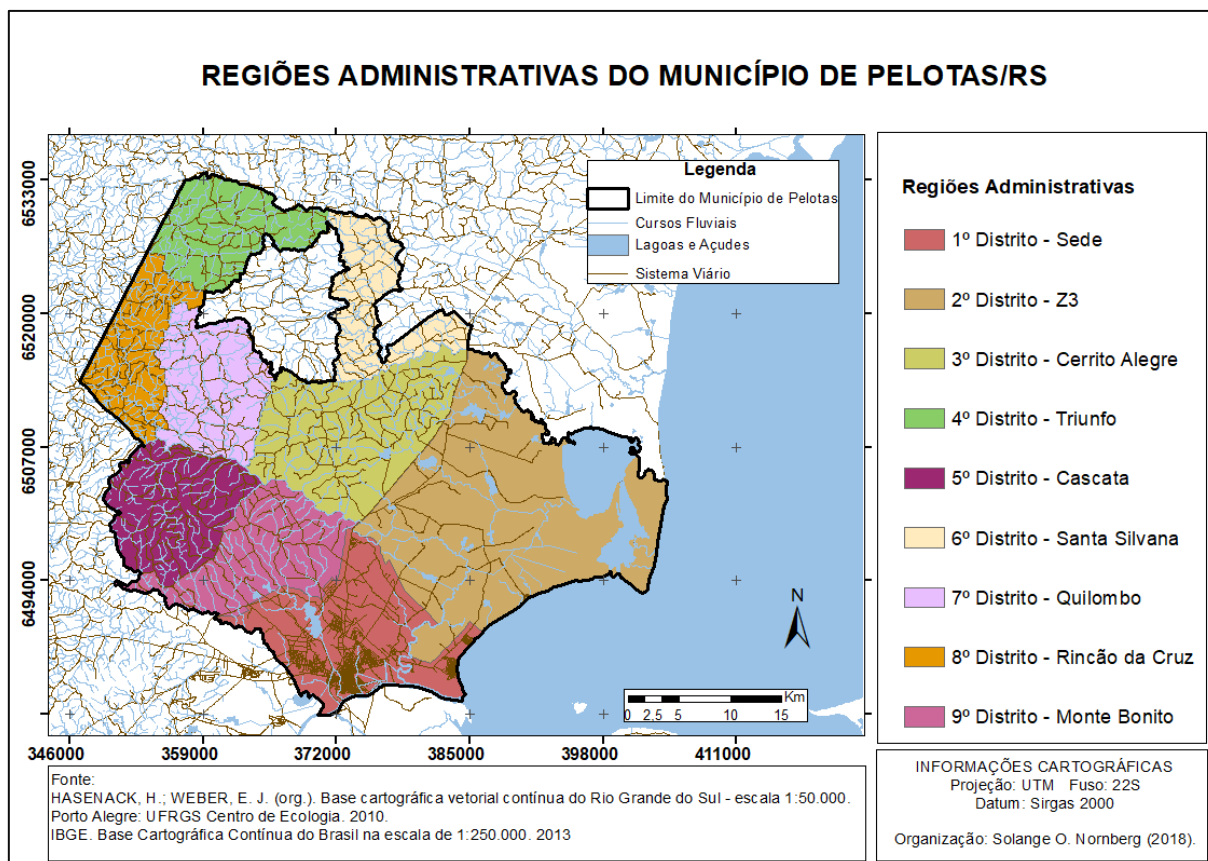


Figura 2 – Regiões administrativas do município de Pelotas/RS.

Fonte: IBGE, 2013.

Organização: AUTORA, 2018.

No contexto das características físicas, a área de estudo situa-se sobre duas unidades morfoesculturais, na porção sudeste a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) e na porção noroeste o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG). A ocorrência dessas duas unidades no município se caracteriza pela transição de tipos de relevo de planícies à morros e variação de altitudes de 01 metro, na área de influência da PCRS, até 398 metros, na área de influência do ESRG (DUTRA, 2016).

Em relação à vegetação, o município de Pelotas apresenta três regiões fitoecológicas (Figura 3): na porção noroeste a Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifolia), na porção leste e oeste a formação Estepe (campos do sul do Brasil) e na porção sudeste as Formações Pioneiras (IBGE, 2003a).

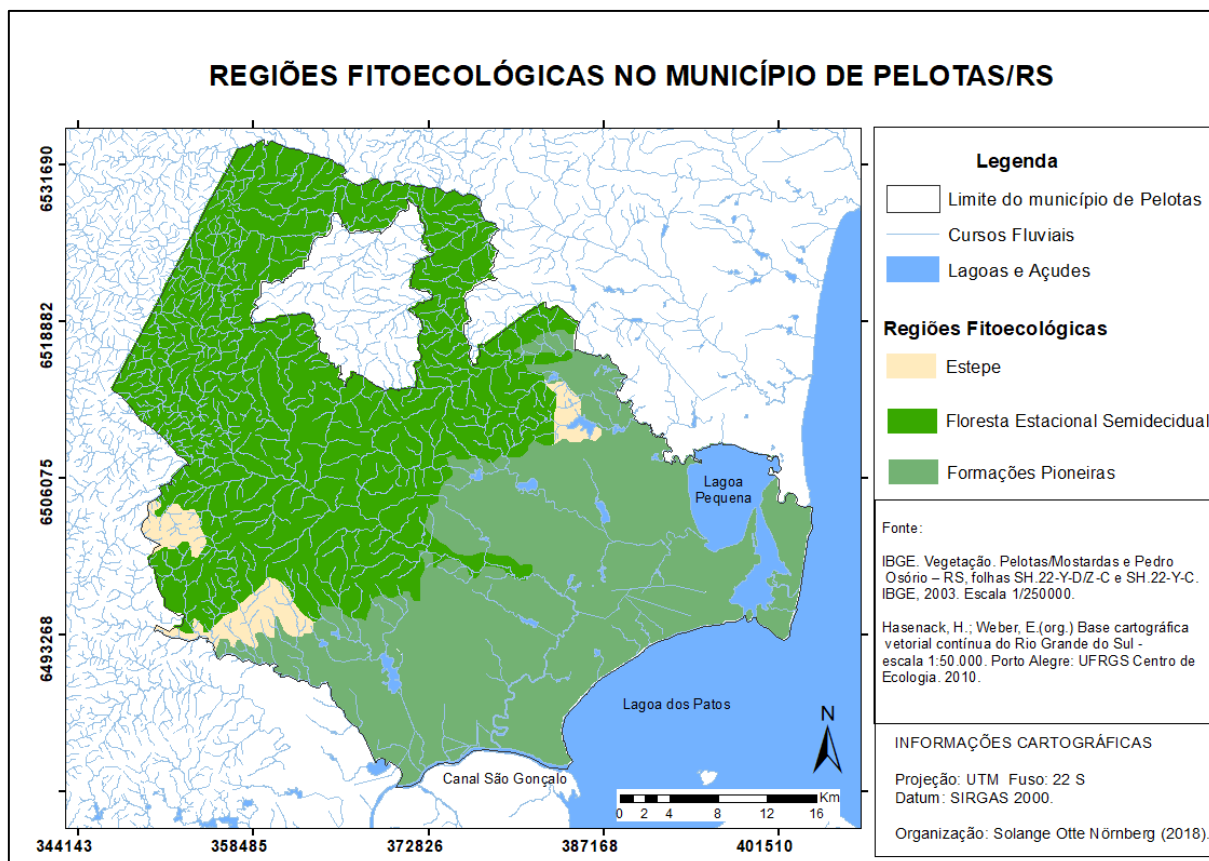


Figura 3 – Regiões fitoecológicas no município de Pelotas/RS.

Fonte: IBGE, 2003a; HASENACK; WEBER, 2010.

Organização: AUTORA, 2018.

Uma região fitoecológica, segundo o IBGE (2012), compreende um conjunto geológico de importância regional que foi submetido aos mesmos processos geomorfológicos, sob um clima também regional e que, como consequência disso, sustenta um mesmo tipo de vegetação.

A principal característica ecológica da vegetação da Floresta Estacional Semidual é a dupla estacionalidade climática representada no estado do Rio Grande do Sul pela chamada seca fisiológica provocada pela queda acentuada da temperatura no inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C (BIODIVERSIDADE DO RS, 2018). Nessa região fitoecológica, segundo Filho (2018), são verificadas formações vegetais que ocorrem em ambientes menos úmidos, com um porte em torno de 20 metros (estrato mais alto) e, no período mais seco do ano, apresentam uma razoável perda de folhas. No município de Pelotas, a Floresta Estacional Semidecidual compreende as formações aluvial e submontanha (IBGE, 2003a).

Na região da Estepe em Pelotas, são verificados campos Gramíneo-Lenhosos com floresta de galeria, em que predominam hemicriptófitos, geófitas e terófitas dos gêneros *Stipia*, *Paspalum* e *Oxalis* (IBGE, 2003a).

As Formações Pioneiras são verificadas nas planícies costeiras, onde há o predomínio de depósitos sedimentares coluviais, lagunares e eólicos do Quartenário. Em Pelotas, na área de influência dessa região fitoecológica, são verificadas vegetação com influência marinha (restinga), com influência fluvial e/ou lacustre herbácea sem palmeira e vegetação com influência fluvial e/ou lacustre arbustiva (IBGE, 2003a).

Quanto à hidrografia, o município de Pelotas apresenta importantes recursos hídricos, a destacar a Lagoa Pequena com 43,83Km² e o Canal São Gonçalo, que liga duas das maiores lagoas do Brasil: a Lagoa dos Patos¹ com 10.144Km² e a lagoa Mirim com 2.966Km². Isso confere ao município uma posição hidrográfica muito favorável, pois as lagoas e o canal asseguram o abastecimento de água à população, às indústrias e atividades agropecuárias.

Na figura 4 apresenta-se o mapa hidrográfico do município de Pelotas. Como pode-se observar, os fluxos d'água drenam das áreas mais altas do município e concentram-se, principalmente, nos cursos fluviais dos arroios Pelotas, Santa Bárbara, Contagem, Fragata e do arroio Corrientes. Os arroios Contagem e Corrientes desembocam na Lagoa Pequena e os arroios Santa Bárbara e o Pelotas desaguam no canal São Gonçalo.

Em consequência da variação do relevo da área de influência do ESRG para a PCRS, verifica-se duas regiões bem distintas em Pelotas. Da região norte para o centro do município há uma considerável quantidade de cursos fluviais, os quais são de pequena extensão e de pequeno volume d'água. Já na porção sul os cursos fluviais são poucos, porém, com maior extensão e volume d'água, a destacar o arroio Pelotas com extensão de 60Km.

¹ No caso do município de Pelotas, o termo lagoa é entendido como toponônimo de laguna. De acordo com Guerra (1993, p. 256), laguna é considerada uma “depressão contendo água salobra ou salgada, localizada na borda litorânea”.

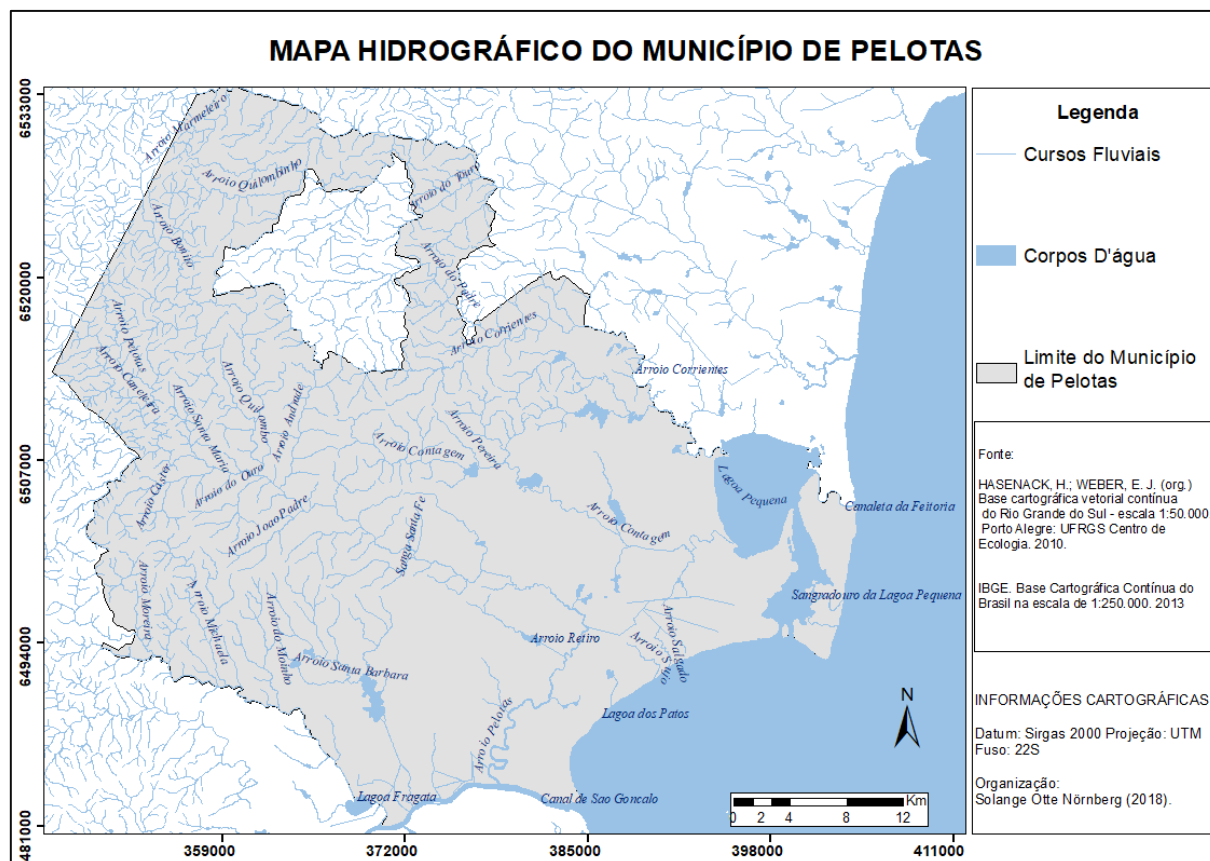


Figura 4 – Mapa hidrográfico do município de Pelotas/RS.

Fonte: IBGE, 2003; HASENACK; WEBER, 2010.

Organização: AUTORA, 2018.

O clima do município de Pelotas, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como subtropical úmido (Cfa), o que compreende ao tipo climático temperado (C), com chuvas durante todos os meses do longo do ano (f) e verões amenos (a). Este tipo climático apresenta, para o mês mais quente, temperatura média superior a 22°C e, para o mês mais frio, temperatura média superior a 3°C (Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul – SEMA - RS/UFSM, 2001).

Analisando os dados da Estação Agroclimatológica de Capão do Leão/RS – Embrapa/UFPEL/INMET (Figura 5), observa-se que a média mensal da precipitação pluviométrica para a região do município de Pelotas é de 113,92mm, sendo os meses mais chuvosos fevereiro, julho e setembro, com 153mm, 146mm e 123,7mm respectivamente. O mês que possui a menor média de precipitação é março, alcançando 97,4mm de média. A média anual do período analisado (1971 a 2000) é de 1366,9mm.

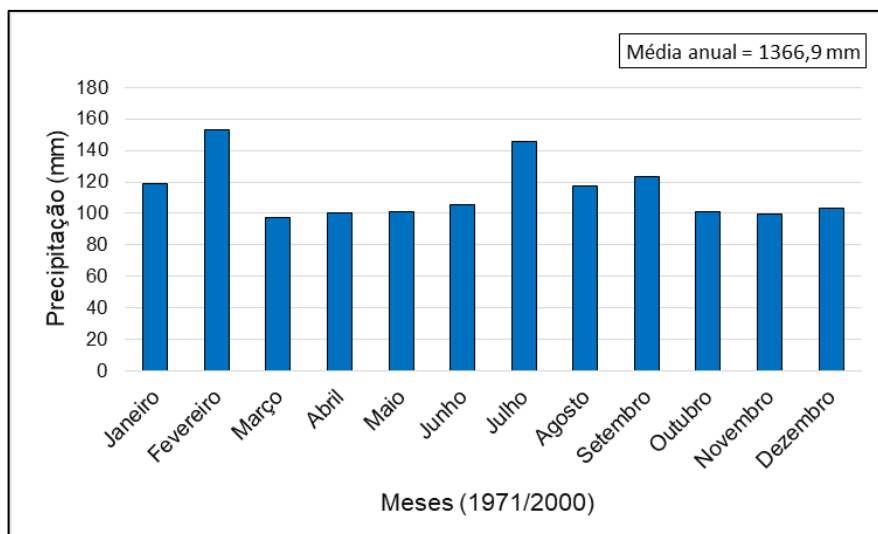


Figura 5 – Médias mensais e anual de precipitação (mm) da região de Pelotas/RS no período de 1971 a 2000.

Fonte: EMBRAPA/UFPeI/INMET, 2016.

Organização: AUTORA, 2018.

Nos dados referentes à temperatura da área de estudo, observa-se que a média anual é de 17,8°C, variando de 12,3°C no mês de julho a 23,2°C no mês de fevereiro. Os meses mais quentes são de novembro a abril e os meses mais frios são de maio a setembro. Na figura 6, as médias mensais de temperatura são melhor visualizadas.

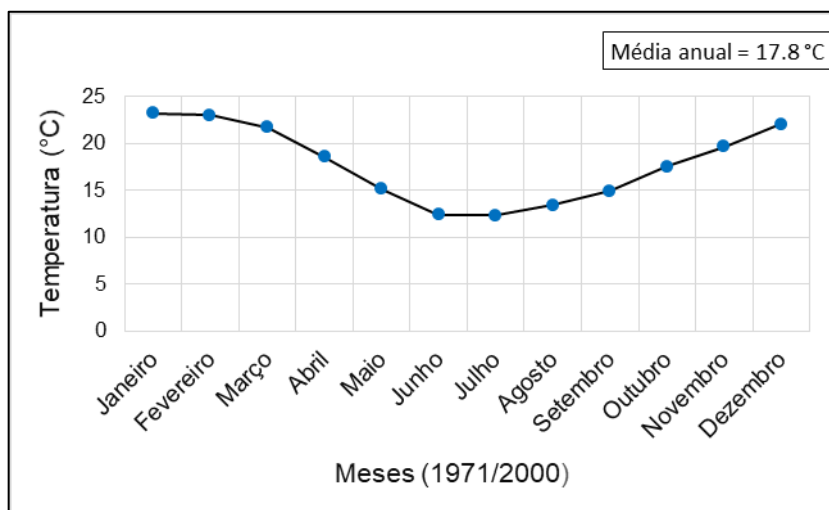


Figura 6 – Variação das temperaturas (°C) médias mensais e anual da região de Pelotas/RS entre o período de 1971/2000.

Fonte: EMBRAPA/UFPeI/INMET, 2016.

Organização: AUTORA, 2018.

A umidade relativa do ar, no que diz respeito a sua média mensal, varia de 75,5% a 84,9%. A média anual de umidade relativa do ar é de 80,7%. Os meses que apresentam umidade relativa do ar mais elevada são maio (83,6%), junho (84%) e

julho (84,9%). E o mês que possui a menor umidade relativa do ar é dezembro (75,5%), conforme mostra a figura a seguir:

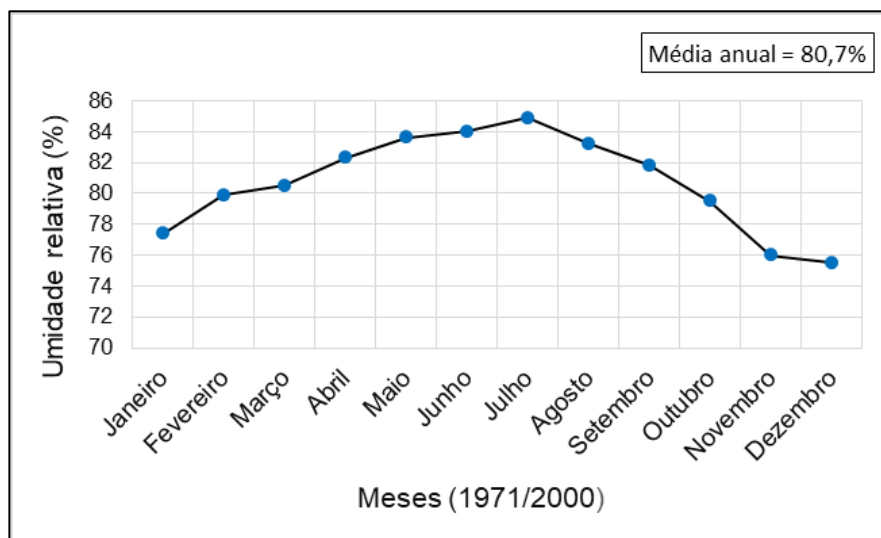


Figura 7 – Variações mensais e anual da umidade relativa do ar (%) da região de Pelotas/RS entre o período de 1971/2000.

Fonte: EMBRAPA/UFPeI/INMET, 2016.

Organização: AUTORA, 2018.

Eventualmente, acontece algum evento climático fora da normalidade em Pelotas. Estes são eventos que podem ou não ser influenciados por fenômenos de escala global, como: El Niño, decorrente do aquecimento das águas do oceano Pacífico que causa fortes chuvas e enchentes na região Sul do Brasil; ou o fenômeno conhecido como La Niña, que ocorre aproximadamente a cada quatro anos, ao inverso do fenômeno El Niño, este é ocasionado pelo resfriamento das águas do oceano Pacífico, resultando em estiagens na região sul do país (MEGIATO, 2011).

No dia 29 de janeiro do ano de 2009, segundo Megiato (2011), algumas estações meteorológicas da zona rural do município de Pelotas chegaram a registrar cerca de 600mm de chuva em 24 horas. Já o Laboratório de Agrometeorologia situado na sede da Embrapa Clima Temperado em Pelotas (latitude 31° 42' S, longitude 52° 24' O) registrou 464,1mm de chuva nesta data.

Devido às enxurradas ocasionadas por esse evento, foram registrados, tanto na zona urbana quanto na zona rural de Pelotas, vários pontos em situação de emergência devido as enxurradas violentas. Na zona rural, matas ciliares foram suprimidas e observou-se notório aprofundamento de talvegues em diversas seções fluviais, assim como estruturas em pontes foram danificadas (MEGIATO, 2011). Segundo Dutra (2016), eventos extremos como este costumam desencadear

processos erosivos. Estes processos são intensificados quando o relevo apresenta altas declividades, pouca cobertura vegetal, solos desnudos compactados ou em preparos agrícolas sem adequados manejos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é aplicar e estabelecer uma comparação, enquanto semelhanças e divergências, entre dois modelos metodológicos de análise da fragilidade ambiental, o de Ross (1994) e o de Crepani *et al.* (2001), para o município de Pelotas. O emprego desses dois modelos resultará em dois mapas diferenciados de análise da fragilidade, através dos quais seus produtos cartográficos trazem elementos para planos de ordenamento territorial e ambiental na área de estudo.

1.2.2 Objetivos específicos

Para cumprir o objetivo geral definido no estudo, foi necessário a realização de alguns objetivos específicos:

- Realizar a compilação teórica e cartográfica das classes de solos, geologia e geomorfologia do município de Pelotas;
- Obter informações espaciais recentes sobre o uso e cobertura da terra do município de Pelotas;
- Identificar as características socioeconômicas da área de estudo como auxílio ao mapeamento de usos e coberturas da terra;
- Gerar os mapas de fragilidade ambiental seguindo as propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001);

- Analisar as semelhanças e diferenças entre os modelos e destacar as áreas que apresentam um elevado grau de fragilidade.

1.3 Justificativa

Os motivos que levaram a escolha do município de Pelotas devem-se ao fato desse município possuir um importante sistema hidrológico, uma grande variabilidade de relevo, importantes características socioeconômicas e diversos usos e coberturas da terra, cujas interações são capazes de transformar as dinâmicas ambientais.

Diante desses motivos, torna-se fundamental a avaliação da fragilidade e potencialidade dos ambientes que compõem a área de estudo. Por meio dos mapas sínteses de fragilidade ambiental elaborados através da aplicação dos modelos metodológicos de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001), é possível adquirir conhecimento sobre as áreas de maior fragilidade, as quais são mais suscetíveis à instalação de processos erosivos e devem ser utilizadas com limitações. Também pode-se conhecer as áreas de potencialidades e de menor fragilidade em Pelotas, as quais poderão ser aproveitadas adequadamente pela agricultura e pelo desenvolvimento das atividades econômicas. Assim, estes mapeamentos podem auxiliar na ordenação e ocupação territorial do município de Pelotas.

De acordo com Spörl (2007), esses mapeamentos da fragilidade ambiental são considerados como uma das principais ferramentas utilizadas na elaboração do planejamento territorial ambiental, pois têm como finalidade identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de fragilidade, mostrando o comportamento do terreno quanto às respostas dos processos erosivos e apontando áreas de maior e menor grau de fragilidade. Ainda segundo a autora, o estudo da fragilidade ambiental é fundamental para se compreender a dinâmica do sistema e as conseqüentes transformações, definindo ações prioritárias e assegurando a qualidade dos recursos hídricos, do solo e a conservação da biodiversidade.

Assim sendo, este estudo será realizado na área do município de Pelotas, pois desse modo facilitará o planejamento, dando maior aplicabilidade para os órgãos públicos desse município e outras entidades públicas do Rio Grande do Sul.

2 Referencial teórico e metodológico

Neste capítulo são abordadas questões ligadas as dinâmicas naturais e aos modelos de fragilidade ambiental, tais como: a inter-relação e a dinâmica dos componentes que formam o estrato geográfico da Terra, as intervenções antrópicas que ocasionam a ruptura do equilíbrio dinâmico, os processos erosivos, os modelos metodológicos de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) direcionados à análise e diferentes graus de fragilidade ambiental. Também é abordada a importância do uso das tecnologias de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto nos estudos da fragilidade dos ambientes.

2.1 Equilíbrio dinâmico, processos erosivos e modelos de fragilidade ambiental

Neste estudo, almeja-se realizar uma análise ambiental fazendo uso da abordagem sistêmica, na qual se busca a compreensão integrada das relações que ocorrem entre o meio ambiente físico e os processos antrópicos atuantes na área de estudo.

O Estrato Geográfico da Terra, de acordo com Grigoriev (1976 apud Spörl, 2001), é formado pela crosta terrestre, hidrosfera, troposfera, cobertura vegetal e reino animal, que em conjunto determinam os ambientes nos quais vivemos. Esses fatores, unidos, compõem o estrato geográfico e se encontram fortemente

interligados. Assim sendo, neste trabalho, serão estudados os componentes do estrato geográfico unidos, e não isoladamente.

As distintas interações e associações entre os componentes do estrato geográfico definem os ambientes que possuem uma dinâmica própria e o seu estudo é necessário para que essa relação seja melhor entendida, possibilitando que o espaço seja melhor planejado e os efeitos da degradação ambiental sejam minimizados.

A partir do momento em que o homem passa a interferir na natureza extraindo seus recursos, podem ser produzidas intensas e profundas modificações nos sistemas naturais, principalmente quando essas atividades não possuem um planejamento e não contabilizam os danos ambientais, promovendo, assim, a quebra automática do estado de equilíbrio dinâmico.

De acordo com Tricart (1977), um sistema é considerado como sendo um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos, no entanto, originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Devido a isso, o sistema apresenta propriedades que lhe são próprias e também diferentes da soma das propriedades dos seus componentes. Uma dessas propriedades é a dinâmica própria, exclusiva do sistema.

Perante a perspectiva sistêmica, o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais de um determinado sistema natural passa pelos levantamentos de todas as componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e do homem, ou seja, passa pelo levantamento dos solos, relevo, rochas e minerais, das águas, do clima e da flora e fauna. Para a análise da fragilidade, é necessário que esses conhecimentos setorializados sejam avaliados de modo integrado, calcado sempre no princípio de que na natureza a funcionalidade é intrínseca entre as componentes físicas, bióticas e socioeconômicas (GUERRA & CUNHA, 1966).

No entanto, para compreender a paisagem, é necessário considerar os aspectos naturais juntamente com o meio antrópico. Segundo Almeida (2014), o homem é o maior agente transformador da paisagem, sendo visto como elemento ativo que não pode ser descartado, tornando a análise mais ampla e completa. Para Bertrand (2004, p. 141):

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Sendo assim, as sociedades humanas devem ser vistas como parte fundamental desta dinâmica representada através dos fluxos energéticos que fazem o sistema funcionar como um todo, ou seja, não devem ser tratadas como elementos estranhos à natureza ou aos sistemas ambientais onde vivem. Entretanto, as progressivas alterações inseridas pelas sociedades humanas nos diferentes componentes comprometem a funcionalidade do sistema e com frequência induzem a graves processos degenerativos ao ambiente natural, em um primeiro momento, e à própria sociedade em prazos mais longos. Em função disso, é cada vez mais urgente que se faça inserções antrópicas compatíveis com a potencialidade dos recursos de um lado e com a fragilidade dos ambientes naturais de outro (ROSS, 1994).

Tricart (1977), no entanto, propôs um novo modo de ver a natureza e a sociedade no contexto do entendimento da abordagem integrada, partindo da identificação das unidades de paisagem que o autor denomina de Unidades Ecodinâmicas. Para esse autor, o conceito de Unidades Ecodinâmicas

[...] é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia / matéria no meio ambiente. Portanto, é completamente distinto do ponto de vista estático do inventário. Um inventário pode ser útil para a ordenação e administração do território, mas, somente quando se trata de recursos não renováveis, como os minerais. Não é adequado para os recursos ecológicos. Com efeito, a gestão dos recursos ecológicos deve ter por objetivo a avaliação do impacto da inserção da tecnologia humana no ecossistema. Isso significa determinar a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema, ou determinar quais as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação. Esse tipo de avaliação exige bom conhecimento do funcionamento do ecossistema, ou seja, dos fluxos de energia / matéria que o caracterizam. Um inventário não pode fornecê-los, exatamente como um único censo de população não permite definir a dinâmica dessa população (TRICART, 1977, p.32).

Na delimitação destas unidades ambientais é necessário considerar o ambiente em equilíbrio dinâmico como sendo estável, enquanto que o ambiente em desequilíbrio dinâmico é instável, em razão das frequentes intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Dessa maneira, levando em consideração o dinamismo das relações entre os elementos da paisagem e as intervenções antrópicas, Tricart (1977) distinguiu os meios tidos como unidades ambientais em três grandes tipos de meios morfodinâmicos em função da intensidade dos

processos atuais, que são: meios estáveis, meios intergrades (intermediários) e os meios fortemente instáveis.

Os meios estáveis, segundo Tricart (1977), aplicam-se ao modelado, à interface atmosfera-litosfera, que evolui de maneira pouco perceptível e são caracterizados pela pouca e lenta atuação dos processos mecânicos. Esses meios morfodinamicamente estáveis existem em regiões dotadas de diversas condições: cobertura vegetal suficientemente fechada, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas.

Os meios intergrades indicam a passagem integral entre os meios estáveis e instáveis. Conforme Tricart (1977, p. 47), “o que caracteriza esses meios é a interferência permanente de morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço”.

Nos meios fortemente instáveis, o elemento predominante da dinâmica natural e fator determinante do sistema natural é a morfogênese. Um dos exemplos desses meios é a geodinâmica interna que intervém em diversos casos, especialmente o vulcanismo. Segundo Tricart (1997), os efeitos do vulcanismo são imediatos e podem destruir qualquer tipo de vegetação e originar formas de relevos que permanecem nuas durante alguns anos.

Nessa concepção de Tricart (1977) é que se fundamentam os modelos de análise da fragilidade ambiental: o primeiro, proposto por Ross (1994), denominado Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados; o outro, proposto por Crepani *et al.* (2001), que gera mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo. Esses modelos consideram que sejam observados os elementos do meio natural e as alterações causadas pelas atividades antrópicas.

Em conformidade com Ross (1994), as alterações nos componentes naturais do meio ambiente causadas pelo homem afetam a funcionalidade desse sistema e com frequência levam a graves processos degenerativos ao ambiente natural e à própria sociedade. Já Crepani *et al.* (2001, p. 15) consideram que:

A atuação do homem sobre o meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes que permitiram a “construção” das diferentes unidades de paisagem natural pode levar a situações desastrosas do ponto de vista ecológico e econômico. Portanto, antecedendo qualquer ocupação, deve-se conhecer os componentes físicos - bióticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima) que interagindo levaram ao estabelecimento das unidades de paisagem natural.

Sendo assim, a fragilidade procura relacionar homem e natureza, estando ligada à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano, ou seja, a fragilidade do ambiente está associada tanto às condições naturais (declividade, cobertura vegetal, tipo de solo, dentre outros) quanto às condições antrópicas (uso do solo) (TAMANINI, 2008).

Logo, a análise da fragilidade do ambiente, segundo Ross (1994), é uma proposta de investigação que tem como princípio básico a definição dos diferentes graus de fragilidade dos ambientes naturais, modificados ou não pelas atividades antropogênicas, em face ao desenvolvimento das atividades humanas. Assim sendo, a fragilidade ambiental se torna uma avaliação das condições físico-naturais, demonstrando o resultado das relações de interdependência dos componentes ambientais com as atividades humanas. Os graus de fragilidade podem ser classificados conforme a facilidade com que as alterações são causadas nos elementos naturais, de acordo com suas características genéticas. Conforme Megiato (2011, p. 36):

A fragilidade do ambiente natural e antropizado depende primeiramente de suas características naturais, pois alguns ambientes são mais frágeis geneticamente. Nestes ambientes a ocupação humana causará um impacto maior do que em ambientes com menor grau de fragilidade.

Moreira (2013) destaca que a ocupação humana e a apropriação dos recursos naturais podem ocasionar alterações expressivas no ambiente natural de um município, diminuindo as chances de se encontrar locais que não tenham sofrido alguma modificação direta ou indireta ocasionada pela ação antrópica. O homem frequentemente modifica o ambiente em um tempo mais intenso, quando comparado ao tempo natural de mudanças no sistema. Portanto, alguns recursos renováveis não dispõem de tempo suficiente para a sua regeneração, tornando progressivamente mais escassos e suscetíveis à degradação.

A degradação do meio ambiente provoca alterações nos componentes físicos do meio, como flora, fauna, solos, relevo etc. No momento em que acontece, geralmente ocorre a perda da biodiversidade em diversos graus e, por conseguinte, a perda da qualidade de vida devido as modificações ambientais produzidas de forma natural ou pela ação antrópica.

Dentre os principais tipos de degradação que ocorrem no meio físico em consequência das mudanças no uso da terra pela ação antrópica e pela apropriação inadequada dos recursos naturais, destacam-se: o desmatamento da cobertura

vegetal, a erosão dos solos, o assoreamento dos rios e a perda na qualidade dos recursos hídricos (SILVA, 2016).

Para Spörl (2007), a erosão acelerada do solo é considerada como sendo um dos processos degenerativos mais graves que são instalados na natureza devido a apropriação dos recursos naturais de maneira a não atender as suas potencialidades e fragilidades. Já Sampaio *et al.* (2003 apud Mendes, 2016) destacam que a erosão do solo é uma das formas mais generalizadas de degradação das suas características e este processo caracteriza-se como sendo a mais irreversível das deteriorizações. Tal fato se deve ao processo de formação do solo, que é bastante lento e faz com que as camadas atuais, normalmente, sejam os resultados de centenas ou milhares de anos.

A erosão pode ser definida como o desgaste da superfície do solo pela ação de agentes erosivos, como a água e o vento. Em termos mais técnicos, a erosão consiste nos processos físicos de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo, causados pelos agentes erosivos (FAVARETTO; DIECKOW, 2007).

Os processos erosivos resultam da combinação de fatores que estão interligados e apresentam grande variabilidade espacial e temporal, como a chuva, o solo, a topografia, a cobertura vegetal, a ação antrópica através das formas de uso e ocupação, desmatamento e das formas de manejo das terras (SPÖRL, 2007).

Existe basicamente dois tipos de erosão: a erosão natural e a erosão acelerada. A erosão natural é causada por fenômenos naturais, os quais agem por longos períodos de tempo, sem a interferência antrópica e formando paisagens naturais, como as serras, morros e vales. Nesse tipo de erosão, a quantidade anual de solo perdida por erosão é igual ou inferior à quantidade formada pela natureza, sendo difíceis de serem avaliados. Já na erosão acelerada, conhecida também como erosão induzida ou antrópica, os agentes atuam por períodos de tempo relativamente curtos e com forte interferência do homem. Esse tipo de erosão é mais intensa que a erosão natural, pois geralmente as taxas de perda são superiores as taxas de formação dos solos. A erosão acelerada ocorre no momento em que são rompidas as forças de desgaste e de formação do solo, como nos casos em que o homem utiliza a terra para fins agrícolas, para fundação de construções rurais e urbanas ou para outros fins em que ocorre a remoção de vegetais (FAVARETTO e DIECKOW, 2007).

Segundo Crepani *et al.* (2001), é muito difícil estabelecer uma linha divisória entre o que é erosão natural e o que é erosão induzida pelas atividades do homem. Sendo assim, o correto é considerar que as atividades antrópicas aceleram o processo natural de erosão.

Para Wild (1993 apud Jorge e Guerra, 2013), os principais fatores para a ocorrência dos processos erosivos são: o desmatamento, a mineração e outras atividades econômicas que deixam os solos desprotegidos; a falta de adoção de práticas conservacionistas na agricultura e pecuária, bem como no cultivo em encostas de elevada declividade; a compactação dos solos nas trilhas abertas por animais e homens, permitindo que a água escoe com facilidade; e, ainda, a falta de cuidados especiais na construção de rodovias, o que faz aumentar o escoamento superficial, causando os processos da erosão hídrica.

A erosão hídrica pode se manifestar principalmente de três formas: laminar, sulcos e voçorocas. A erosão laminar, conhecida como erosão em lençol ou superficial, caracteriza-se pela desagregação e arraste das partículas da superfície do solo em camadas iguais, sem formar sulcos, desgastando a camada de modo uniforme e retirando uma lâmina na superfície. A erosão em sulcos ocorre quando as águas se concentram em determinados pontos formando pequenos canais, drenos ou escoadouros que vão se tornando mais profundos, podendo ao longo do tempo interferir no trabalho de preparo do solo (SILVA, 1995). Já as voçorocas, segundo Carey (2006), são profundas valas escavadas no solo muitas vezes associadas a locais onde há fluxos de água concentrados em um canal ou sulco, geralmente em declive e com velocidades suficientes para remover e transportar partículas de solo, corroendo o subsolo aos poucos e podendo chegar ao lençol freático. A formação das voçorocas pode se dar também em áreas onde ocorre a concentração natural de escoamento, como, por exemplo, nas cabeceiras de drenagem e embaciados de vertentes ou em locais de fluxos de água relativamente temporários durante chuvas intensas.

A erosão cria sérios problemas ambientais, econômicos e sociais. Dentre os problemas ambientais, destacam-se: a perda gradual da capacidade produtiva dos solos na agricultura, a contaminação dos recursos hídricos com sedimentos e poluentes de origem difusa e o assoreamento dos rios e lagos. Entre os problemas de ordem econômica, destaca-se a diminuição do lucro do agricultor devido a redução da fertilidade dos solos e, conseqüentemente, a diminuição da

produtividade das culturas e abandono de áreas agrícolas. Entre os problemas sociais ocasionados pela erosão, estão aqueles relacionados com o aumento no custo de tratamento da água, deslizamentos de terra e as enchentes em área urbanas (SPÖRL, 2007; FAVARETTO e DIECKOW, 2007).

Diante desses problemas surgiram métodos qualitativos de análise da fragilidade ambiental que visam avaliar o fenômeno da erosão no que diz respeito à sua origem e evolução, os condicionantes e mecanismos que as fazem surgir e que atuam no seu desenvolvimento, assim como a busca de medidas que auxiliem na prevenção, controle e estabilização (SPÖRL, 2007). Dentre esses métodos, podem ser citados, como exemplo, as propostas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001), que possuem como ponto em comum o entendimento da inter-relação dos elementos do meio físico e visam identificar áreas com maior ou menor suscetibilidade à perda de solo, bem como áreas vulneráveis a processos de escorregamentos, assoreamentos etc.

Ross (1994), em sua metodologia, considera que ao analisar a fragilidade é necessário que se faça um estudo integrado dos diversos componentes do estrato geográfico (solo, relevo, clima, vegetação etc.) calcado sempre no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre os seus componentes físicos e bióticos.

No entanto, Ross (1990) formulou novos critérios para definir as unidades ecodinâmicas estáveis e as unidades ecodinâmicas instáveis, utilizando os conceitos propostos por Tricart (1977) e incluindo a intervenção antrópica como fator de análise. Ele definiu as Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou de Instabilidade Potencial como sendo aquelas unidades poupadas da ação humana e que estão em equilíbrio dinâmico, porém, apresentam uma instabilidade potencial face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica. O autor classificou a fragilidade em vários graus: muito fraco (1), fraco (2), médio (3), forte (4) e muito forte (5). Essa mesma classificação foi aplicada para as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente, que são as unidades que não se encontram em equilíbrio dinâmico, pois foram intensamente modificadas pelas intervenções antrópicas através de desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas.

Em sua metodologia, Ross (1994) mostra que para a análise da fragilidade ambiental é necessário conhecimento sobre geomorfologia, solos e uso da

terra/cobertura vegetal. Para a caracterização da geomorfologia, ao trabalhar com escalas médias ou pequenas, deve-se utilizar como base de informação os Padrões de Formas, como a rugosidade topográfica ou os Índices de Dissecação do relevo, e em escalas maiores utilizam-se as formas de vertentes e as classes de declividade. Na classificação dos solos, elaborou-se uma tabela com as classes de fragilidade ou erodibilidade dos solos. A análise do uso do solo e cobertura vegetal é realizada pela interpretação de imagens de satélite ou fotografias aéreas e analisada pela tabela de graus de proteção conforme o tipo de cobertura vegetal. A análise integrada desses temas gera o produto-síntese, o mapa de fragilidade ambiental, que descreve os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui. O resultado desse mapa é apresentado em uma escala de 1 a 5, ou seja, a fragilidade é expressa pelos códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5).

Por sua vez, Crepani *et al.* (2001) adaptaram o conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) para a elaboração de uma metodologia direcionada à vulnerabilidade natural à erosão. Nesse modelo, os autores trabalham com o conceito de vulnerabilidade e apoiam a metodologia na relação pedogênese/morfogênese. Neste método, além das variáveis geomorfológicas, pedológicas, climáticas e o uso e cobertura do solo, são consideradas, também, as informações geológicas, com a definição das Unidades Territoriais Básicas (UTB'S). De acordo com os autores:

Uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo que possui vínculos dinâmicos que a articulam à uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais (CREPANI *et al.*, 2001, p. 12-13).

Essas Unidades Territoriais Básicas são divididas em duas categorias: as unidades de paisagem natural e os polígonos de intervenção antrópica. As unidades de paisagem natural são obtidas sobre as imagens de satélite através da interpretação dos padrões fotográficos identificados pelas variações de textura, cores, forma, padrões de drenagem e relevo. Crepani *et al.* (2001) destacam ainda que, na análise de uma unidade de paisagem natural, é necessário conhecer a sua gênese, sua composição física, forma e estágio de evolução, sendo que estas informações são concedidas pela geologia, geomorfologia, pedologia, fitogeografia e climatologia. Já os polígonos de intervenção antrópica representam a área física onde a atuação humana modifica as condições naturais, podendo localizar-se sobre

uma única ou diversas unidades de paisagem natural, dependendo de suas dimensões. Segundo Crepani *et al.* (2001, p. 16):

As atividades desenvolvidas dentro dos polígonos de intervenção antrópica introduzem novas forças que podem alterar, em escala variável, as condições de equilíbrio do sistema representado pela unidade de paisagem natural. A agricultura, a pecuária, a silvicultura, a mineração e as obras de engenharia civil são exemplos de atividades que, em maior ou menor escala, introduzem estímulos externos ao sistema.

Deve-se trabalhar um cruzamento, a partir da quantificação, das informações referentes aos temas geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima. São atribuídos valores próximos a 1 quando há o predomínio dos processos de pedogênese, ou seja, os processos formadores de solos; valores próximos a 2 para as situações intermediárias; e valores ao redor de 3 para os casos de predominância de processos de morfogênese, que são caracterizados como sendo os processos erosivos. Após este cruzamento, obtém-se um produto final, com o valor final de cada unidade territorial básica e representando a sua posição dentro da escala de vulnerabilidade à perda de solo (Quadro 1).

Na escolha das cores para a representação cartográfica da vulnerabilidade ou estabilidade das unidades de paisagem natural, Crepani *et al.*, (2001) selecionaram 21 cores, organizadas a partir da combinação das três cores aditivas primárias: azul, verde e vermelho. Desse modo, deve-se associar a cor azul para o valor de maior estabilidade (1,0), a cor verde para o valor de estabilidade intermediária e a cor vermelha para o valor de maior vulnerabilidade (3,0).

Aos valores localizados entre 1,1 e 1,9 na escala de vulnerabilidade à perda de solo, associam-se cores derivadas da combinação entre o azul e o verde, crescendo a participação do verde na medida que se aproxima de 2,0, enquanto que aos valores localizados entre 2,1 e 2,9 associam-se cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do vermelho na medida que se aproxima de 3,0.

Quadro 1 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1		3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

Como essas propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) possuem suas classes de fragilidade relacionadas às unidades ecodinâmicas (meios fortemente instáveis, meios intergrades e meios estáveis) fundamentadas no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), é possível estabelecer uma comparação entre as diferentes nomenclaturas e suas relações com as classes atribuídas às unidades ecodinâmicas, como demonstra o quadro 2.

Quadro 2 - Correlação das classes de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda de solo.

Unidades Ecodinâmicas (TRICART)	Classes de Fragilidade Ambiental (ROSS)	Classes de Vulnerabilidade à Perda de Solo (CREPANI)
Meios fortemente instáveis	Muito forte	Vulnerável
	Forte	Moderadamente vulnerável
Meios intergrades	Média	Medianamente estável/vulnerável
Meios estáveis	Fraca	Moderadamente estável
	Muito fraca	Estável

Fonte: TRICART, 1977; ROSS, 1994; CREPANI *et al.*, 2001.
Organização: AUTORA, 2018.

2.2 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto como subsídio aos estudos de fragilidade ambiental

Na elaboração dos produtos cartográficos relacionados com a fragilidade do ambiente, o uso de novas tecnologias de geoprocessamento torna-se essencial. Nos estudos de impactos ambientais e de planejamento territorial ambiental, estas tecnologias auxiliam na caracterização e identificação de diferentes manchas, possibilitando uma melhor compreensão do que se encontra no espaço geográfico (MOREIRA, 2013).

Segundo Oliveira (2011), o geoprocessamento, também denominado por alguns autores como geomática ou “geotecnologias”, reúne uma sucessão de ferramentas e tratamentos multidisciplinares (Figura 8) de dados espaciais, como o Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Processamento Digital de Imagens (PDI), Geoestatística, Cartografia Digital, Desenho Assistido por Computador (CAD, do inglês, *Computer Aided Design*), Banco de Dados Alfanuméricos e os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS, do inglês, *Global Navigation Satellite Systems*), com ampla aplicação na análise de informações ambientais.

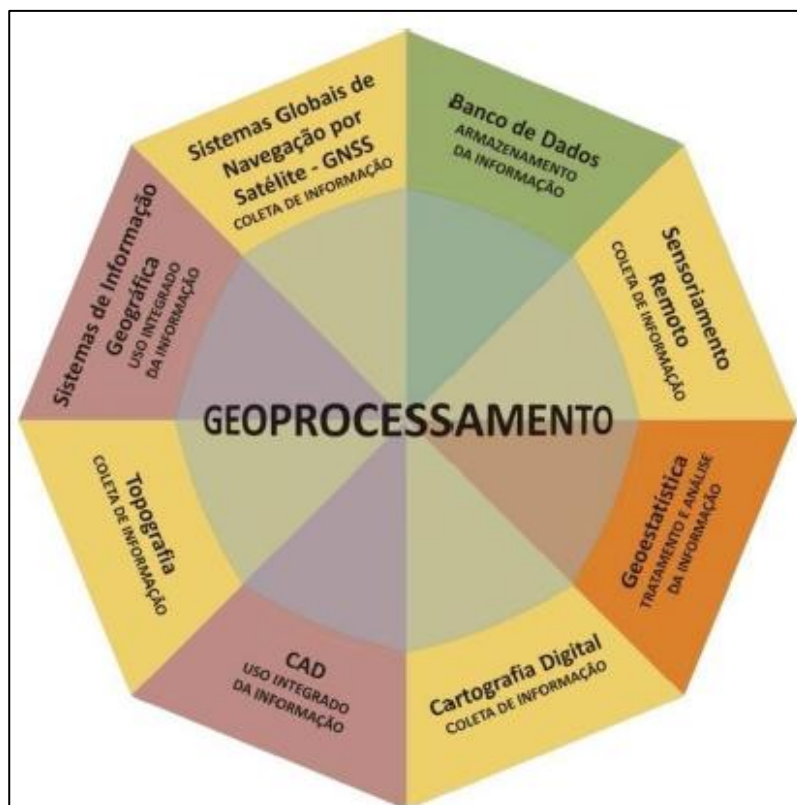


Figura 8 - Categorias de tratamento da informação espacial por geoprocessamento.
Fonte: OLIVEIRA, 2011.

Para Câmara e Davis (2001), o termo Geoprocessamento representa a disciplina do conhecimento que faz uso de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Já os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representam as ferramentas computacionais para geoprocessamento, as quais possibilitam a realização de análises complexas ao integrar dados de várias fontes e ao elaborar bancos de dados georreferenciados. Tornam também possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Spörl (2007) define os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) como sendo tecnologias utilizadas na investigação de fenômenos ambientais, pois combinam os avanços tecnológicos da cartografia, banco de dados automatizados, sensoriamento remoto e modelagem. Constituem-se de conjuntos de programas computacionais que possibilitam armazenar, analisar, manipular e gerenciar dados geográficos. Sendo assim, a autora ressalta que estas tecnologias são primordiais nos estudos ambientais, devido à complexidade e a dimensão dos procedimentos envolvidos nesses estudos.

Os SIG's possibilitam a elaboração de um banco de dados para a área em estudo, a criação de diversos planos de informações (PI's) específicos trazidos da cartografia através da vetorização e a criação de modelos e de diversos

cruzamentos de informações que irão representar o município em questão. A manipulação desses dados se dá de uma maneira prática, acrescentando vários planos de informação em um único projeto, permitindo a visualização e a consulta de dados, bem como a elaboração de produtos cartográficos resultantes da interação e combinação desses dados (MEGIATO, 2011). Desta maneira, os SIG's viabilizam a elaboração de mapeamentos temáticos de relevo, solos, geologia, uso e cobertura da terra, bem como os mapas de fragilidade ambiental da área pretendida.

Os estudos relativos à fragilidade dos ambientes caracterizam-se por serem projetos que carecem de procedimentos rápidos e eficientes de grandes bases de dados (SPÖRL, 2007). Nesse sentido, os SIG's são fundamentais, pois permitem a manipulação de uma grande quantidade de dados referentes aos aspectos do meio físico-naturais e antrópicos. Diversos desses dados podem ser obtidos através do sensoriamento remoto, de uma forma fácil e rápida, auxiliando nas decisões de gerenciamento ambiental.

O sensoriamento remoto é definido como sendo a tecnologia de aquisição, a distância, de dados e imagens da superfície terrestre, através de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou órbitas (satélites). Os sensores instalados nessas plataformas captam e registram a energia (radiação eletromagnética) refletida ou emitida pela superfície em diferentes comprimentos de onda ou frequência (FLORENZANO, 2008).

Para Câmara e Monteiro (2001), as imagens obtidas por satélite representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento da imagem (denominado "Píxel") possui um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre que a imagem cobre.

As imagens de satélite possuem algumas características importantes, como: a resolução espectral, que representa o número e a largura de bandas do espectro imageadas; a resolução espacial, que demonstra a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor; a resolução radiométrica, que apresenta o nível de quantização registrado pelo sistema sensor; e a resolução temporal, que demonstra o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Com a evolução do sensoriamento remoto mediante a criação de sensores que são cada vez mais potentes, as imagens (produtos) apresentam-se melhores.

Estes sensores, aliados ao geoprocessamento e as técnicas cartográficas, ampliam a aplicabilidade destas informações para diferentes áreas de estudos.

Assim, estes dados possibilitam que seja feita uma análise mais detalhada do uso que é feito do solo, e ainda permitem estudar o desmatamento das áreas de vegetação natural florestal assim como a evolução da ocupação antrópica, auxiliando na identificação de áreas com maior vulnerabilidade à instalação de processos erosivos.

3 Procedimentos metodológicos e operacionais

Este capítulo tem como finalidade discorrer sobre os procedimentos metodológicos e operacionais desse trabalho. Os procedimentos foram divididos em três estágios: No **primeiro** foi realizado um levantamento bibliográfico com o objetivo de realizar a fundamentação teórica dos principais conceitos e características do município de Pelotas. Para isso, foram consultadas diversas literaturas referentes ao assunto em estudo, artigos de periódicos científicos, trabalhos acadêmicos e livros. No **segundo** estágio foram realizados trabalhos de campo para o reconhecimento da área de estudo e registros fotográficos para ilustrar os usos e coberturas da terra. No **terceiro** estágio foram gerados os mapeamentos temáticos e análises dos resultados.

3.1 Materiais e Métodos

Os materiais de apoio que foram utilizados são os seguintes:

- Base cartográfica vetorial do estado do Rio Grande do Sul em escala 1:50.000 (Hasenack e Weber 2010);
- Uma cena do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat 8, resolução espacial de 30 metros (Bandas 4, 5 e 6), data de passagem em 25 de agosto de 2017 e órbita/ponto 221/082;
- Aparelho GPS – Sistema de Posicionamento Global (Navegador GPS Garmim Montana 650);

- Software Google Earth Pro;
- Prancheta para anotação em campo;
- Câmera digital; e
- Sistema de Informações Geográficas (SIG), que compreende as ferramentas computacionais de geoprocessamento que possibilitam a elaboração do banco de dados digital e a produção dos mapas temáticos de hipsometria, clinografia, solos, geologia, geomorfologia, uso e cobertura da terra e fragilidade ambiental.

Nos itens a seguir, estão descritos os procedimentos que foram realizados para a elaboração da base cartográfica digital e confecção dos mapas que fazem parte desse trabalho.

Todos os mapas gerados são referenciados espacialmente com a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22S e o Datum do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS2000).

3.1.1 Base cartográfica

A base cartográfica tem como fundamento armazenar em um banco de dados arquivos vetoriais georreferenciados. Para este estudo, utilizaram-se informações do projeto “base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul” na escala de 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010), como as curvas de nível (com equidistância de 20 metros), cotas altimétricas (em metros) e a hidrografia (cursos fluviais e corpos d’água).

O limite municipal de Pelotas foi obtido no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013a).

3.1.2 Mapa hipsométrico

O Mapa Hipsométrico da área de estudo foi gerado através do Modelo Numérico do Terreno (MNT), o qual foi obtido a partir dos valores das linhas de

curvas de níveis e os valores dos pontos cotados contidos na base cartográfica digital. Desta forma foi possível realizar o cálculo de áreas, declividades e classificações através dos intervalos pretendidos.

De acordo Câmara e Monteiro (2001), o MNT pode ser definido como um modelo matemático que representa uma superfície real com base em algoritmos e um conjunto de pontos (x, y) , em um referencial qualquer, com atributos indicados de z , que retratam a variação contínua da superfície.

O MNT elaborado para este trabalho utiliza o interpolador TIN (do inglês, *Triangular Irregular Network*), caracterizado como uma estrutura do tipo vetorial com tipologia do tipo *nó-arco* que representa superfícies contínuas através de uma série de pontos ligados de maneira triangular (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Para a construção do mapa hipsométrico da área de estudo, os intervalos das isoípsas foram separados em conformidade com o determinado por Crepani *et al.* (2001) em seu modelo metodológico para a avaliação da fragilidade ambiental (Quadro 3).

Quadro 3 – Classes hipsométricas propostas por Crepani *et al.* (2001)

Classes hipsométricas (metros de altitude)		
< 20	77 - 84,5	141,5 - 151
20 - 29,5	84,5 - 94	151 - 160,5
29,5 - 39	94 - 103,5	160,5 - 170
39 - 48,5	103,5 - 113	170 - 179,5
48,5 - 58	113 - 122,5	179,5 - 189
58 - 67,5	122,5 - 132	189 - 200
67,5 - 77	132 - 141,5	> 200

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

Organização: AUTORA, 2018.

3.1.3 Mapas clinográficos

Os mapas clinográficos ou de declividade, segundo Colavite e Passos (2012), surgem como uma ferramenta de grande importância para a análise do relevo, sendo uma forma de representação temática da distribuição espacial dos diferentes níveis de inclinação existentes em um terreno e amparam a análise da paisagem.

Para Silveira *et al.* (2006), os mapas de declividade são uma importante característica na análise do balanço morfogênese/pedogênese, visto que a inclinação das vertentes é um dos principais fatores que contribuem na instabilidade das encostas, causada pelo fluxo superficial que se dá na superfície, ocasionando consecutivos processos erosivos e movimentos coletivos de materiais. Assim sendo, os mapas clinográficos são fundamentais para a identificação e correlação das declividades com as formas de relevo e constituem elemento importante na verificação de aptidões e limitações do uso do solo.

Para esse trabalho foram gerados dois mapas clinográficos: um com as classes clinográficas sugeridas por Ross (1994) e o outro com as classes clinográficas propostas por Crepani *et al.* (2001), conforme apresentado no quadro 4. Esses mapas, assim como o mapa hipsométrico, foram elaborados a partir do MNT.

Quadro 4 – Classes clinográficas propostas por Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001).

Classes clinográficas propostas por Ross (1994)	Classes clinográficas propostas por Crepani <i>et al.</i> (2001)		
< 6%	< 3,5%	17,4 - 19,8%	34,6 - 37,2%
6 - 12%	3,5 - 5,8%	19,8 - 22,2%	37,2 - 39,8%
12 - 20%	5,8 - 8,2%	22,2 - 24,5%	39,8 - 42,4%
20 - 30%	8,2 - 10,3%	24,5 - 27,2%	42,4 - 45,3%
> 30%	10,3 - 12,9%	27,2 - 29,6%	45,3 - 48,1%
	12,9 - 15,1%	29,6 - 32,1%	48,1 - 50%
	15,1 - 17,4%	32,1 - 34,6%	> 50%

Fonte: ROSS (1994); CREPANI *et al.* (2001)

Organização: AUTORA, 2018.

3.1.4 Geologia

O mapa de geologia do município de Pelotas foi elaborado a partir da vetorização das informações disponibilizadas pela CPRM (2008) sobre o mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul em escala 1:750.000, recortadas para a área do município. Realizou-se ainda a edição vetorial para indicar as classes temáticas de cada polígono do plano de informação (PI). A partir deste mapa, é

possível fazer a delimitação e caracterização dos diferentes tipos de substratos geológicos existentes na área de estudo.

O mapa geológico do RS é um produto derivado do Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo – Programa Geologia do Brasil – Superintendência Regional de Porto Alegre. No contexto do ESRG, no município de Pelotas, este mapa apoiou-se no trabalho de Phillip (1998), que apresenta uma síntese sobre o aprendizado geológico do autor sobre a porção oriental do Escudo Sul-Rio-Grandense, denominada Batólito de Pelotas. A síntese geológica das seções estudadas por Phillip (1998) baseia-se em um compilado de levantamentos e cartografias a partir da escala de 1:25.000. Já no âmbito da PCRS em Pelotas, a CPRM (2008) fez uso dos Mapas Geológicos da Região Costeira do Rio Grande do Sul, elaborados por Favilla *et al.* (2000), na escala de 1:250.000.

3.1.5 Geomorfologia

O mapeamento da geomorfologia da área de estudo foi elaborado com base nas informações de unidades geomorfológicas disponibilizadas pelo IBGE (2003b) em escala 1:250.000 referente a parte das cartas de Pelotas/Mostardas e Pedro Osório, MI: SH.22-y-d/zc e SH.22-y-c. Estas cartas em formato digital foram importadas para o software de SIG, onde foi possível fazer a georreferência e o mosaico das cartas, o recorte para a área de estudo e a digitalização dos polígonos referente às classes geomorfológicas. A partir destas etapas, adquiriu-se o PI da geomorfologia do município de Pelotas, o qual permite identificar as formas de relevo da área.

3.1.6 Solos

O mapa de solos da área de estudo foi elaborado com base nas informações do Mapa de Solos do Município de Pelotas na escala 1:100.000, organizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no trabalho de Cunha

(1996). O procedimento realizado foi a vetorização das informações contidas neste mapa, de modo que a nomenclatura das classes de solos fosse atualizada com base na classificação atual dos solos do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos de Santos *et al.* (2018) – 1º Nível Categórico.

3.1.7 Análise e mapeamento do uso e cobertura da terra

Nesta etapa do trabalho, foi elaborado o mapa de uso e cobertura da terra do município de Pelotas, que é um documento imprescindível e de fundamental importância para a realização dos mapas de fragilidade ambiental segundo as duas metodologias propostas, a de Ross (1994) e de Crepani *et al.* (2001).

Para isso, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 sensor OLI (*Operation Land Imager*) com resolução espacial de 30 metros, faixa de imageamento de 185Km e resolução espectral de 12 bits. Essas imagens são disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagem do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE).

Para a cobertura da área de estudo, optou-se pela cena correspondente à órbita/ponto 221/082, de 25/08/2017, bandas 4 (faixa do visível referente à cor vermelho), 5 (infravermelho próximo) e 6 (Infravermelho médio).

Em relação ao processamento digital de imagens (PDI), realizaram-se tarefas de pré-processamento, técnicas de realce de imagens e composição colorida e a técnica de classificação digital supervisionada. O processamento de imagens tem como objetivo principal remover barreiras, como os vários tipos de degradações e distorções que ocorrem nos processos de aquisição, transmissão e visualização de imagens inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens (CRÓSTA, 1992).

Na etapa de pré-processamento ocorreu a mudança do Datum WGS 84N para o SIRGAS 2000 – Projeção UTM, Fuso 22S das imagens selecionadas para esse mapeamento temático.

Na etapa de realce de imagens e composição colorida efetuou-se o aumento linear de contraste nas imagens e a geração da composição colorida falsa-cor.

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a interpretação visual dos alvos das imagens de maneira rápida, correta e eficaz. Neste trabalho, empregou-se o aumento linear de contraste com parâmetros sugeridos pelo próprio programa. Esse aumento de contraste consiste na redistribuição dos níveis de cinza (DNs) para todo o intervalo disponível do histograma das imagens, que sendo de 12 bits possuem intervalo de 4.096 níveis de cinza. Para isto, transforma-se os valores mínimos e máximos, respectivamente, em zero e 4.095, do histograma de cada uma das imagens, de modo que a visualização seja melhorada e a interpretação facilitada.

A aplicação do realce de contraste em uma imagem, segundo Crósta (1992), não acrescenta informações novas, apenas torna-as mais inteligíveis. Quanto maior o espalhamento do histograma, maior e melhor o contraste da imagem.

Em relação à composição colorida falsa-cor, esta é bastante útil para discriminar os alvos analisados na imagem. Para isto, são realizadas a projeção e a sobreposição das bandas das imagens a filtros coloridos das cores azul, verde e vermelho (Figura 9). Neste trabalho, utilizou-se a composição colorida falsa-cor 5R, 6G e 4B para facilitar a interpretação da cobertura e do uso da terra.

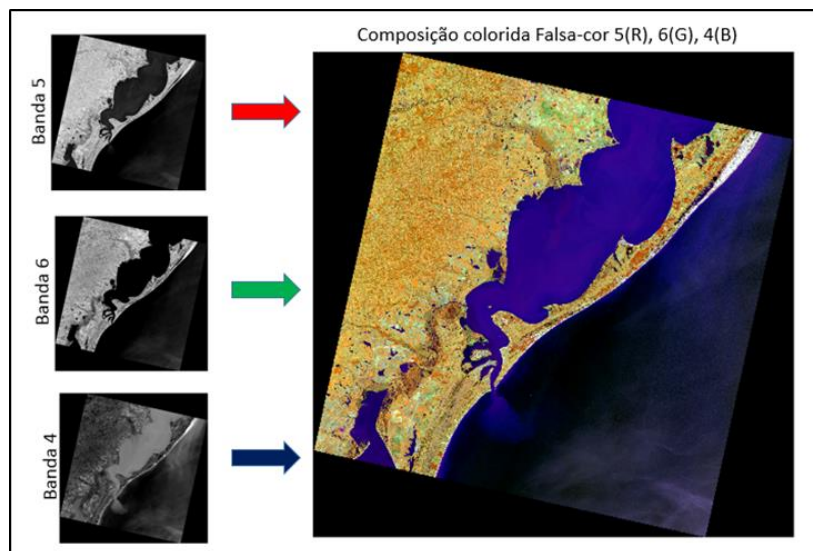


Figura 9 – Composição da imagem colorida falsa-cor da área de influência do município de Pelotas, obtida através das imagens Landsat 8 OLI com bandas 4, 5 e 6 associadas ao filtro azul, vermelho e verde, respectivamente.

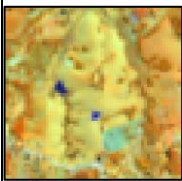
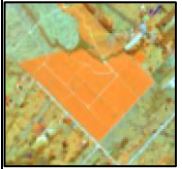
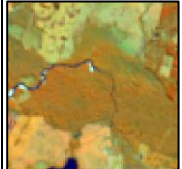
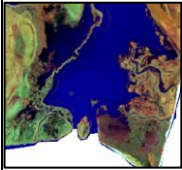
Fonte: AUTORA, 2017.

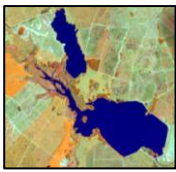
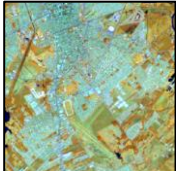
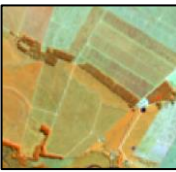
Na etapa de classificação digital supervisionada, os usos e coberturas da terra são identificados e diferenciados uns dos outros pelo seu padrão de resposta espectral. Na classificação são definidas através da composição 564 RGB as assinaturas espectrais das categorias de usos e coberturas da terra conhecidas

empiricamente pelo pesquisador, as quais o computador associa com base no padrão de resposta espectral da composição colorida. Esse padrão de resposta espectral é identificado após a definição de áreas de treinamento, as quais contêm os padrões que se desejam classificar.

As áreas de treinamento são delimitadas por polígonos de amostras referentes a cada classe de uso e cobertura da terra. Cada amostra está associada a um identificador (Id.), que estabelece as diferentes classes de usos e coberturas da terra. Para tanto, na coleta das amostras, foi necessário a adoção de uma chave de interpretação visual do tipo seletiva, apoiada em elementos estabelecidos por Florenzano (2007). Esta chave consiste na análise visual dos elementos presentes na imagem, como cor, forma, padrão, tamanho e textura, auxiliando o usuário na identificação e na extração de feições à serem classificadas nas imagens (Quadro 5).

Quadro 5 - Chave de interpretação desenvolvida para a definição das áreas de treinamento.

Id.	Classes de uso e cobertura da terra	Chave de interpretação Elementos de interpretação				Composição falsa-cor Landsat 8
		Cor	Forma	Localização	Textura	RGB (564)
1	Áreas Campestres e Pastagens	Amarelo claro	Irregular	Próximo às lavouras e áreas de vegetação natural florestal	Lisa	
2	Lavouras Temporárias	Laranja	Retangular	Áreas agrícolas	Lisa	
3	Áreas Descobertas	Ciano (dependendo do tipo de solo, pode ser escuro ao bem claro)	Regular	Áreas agrícolas	Lisa	
4	Vegetação Natural Florestal	Laranja escuro	Irregular	Próximo à corpos d'água	Rugosa	
5	Áreas Úmidas	Verde escuro e bordô	Irregular	Junto de corpos d'água	Lisa	

6	Corpos D'água	Azul (material em suspensão) ou preta (água limpa)	Linear retilínea ou curvilínea para rios	Próximo às áreas agrícolas e áreas de vegetação florestal	Lisa	
7	Área Urbanizada	Ciano claro	Regular	Junto de rodovias e arruamentos	Ligeiramente rugosa	
8	Silvicultura	Vermelho à laranja escuro	Retangular	Próximo às lavouras	Levemente rugosa	

Elaboração: AUTORA, 2017.

Para a definição dessas classes de usos e coberturas da terra e da legenda, utilizou-se a adaptação de um sistema de classificação de uso da terra publicado como um documento de referência para o mapeamento, sob a forma do “Manual Técnico do Uso da Terra” (IBGE, 2013b). A seguir, apresenta-se a descrição de cada classe:

- **Áreas Campestres e Pastagens:** De acordo com o IBGE (2013b), as áreas campestres apresentam diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, caracterizadas pelo estrato arbustivo, esparsamente distribuído. Já as áreas de pastagem são reservadas ao pastoreio do gado, incluindo as pastagens plantadas (plantio de forrageiras perenes) e pastagens naturais (onde aconteceu a melhoria das pastagens, com foco na pecuária de animais de pequeno, médio e grande porte).
- **Lavouras Temporárias:** Essa classe representa 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, 2013b).
- **Áreas Descobertas:** Nessa classe, destacam-se as áreas de praias, de extensões de areias ou seixos, áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal, leitos de canais de fluxo com regime torrencial e as áreas cobertas por rocha nua exposta (IBGE, 2013b).
- **Vegetação Natural Florestal:** O IBGE (2013b) considera como florestais as formações arbóreas com porte maior que cinco metros, estando incluídos

nessa categoria os remanescentes de recomposição florestal primário e de estágio evoluído de recomposição florestal.

- **Áreas Úmidas:** As áreas úmidas correspondem aos ambientes onde ocorre a transição entre os ambientes aquáticos e terrestres, ligados ao ciclo das águas interiores e costeiras, cujos solos possuem um alto grau de hidromorfismo devido às águas de origem pluvial, fluvial, marinha ou subterrânea, podendo haver a contribuição de marés, com comunidades de animais e plantas adaptados à dinâmica hídrica existente (QUEIROZ, 2015).
- **Corpos D'água:** Nesta classe incluem-se os corpos d'água continentais, que se referem aos corpos d'água naturais e artificiais, tais como rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes etc. (IBGE, 2013b).
- **Área Urbanizada:** Essa classe, segundo o IBGE (2013b), corresponde às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas, com uso intenso da superfície predominantemente artificial, caracterizadas pelas edificações e sistema viário.
- **Silvicultura:** Nessa classe verifica-se a atividade econômica ligada às ações de trato e cultivo de povoamentos florestais designados ao fornecimento de matéria prima para a indústria madeireira, de papel e celulose ou para o consumo familiar (IBGE, 2013b).

A classe de uso e cobertura “Lavouras Permanentes” não foi considerada nesse mapeamento. As áreas de lavouras permanentes são pouco expressivas em Pelotas o que acaba dificultando o mapeamento devido a resolução espacial das imagens orbitais utilizadas.

Após a coleta das amostras de treinamento, procedeu-se a classificação da composição 564 RGB, utilizando o classificador supervisionado Máxima Verossimilhança (MaxVer). De acordo com Meneses & Almeida (2012), esse classificador é o mais eficiente, pois as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas e a localização do centro de cada classe.

Para a caracterização das atividades socioeconômicas do município de Pelotas, foram coletadas informações sobre as principais atividades econômicas, principais cultivos e Produto Interno Bruto (PIB). Para isso, foram utilizados dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto

Técnico de Pesquisa e Assessoria (ITEPA) da Universidade Católica de Pelotas (UCPEL).

Em relação à confiabilidade desse mapa de uso e cobertura da terra, a classificação foi submetida ao teste do índice Kappa. Esse índice, de acordo com Gasparini *et al.* (2013), é um dos principais métodos usados na avaliação da concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, possuindo como grande vantagem a inclusão de todos os elementos da matriz de erro no cálculo do coeficiente Kappa. A estatística Kappa varia de 0 a 1. Um valor de Kappa próximo a 0 indica que o resultado se gerou ao acaso, enquanto que um valor próximo a 1 aponta total coincidência entre a verdade terrestre e o resultado da classificação (MOREIRA, 2001).

Neste trabalho, o cálculo do índice Kappa é realizado tentando-se obedecer ao número mínimo de 50 amostras por classe, conforme estabelecido por Congalton e Green (2009), para mapas cobrindo menos de um milhão de acres e com menos de 12 classes. Essas amostras são classificadas com auxílio da composição colorida falsa-cor, pontos observados em campo, bem como a partir de imagens de maior resolução espacial, como as disponibilizadas na visualização do *software* Google Earth Pro provenientes da constelação de satélites Digital Globe.

3.1.8 Avaliação da Fragilidade Ambiental, conforme a proposta de Ross (1994)

A metodologia desenvolvida por Ross (1994) para a geração de um mapa que representa a fragilidade ambiental é baseada na análise de três temas: solos, geomorfologia (classes de declividade) e o uso e cobertura da terra. Para essas variáveis atribuem-se valores numéricos de 1 a 5 conforme sua fragilidade, de muito fraca a muito forte (ver quadros 6 a 8). Quando tratados de forma integrada, esses elementos possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Para o tema Solos, os critérios considerados por Ross (1994) passam pelas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Assim, os

solos encontrados na área de estudo devem ser classificados de acordo com sua fragilidade, conforme o quadro a seguir:

Quadro 6 - Grau de fragilidade das classes de solos.

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
1- Muito Fraca	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo textura argilosa
2- Fraca	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo textura média/argilosa
3- Média	Latossolo Vermelho-amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo textura média/argilosa
4- Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambissolos.
5- Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas.

Fonte: ROSS, 1994.

Em relação ao tema Geomorfologia, Ross (1994) recomenda a utilização das classes de declividade para análises mais detalhadas, pois apresentam uma análise mais minuciosa. Sendo assim, devem-se utilizar os intervalos de classes já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso/Agrícola associados com aqueles conhecidos como valores-limites críticos da geotecnia, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/deslizamentos e inundações frequentes. Deste modo, as classes são:

Quadro 7 - Classes de fragilidade para o tema declividade do terreno.

Intervalos de Declividade	Forma de Relevo	Valor	Grau de Fragilidade Ambiental
Até 6%	Plano	1	Muito Fraca
6 a 12%	Suavemente ondulado	2	Fraca
12 a 20%	Ondulado	3	Média
20 a 30%	Abrupto	4	Forte
Acima de 30%	Muito abrupto	5	Muito Forte

Fonte: Adaptado de ROSS, 1994.

Para o tema Uso e Cobertura da Terra, é preciso analisar a proteção dos solos pela cobertura vegetal. Para tanto, é necessário o mapa de uso e cobertura da terra. Nas interpretações das imagens, devem ser identificadas as manchas dos diferentes tipos de usos, tais como: matas naturais, pastagens, áreas de silvicultura, entre outros.

Para esse tema, Ross (1994) considera que o solo que oferecer maior proteção em relação as águas pluviais deverá receber o menor valor de fragilidade

(1) e o solo que oferecer menor proteção receberá valor máximo de fragilidade (5). Sendo assim, o autor estabeleceu, através de estudos realizados, alguns tipos de uso e cobertura da terra e seus respectivos graus de proteção (Quadro 8).

Quadro 8 - Grau de proteção das classes de uso e cobertura da terra.

Graus de proteção	Tipos de cobertura vegetal
1 - Muito Fraca	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.
2- Fraca	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino e laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/terraceamento.
3- Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagem com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4- Forte	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata homogênea de pinus densa, Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
5- Muito Forte	Florestas/Matas Naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.

Fonte: ROSS, 1994.

Para a avaliação da fragilidade ambiental, Ross (1994) ressalta que deve ser considerada a Fragilidade Potencial dos ambientes (unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial), que se caracteriza pela fragilidade natural que uma determinada área está sujeitada, isto é, a partir da declividade do relevo e tipo de solo. Também deve-se levar em conta a Fragilidade Emergente (unidades ecodinâmicas de fragilidade emergente), que representa a fragilidade que estão emergindo no ambiente natural em consequência do uso e ocupação do solo. Sendo assim, para a confecção do mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas, será considerada a Fragilidade Emergente, que resulta da combinação da fragilidade potencial natural com o mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo.

Desta forma, após ser atribuído valores numéricos de 1 a 5 para cada uma das variáveis analisadas, será elaborado o produto cartográfico final que sintetiza através de números a soma das variáveis: declividade, solos e uso e cobertura da terra. Assim, o grau de fragilidade ambiental será dado pela gradação do menor valor possível, no caso 3 (soma de 3 valores 1) o resultado será muito baixo grau de

fragilidade e o maior valor possível, no caso 15 (soma de 3 valores 5), o resultado será o maior grau de fragilidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Soma dos valores e definição das classes de Fragilidade Ambiental.

Valores de Fragilidade			Fragilidade Ambiental	Descrição das Classes
Declividade	Solos	Uso e Cobertura da Terra		
1	1	1	03	Muito Fraca
2	2	2	04 a 06	Fraca
3	3	3	07 a 09	Média
4	4	4	10 a 12	Forte
5	5	5	13 a 15	Muito Forte

Elaboração: AUTORA, 2018.

3.1.9 Avaliação da Fragilidade Ambiental, conforme a proposta de Crepani et al. (2001)

A metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001) para definir a vulnerabilidade natural à perda de solo foi desenvolvida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Seu objetivo inicial era subsidiar a elaboração de um Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE) para a Amazônia, promovido pelo Ministério de Meio Ambiente a partir do conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), fundamentado na relação morfogênese/pedogênese (processo de formação do solo/ processo de formação do relevo).

A vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem é avaliada a partir da caracterização morfodinâmica dessas unidades, conforme critérios baseados na Ecodinâmica de Tricart (1977), que estabelece três categorias morfodinâmicas: meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis.

Os critérios desenvolvidos por Crepani *et al.* (2001), fundamentados nesses princípios de Tricart (1977), possibilitaram a criação de um modelo em que se buscou a avaliação, de forma relativa e empírica, do estágio de evolução morfodinâmica da unidade de paisagem, chamada Unidade Territorial Básica (UTB). Dessa forma, os valores de vulnerabilidade foram atribuídos às categorias morfodinâmicas, conforme apresentado no quadro 9.

Quadro 9 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

Desta forma, Crepani *et al.* (2001) estabeleceram 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações em que há o predomínio dos processos formadores de solos (pedogênese), as quais se atribuem valores próximos de 1,0, passando por situações intermediárias, em que se atribuem valores ao redor de 2,0, e situações de predomínio dos processos erosivos (morfogênese), onde se atribuem valores próximos de 3,0.

Para a geração do Mapa de vulnerabilidade à perda de solo, conforme Crepani *et al.* (2001), é necessário associar valores de vulnerabilidade à perda de solos a cada classe de cada tema componente da paisagem: geologia, geomorfologia, solos, clima e uso e cobertura da terra. Cada um desses temas é um plano de informação (PI), no formato matricial ou vetorial, no banco de dados.

Nesse trabalho não foram utilizadas as informações da climatologia, considerando-se que existe apenas uma estação climatológica localizada próxima da área de estudo, não tendo diversidade de dados para realizar interpolações.

Os critérios para atribuir os valores de vulnerabilidade dos temas geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura da terra de cada unidade de paisagem estão descritos a seguir.

Para a definição das classes de vulnerabilidade para o tema geologia, Crepani *et al.* (2001) consideram as informações relativas à evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e ao grau de coesão das rochas que a compõem. O grau de coesão indica o nível de ligação entre os minerais e partículas que as constituem, apontando a resistência ao intemperismo das rochas e também a capacidade de resistir à desagregação entre os minerais.

O quadro 10 apresenta as posições das rochas encontradas com maior frequência na superfície terrestre, dentro da escala de vulnerabilidade natural à denudação (intemperismo e erosão). Nesse quadro, Crepani *et al.* (2001) associaram valores de vulnerabilidade próximos a 1 para as rochas que apresentam maior grau de coesão, valores intermediários no grau de coesão ao redor de 2 e

valores de vulnerabilidade próximos a 3 para as rochas que possuem os menores valores nos graus de coesão.

Quadro 10 - Escala de Vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.

Rochas	Grau de Vulnerabilidade
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Riólito, granito, dacito	1,1
Granodiorito, quartzo diorito, granulito	1,2
Migmatitos, gnaisses	1,3
Fonólito, nefelina sienito, traquito, sienito	1,4
Andesito, diorito, basalto	1,5
Anortosito, gabro, peridotito	1,6
Milonito, quartzo muscovita, biotita, clorita xisto	1,7
Piroxenito, anfíbolito kimberlito, dunito	1,8
Hornblenda, tremolita, actinolita xisto	1,9
Estaurolita xisto, xistos granatíferos	2,0
Filito, metassiltito	2,1
Ardósia, metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, subgrauvacas	2,5
Grauvacas, arcózios	2,6
Siltitos, argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9
Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios etc.	3,0

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade das unidades de paisagem em relação ao tema geomorfologia, segundo Crepani *et al.* (2001), alteram-se de acordo com os índices morfométricos. Sendo assim, são designados valores de vulnerabilidade para as unidades geomorfológicas, hipsometria e declividade das encostas (Quadros 11, 12 e 13).

Quadro 11 – Valores de vulnerabilidade para as unidades geomorfológicas

Unidades Geomorfológicas	Vulnerabilidade
Planaltos Residuais	2,0
Planaltos Rebaixados	2,5

Planície Alúvio-Coluvionar	2,9
Planície Lagunar	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI *et al.* 2001.

Quadro 12 - Valores de vulnerabilidade para a hipsometria.

Hipsometria (m)	Vul.	Hipsometria (m)	Vul.	Hipsometria (m)	Vul.
< 20	1	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58,0	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 - 77	1,6	132 - 141,5	2,3	> 200	3

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

Quadro 13 - Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas.

Declividade (%)	Vul.	Declividade (%)	Vul.	Declividade (%)	Vul.
< 3,5	1	17,4 - 19,8	1,7	34,6 - 37,2	2,4
3,5 - 5,8	1,1	19,8 - 22,2	1,8	37,2 - 39,8	2,5
5,8 - 8,2	1,2	22,2 - 24,5	1,9	39,8 - 42,4	2,6
8,2 - 10,3	1,3	24,5 - 27,2	2	42,4 - 45,3	2,7
10,3 - 12,9	1,4	27,2 - 29,6	2,1	45,3 - 48,1	2,8
12,9 - 15,1	1,5	29,6 - 32,1	2,2	48,1 - 50	2,9
15,1 - 17,4	1,6	32,1 - 34,6	2,3	> 50	3

Fonte: CREPANI *et al.*, 2001.

Após serem atribuídos os valores de vulnerabilidade à perda de solo referentes a cada índice morfométrico, a vulnerabilidade da Unidade Territorial Básica (UTB) com relação à geomorfologia será definida conforme a equação 1:

$$Ge = \frac{G^a + H + D}{3} \quad (1)$$

Onde:

Ge = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

G^a = Vulnerabilidade atribuída para as Unidades Geomorfológicas

H = Vulnerabilidade para o tema Hipsometria

D = Vulnerabilidade para o tema Declividade

No que se refere ao tema Solos, Crepani *et al.* (2001) consideram que a principal característica a ser considerada para a determinação das 21 classes de vulnerabilidade é o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo. Ainda conforme os autores, os solos participam como produto direto do balanço entre a morfogênese e a pedogênese, apontando de maneira clara se predominam os processos erosivos da morfogênese ou se prevalecem os processos de pedogênese que geram solos bem desenvolvidos. O quadro 14 mostra os valores de vulnerabilidade atribuídos aos principais tipos de solos.

Quadro 14 – Valores de Vulnerabilidade/estabilidade dos solos

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo <i>et al.</i>, 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999)	Vul.
Latossolos Amarelos	Latossolos Amarelos	1,0
Latossolos Vermelho-Amarelos	Latossolos Vermelho-Amarelos	
Latossolos Vermelho-Escuros	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Roxos	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Brunos	Latossolos Brunos	
Latossolos Húmicos	Latossolos (...) Húmicos	
Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Bruno (...) Húmicos	
Podzólicos Amarelos	Argissolos	2,0
Podzólicos Vermelho-Amarelos	Argissolos, Luvisolos, Alissolos, Nitossolos	
Podzólicos Vermelho-Escuros	Argissolos, Luvisolos, Alissolos, Nitossolos	
Terras Roxas Estruturadas	Nitossolos	
Brunos Não-Cálcicos	Luvisolos	
Brunizéns	Chernossolos	
Brunizéns Avermelhados	Chernossolos	
Rendzinas	Chernossolos	
Planossolos	Planossolos	
Solos Hidromórficos (abrupticos)	Planossolos	
Podzóis	Espodossolos	
Cambissolos	Cambissolos	2,5
Solos Litólicos	Neossolos Litólicos	3,0
Solos Aluviais	Neossolos Flúvicos	
Regossolos	Neossolos Regolíticos	
Areias Quartzosas	Neossolos Quartzarênicos	
Vertissolos	Vertissolos	
Solos Orgânicos	Organossolos	
Solos Hidromórficos (não abrupticos)	Gleissolos	

Glei Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Glei Pouco Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Plintossolo	Plintossolos	
Laterita Hidromórfica	Plintossolos	
Solos Concrecionários Lateríticos	Plintossolos	
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	

Fonte: Modificada de Crepani *et al.* (2001) incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solos de Embrapa (1999) baseada em Prado (2001).

Para o tema Uso e Cobertura da terra, Crepani *et al.* (2001) consideram que o parâmetro a ser obtido para a determinação das classes de vulnerabilidade é a densidade de cobertura vegetal. Esse é um parâmetro considerado muito importante, pois a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos de erosão. A cobertura vegetal impede o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que propicia a desagregação das partículas de solos, impede a compactação do solo que reduz a capacidade de absorção de água, eleva a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva e, ainda, sustenta a vida silvestre que, devido a presença de estruturas biológicas, como raízes de plantas, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo.

Desta maneira, a participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural está diretamente vinculada à sua capacidade de proteção aos solos. Assim, os processos pedogenéticos ocorrem em situações em que a cobertura vegetal é mais densa, permitindo o desenvolvimento e maturação do solo, enquanto os processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade mais baixa. Assim sendo, para as áreas que possuem uma cobertura vegetal densa são atribuídos valores de vulnerabilidade baixos. Já as áreas que apresentam uma baixa densidade de cobertura vegetal e maior intensidade de uso do solo pelas atividades antrópicas, atribuem-se valores de vulnerabilidade mais altos, como pode ser observado no quadro 15.

Quadro 15 – Vulnerabilidade/ estabilidade para as classes de uso e cobertura da terra.

Tipo de uso e cobertura da terra	Vulnerabilidade
Floresta Ombrófila Densa	1,0
Floresta Ombrófila Aberta	1,2
Floresta Ombrófila Mista	1,3

Floresta Estacional Semidecidual	1,6
Floresta Estacional Decidual	2,2
Campinarana Florestada	1,4
Campinarana Arborizada	1,9
Campinarana Arbustiva	2,3
Campinarana Gramíneo - Lenhosa	2,7
Savana, Savana-estépica e Estepe Florestada	1,7
Savana, Savana-estépica e Estepe Arborizada	2,1
Savana, Savana-estépica e Estepe Arbustiva	2,5
Savana, Savana-estépica e Estepe Gramíneo - Lenhosa	2,7
Vegetação com influência marinha, flúvio-marinha, fluvial e lacustre Arbórea	1,4
Vegetação com influência marinha, flúvio-marinha, fluvial e lacustre Arbustiva	2,3
Vegetação com influência marinha, flúvio-marinha, fluvial e lacustre Herbácea	2,7
Refúgio montano e alto-montano Arbustivo	2,3
Refúgio montano e alto-montano Herbáceo	2,7
Pastagens	2,8
Silvicultura	2,2
Áreas Úmidas	2,5
Cultura Perene	2,9
Cultura Anual	3,0
Solo exposto	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI *et al.*, 2001.

Após ser atribuído valores de vulnerabilidade para todas as classes, de todos os mapas temáticos (geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura da terra), deve ser calculado uma média aritmética entre esses mapas para determinar o grau de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem (ou Unidade Territorial Básica - UTB), conforme a equação 2. A integração desses mapas é feita via Álgebra de Mapas em ambiente SIG.

$$\text{VULNERABILIDADE} = \frac{G + G_e + S + UC}{4} \quad (2)$$

Onde:

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia

Ge = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = Vulnerabilidade para o tema Solos

UC = Vulnerabilidade para o tema Uso e Cobertura da Terra

A figura 10 demonstra o exemplo do cálculo da referida vulnerabilidade para uma unidade de paisagem, apoiado no valor de vulnerabilidade à perda de solo atribuído a cada classe de cada tema, aplicando a equação 2.

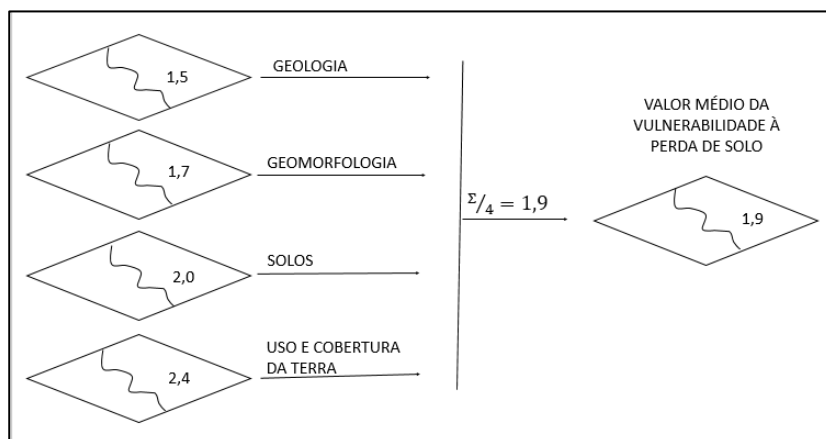


Figura 10 – Modelo esquemático do cálculo da vulnerabilidade à perda de solo de uma unidade de paisagem.

Elaboração: AUTORA, 2018.

Deste modo, as unidades com valores de vulnerabilidade entre 1,0 e 1,3 foram definidas como estáveis, as que apresentaram valores de 1,4 a 1,7 foram classificadas como moderadamente estáveis, as que apresentaram valores no intervalo de 1,8 a 2,2 foram classificadas como medianamente estável/vulnerável. Os valores entre 2,3 e 2,6 definiram a classe moderadamente vulnerável e, por fim, as unidades com valores entre 2,7 e 3,0 foram classificadas como vulneráveis.

4 Caracterização populacional, socioeconômica e uso da terra no município de Pelotas

4.1 Caracterização populacional e socioeconômica do município de Pelotas

De acordo com a Prefeitura Municipal de Pelotas (2018), a história da ocupação do município de Pelotas teve início em junho de 1758, quando o Coronel Thomáz Luiz Osório recebeu de Gomes Freire de Andrade a doação das terras que localizavam-se às margens da Lagoa dos Patos. No ano de 1763, estas terras começaram a ser ocupadas por habitantes refugiados da Vila de Rio Grande e por retirantes da Colônia de Sacramento.

A partir desta ocupação, teve início a instalação da primeira charqueada no ano de 1780 nas margens do arroio Pelotas. A localização favorecida serviu de estímulo para a criação de outras charqueadas próximo aos cursos da água que favoreciam o escoamento da produção, promovendo o crescimento da região e marcando o início do desenvolvimento econômico da cidade de Pelotas (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2018).

No quadro 16, observa-se os dados disponibilizados pelo IBGE (2018), que se referem aos censos populacionais realizados na área de estudo nos anos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Quadro 16 – Censo populacional do município de Pelotas/RS referente aos anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Censo populacional	1970	1980	1991	2000	2010
Rural	53.127	55.177	25.908	22.077	22.082
Urbana	154.742	204.817	265.192	301.081	306.193

Total	207.869	259.994	291.100	323.158	328.275
-------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: IBGE, 2018. Organização: AUTORA, 2018.

Analizando os respectivos dados, verifica-se que o município de Pelotas possuía em 2010 (ano do último censo populacional) uma população de 328.275 habitantes. Para o ano de 2017, o IBGE (2017) estima que a população seja de 344.385 habitantes, o que representa um acréscimo de 16.110 pessoas, cerca de 4,68% em comparação ao censo de 2010.

Os dados apresentados no quadro 16 também demonstram que nos últimos 40 anos vem ocorrendo um aumento da população urbana na área de estudo. No ano de 1970, a população do município de Pelotas era de 207.869 habitantes, sendo que cerca de 25,52% residia na zona rural e 74,48% residia na zona urbana. Já no ano de 2010, o município contava com uma população de 328.275 habitantes, sendo 6,73% da zona rural e 93,27% da zona urbana (Figura 11). Isso constata um aumento de 18,79% na taxa de urbanização entre 1970 e 2010.

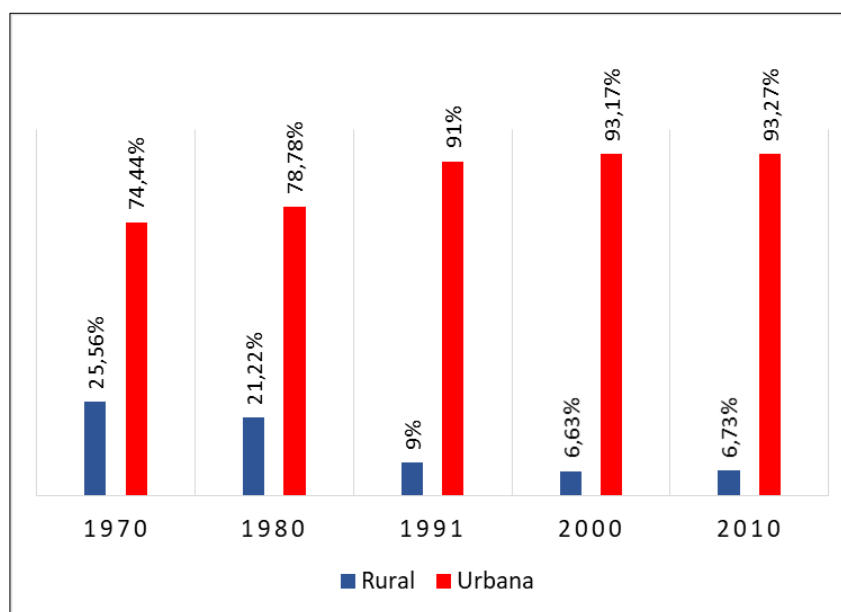


Figura 11 - Percentual de população urbana e rural no município de Pelotas nos anos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Fonte: IBGE, 2018.

Organização: AUTORA, 2018.

Atualmente, a cidade de Pelotas é considerada o terceiro maior centro urbano do estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2018) e, além de ser considerada um polo comercial na região sul do estado, é considerada uma cidade universitária, uma cidade histórica e um polo turístico.

Pelotas conta com cinco instituições de ensino superior: a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), a Universidade Católica de Pelotas (UCPEL), o

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSUL), a Faculdade Atlântico Sul e a Faculdade de Tecnologia SENAC. A presença dessas universidades promove uma intensa migração de estudantes de outras regiões para Pelotas.

Como cidade histórica, Pelotas abriga um conjunto arquitetônico cultural riquíssimo, considerado patrimônio histórico e artístico nacional e patrimônio cultural do estado do Rio Grande do Sul (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2018). O centro histórico da cidade é rico em prédios do estilo Eclético. De acordo com Dutra *et al.* (2017), este patrimônio cultural arquitetônico de influência europeia é considerado um dos maiores de estilo Eclético do Brasil, em quantidade e qualidade, com 1300 prédios inventariados.

Quanto ao turismo, este está em plena expansão em Pelotas dividido aos campings, a culinária, as trilhas ecológicas orientadas, aos parques e aos arroios e cachoeiras da zona rural do município. Outro grande atrativo turístico são os balneários da Lagoa dos Patos, especialmente a Praia do Laranjal (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2018).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), segundo Megiato (2011), é importante para o conhecimento do grau de desenvolvimento econômico e da qualidade de vida que é oferecida para os habitantes da área que está sendo estudada. Esse índice é calculado com base em três variáveis: renda, longevidade e educação. Seu valor varia de 0 a 1, sendo que quanto mais alto o valor, melhor é a qualidade de vida.

Através dos dados apresentados no quadro 17, extraídos do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2010) criado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), observa-se que a área de estudo alcançou um IDH de 0,739, atingindo uma faixa de desenvolvimento considerada alta. Em relação ao Ranking de IDH do Brasil, o município de Pelotas ocupa a 795ª posição.

Quadro 17 - Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município de Pelotas.

Variável	Índice
Renda	0,758
Longevidade	0,844
Educação	0,632
IDH	0,739

Fonte: ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL, 2010.

Organização: AUTORA, 2018.

Em relação às características socioeconômicas, o comércio e o setor primário são as principais atividades econômicas do município de Pelotas. O comércio é responsável por uma parte significativa do Produto Interno Bruto (PIB) do município (MEGIATO, 2011).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Pelotas (2018), Pelotas é considerada a maior produtora de pêssego para a indústria de conservas do país. Analisando as estatísticas do ITEPA (2017) referentes ao ano de 2014 (Quadro 18), o município contou com 2.960 hectares de área da fruta plantada, o que resultou em uma produção de 29.900 toneladas. Essas estatísticas ainda apontam que, além da produção do pêssego, são produzidos também: soja em 18.000 hectares; milho em 10.500 hectares; arroz em 7.177 hectares; fumo em 4.000 hectares; feijão em 4.000 hectares, entre outros.

Quadro 18 – Produção em hectares (ha) e toneladas (t) de produtos agrícolas do município de Pelotas/RS no ano de 2014.

Produto	Área Plantada (Hectares)	Quantidade Produzida (Toneladas)
Soja	18.000	48.600
Milho	10.500	63.000
Arroz	7.177	53.038
Feijão	4.000	480
Fumo	4.000	9.600
Pêssego	2.960	29.900
Batata-Doce	700	5.600
Laranja	407	977
Batata-Inglesa	240	1.590
Cebola	200	2.400
Tomate	80	4.800
Melancia	50	5.820

Sorgo	-	-
Trigo	-	-

Fonte: ITEPA, 2017.

Organização: AUTORA, 2018.

Na pecuária, segundo estimativas do IBGE (2018a) sobre a produção da pecuária municipal do ano de 2017 (Quadro 19), no município de Pelotas teve destaque a criação de bovinos (50.796 cabeças), galináceos (41.586 cabeças), equinos (6.507 cabeças), ovinos (4.884 cabeças) e vacas ordenhadas (4.875 cabeças).

Quadro 19 – Pecuária em Pelotas.

Produto	Efetivo de rebanho
Bovinos	50.796 cabeças
Galináceos	41.586 cabeças
Equinos	6.507 cabeças
Ovinos	4.884 cabeças
Vacas ordenhadas	4.875 cabeças
Suínos	3.972 cabeças
Ovinos tosquiados	3.907 cabeças
Bubalinos	785 cabeças
Caprinos	446 cabeças
Codornas	57 cabeças
Leite de vaca	19.456 litros
Ovos de galinha	1.000 dúzias

Fonte: IBGE, 2018a.

Organização: AUTORA, 2018.

Quanto à extração vegetal e silvicultura, o município apresentou, em 2017, 3.945 hectares de área plantados com eucalipto, pinus e outras espécies, além de uma produção de 103 toneladas de carvão vegetal, 136.078m³ de lenha e 16.062m³ de madeira em tora (IBGE, 2018b).

Em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), que representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos no município durante um determinado período, o município de Pelotas apresentou, no ano de 2013, um valor equivalente a R\$5.920.550. Já o PIB per capita, que é o PIB dividido pela quantidade de habitantes de Pelotas, foi de R\$17.353 (ITEPA, 2017).

4.2 Análise do uso e cobertura da terra

Em conformidade com o IBGE (2013a), o levantamento da cobertura e do uso da terra possibilita analisar a distribuição geográfica das tipologias de usos, identificadas através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Diante disso, esse levantamento constitui uma importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão, pois através dele é possível obter conhecimento atualizado das formas de uso e ocupação do espaço.

O termo cobertura da terra está associada com os tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto conseguem registrar. As imagens não registram atividades diretamente. Compete ao intérprete buscar associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que é basicamente informação de cobertura da terra (FILHO; MENESES; SANO, 2007).

O índice Kappa permitiu a avaliação do mapa de uso e cobertura da terra gerado para a área de estudo. Isto se deve ao fato de o índice Kappa utilizar toda a matriz de erros em seu cálculo, até mesmo os elementos que estão fora da diagonal principal, diferentemente da exatidão global, que representa a concordância de classificação para todo o mapa de um modo geral, pois seu cálculo é feito dividindo-se o total dos elementos da diagonal principal da matriz pelo número total de unidades amostrais contempladas pela matriz, utilizando apenas os elementos diagonais da matriz (OLIVEIRA, 2010).

Na tabela 3 está representada a matriz de erros resultante da classificação das bandas do sensor LANDSAT-OLI, que indica que o mapa de uso do solo e cobertura vegetal do município de Pelotas apresentou exatidão global de 94,21% e o índice de exatidão $K=0,93$, considerado como sendo excelente, de acordo com a qualidade de classificação associada aos valores da estatística Kappa, proposta por Landis e Koch (1977), apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Qualidade da classificação em relação ao valor Kappa.

Valor Kappa	Qualidade da Classificação
0,00	Péssima
0,01 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável

0,41 – 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito Boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS; KOCH, 1977.

Tabela 3 - Matriz de Erros: bandas do sensor LANDSAT - OLI.

Exatidão Global 94,21% ÍNDICE KAPPA 0,93		CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA – IMAGENS LANDSAT 8 (Nº de Amostras)									
		Áreas Campestres e Pastagens	Lavouras Temporárias	Áreas Descobertas	Vegetação Natural Florestal	Áreas Úmidas	Corpos D'água	Área Urbanizada	Silvicultura	TOTAL	Exatidão do Usuário
V E R D A D E D E C A M P O	Áreas Campestres e Pastagens	46	4	0	0	0	0	0	0	50	92,00%
	Lavouras Temporárias	6	47	0	0	0	2	0	1	56	83,93%
	Áreas Descobertas	1	1	54	0	1	1	0	1	59	91,53%
	Vegetação Natural Florestal	0	0	0	58	0	0	1	0	59	98,30%
	Áreas Úmidas	0	0	0	0	37	0	0	0	37	100%
	Corpos D'água	0	0	0	0	1	48	0	0	49	97,96%
	Área Urbanizada	0	0	0	0	0	0	23	0	23	100%
	Silvicultura	0	0	0	1	1	0	0	45	47	95,74%
	TOTAL	53	52	54	59	40	51	24	47	380	
	Exatidão do Produtor	86,79%	90,38%	100%	98,30%	92,50%	94,12%	95,83%	95,74%		

Organização: AUTORA, 2018.

Ao analisar a acurácia das classes individuais através dos valores da exatidão do usuário, que se referem às porcentagens de acerto da classificação em relação à verdade de campo, é possível efetuar uma análise mais detalhada.

Deste modo, observa-se na matriz de erros da classificação realizada sobre as bandas das imagens LANDSAT 8 que a exatidão do usuário, de forma geral, apresentou valores superiores a 90%, com exceção da classe correspondente às Lavouras Temporárias que mostrou uma exatidão de 83,93%, porém, esse valor também é considerado bom.

A partir da figura 12 e da tabela 4 observa-se as classes de uso e cobertura da terra encontradas no município de Pelotas para o mês de agosto do ano de 2017. Neste mapa, foram identificadas 8 classes, sendo elas: Áreas Campestres e Pastagens, Lavouras Temporárias, Áreas Descobertas, Vegetação Natural Florestal, Áreas Úmidas, Corpos D'água, Área Urbanizada e Silvicultura.

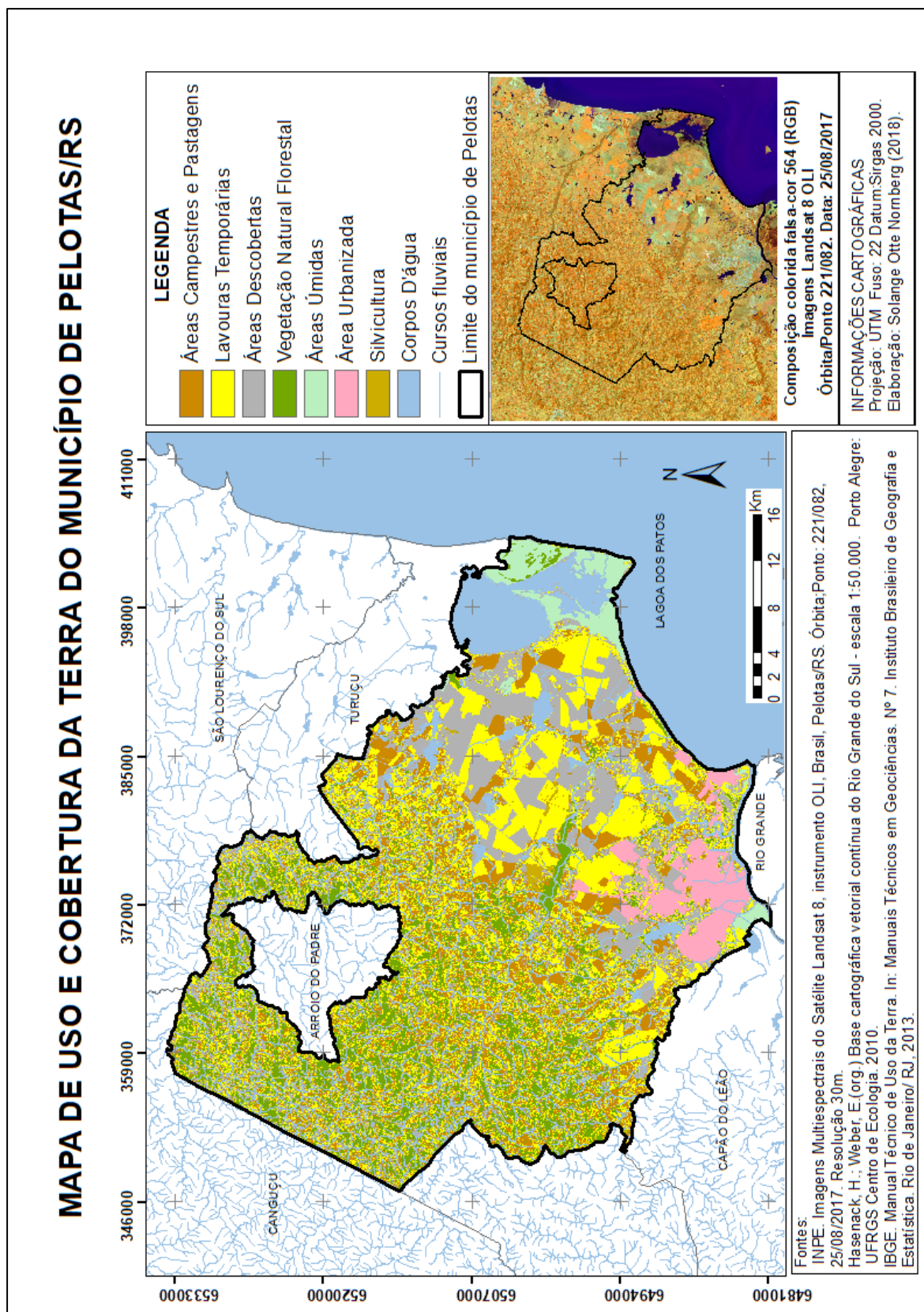


Figura 12 – Mapa de uso e cobertura da terra do município de Pelotas/RS.
 Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 4 – Classes referentes ao uso e cobertura da terra e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas para o mês de agosto de 2017.

Classes de uso e cobertura da terra	Área (Km ²)	Área (%)
Lavouras Temporárias	462,54	28,72
Áreas Descobertas	356,04	22,10
Vegetação Natural Florestal	289,26	17,97
Áreas Campestres e Pastagens	286,89	17,83
Corpos D'água	90,60	5,63
Área Urbanizada	64,90	4,03
Áreas Úmidas	48,12	2,99
Silvicultura	11,73	0,73

Organização: AUTORA, 2018.

A classe que representa as áreas de lavouras temporárias (Figura 13) é a mais significativa no município de Pelotas, ocupando 28,72%, cerca de 462,54Km² da área de estudo (Figura 13). A porção norte do município de Pelotas, onde se encontram as maiores altitudes do município (elevações de até 380m), possui características estritamente rurais, onde se desenvolvem pequenas propriedades com cultivos mistos, como: hortaliças, milho, feijão, batata e fumo. Já na porção sul e sudeste do município, caracterizada por apresentar áreas mais planas, com altitudes de até 12m, concentra-se as grandes propriedades rurais da região, voltadas para a implementação de culturas agrícolas de apenas um tipo de produto (monocultura), como é o caso do arroz e da soja.

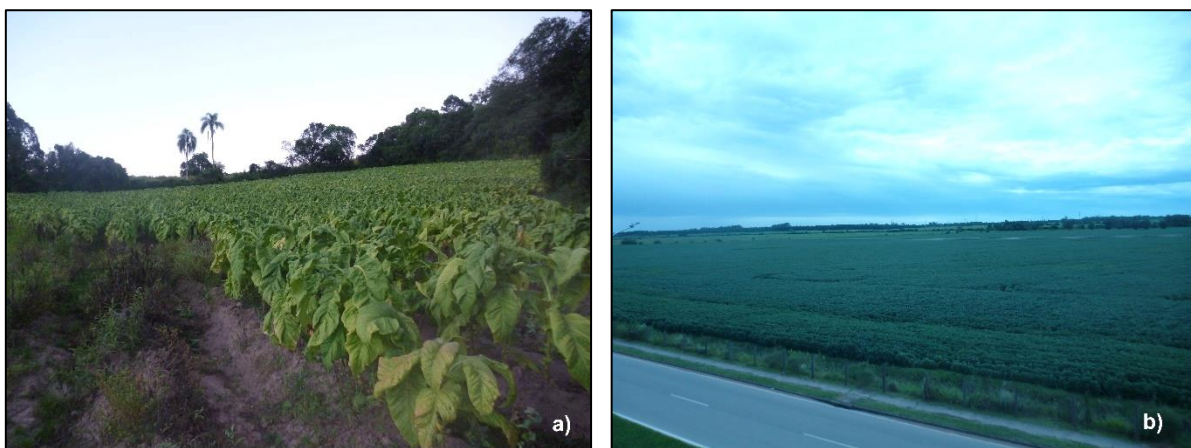


Figura 13 – Lavouras temporárias no município de Pelotas - a) Lavoura de fumo. b) Lavoura de soja.
a) 6516025.22m N e 358256.50m E / Orientação: N / Altitude: 134m.
b) 6497487.73m N e 373265.05m E / Orientação NE / Altitude: 27m.
Fonte: AUTORA, 2018.

A segunda classe com maior representatividade na área de estudo é a classe correspondente às áreas descobertas (Figura 14), que ocupam em torno de 22,10%,

cerca de 356,04Km². Essas áreas, como se observa no mapa de uso e cobertura da terra, localizam-se em porções variadas do município de Pelotas e correspondem às regiões que possuem depósitos arenosos, rochas expostas e áreas onde a cobertura vegetal foi suprimida.



Figura 14 – Áreas descobertas no município de Pelotas - a) Lavoura sendo preparada para plantio. b) Área desmatada.

a) 6515022.48131m N e 360733.70219m E / Orientação: SE / Altitude: 163m.

b) 6514039.5325m E e 349755.583767m E / Orientação: NE / Altitude: 180m.

Fonte: AUTORA, 2018.

As áreas de vegetação natural florestal totalizam 17,97% da área de estudo, em torno de 289,26Km², sendo composta principalmente pela Floresta Estacional Semidecidual (Figura 15). Em Pelotas, essas áreas apresentam-se bem distribuídas no município e possuem uma vegetação preservada, com pouca ou nenhuma influência antrópica, como as áreas de mata ciliar ao redor dos corpos d'água, a mata nativa localizada nos topos de morros e os capões de mato.



Figura 15 – Floresta Estacional Semidecidual no município de Pelotas.

6513912.31624m N e 350136.947165m E / Orientação: SE / Altitude: 141m.

Fonte: AUTORA, 2018.

Com características espaciais semelhantes das áreas de vegetação natural florestal, a classe que corresponde as áreas de vegetação campestre e pastagens (Figura 16) representa 17,83% da área de estudo (286,89Km²), estando localizada

tanto na PCRS como no ESRG. Essas áreas foram classificadas desse modo em razão da dificuldade de separar os tipos de uso na escala trabalhada. Em relação à localização espacial, essas áreas estão bem distribuídas pelo município, encontrando-se muitas vezes em condições do relevo impróprio para uso agrícola. Verifica-se, nessa classe, os campos naturais com criação de ovinos, equinos, caprinos, atividades de pecuária leiteira, criação de gado de corte e também as áreas com pastagens naturais e plantadas.

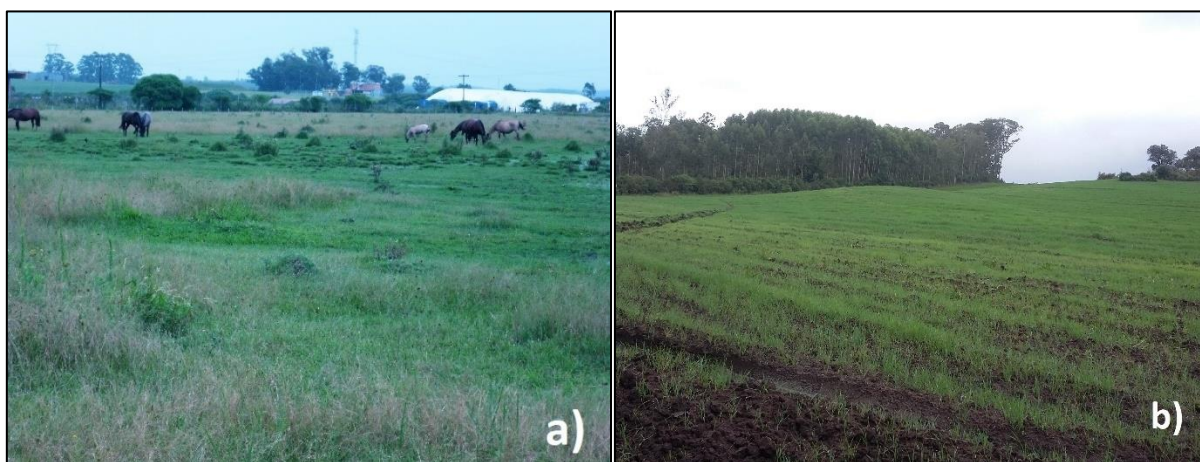


Figura 16 – Áreas campestres e pastagens no município de Pelotas - a) Campo utilizado para a criação de equinos. b) Pastagem plantada.

a) 6498166.43m N e 373362.41m E / Orientação: NE / Altitude: 28m.

b) 6516019.13m N e 357093.68m E / Orientação: L / Altitude: 130m.

Fonte: AUTORA, 2018.

A classe correspondente aos corpos d'água representa 5,63% da área territorial do município de Pelotas, o que corresponde a 90,60Km² (Figura 17). Essa classe apresenta-se espacializada em regiões pontuais, principalmente na região sul do município e corresponde aos corpos d'água continental naturais e artificiais, tais como os arroios, canais, lagos e lagoas de água doce, reservatórios e açudes localizados na área de estudo.



Figura 17 – Corpos d'água no município de Pelotas - a) Açude localizado em uma propriedade rural. b) Reservatório Santa Bárbara.

a) 6515658.82081m N e 356940.895015m E / Orientação: NE / Altitude: 136m.

b) 6489905.25m N e 369474.22m E / Orientação: SO / Altitude: 10m.

Fonte: AUTORA, 2018.

A classe que corresponde as áreas urbanizadas no município possui pouca representatividade, cerca de 4,03% (64,90Km²) (Figura 18). No mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo, as áreas urbanas se encontram concentradas na porção sul, onde está situada a cidade de Pelotas. Nessas áreas é possível observar diversas moradias que apresentam problemas quanto à infraestrutura e ao saneamento ambiental, as quais geralmente encontram-se situadas em áreas de risco, na maioria das vezes localizadas em áreas periféricas da cidade.

Outro problema também verificado na cidade de Pelotas é em relação ao *déficit* de áreas verdes urbanas. De acordo com o Mapeamento das áreas verdes urbanas do município de Pelotas (RS) elaborado por Teixeira *et al.* (2015), a cidade contava com um Índice de Área Verde (IAV) de apenas 6,40m² por habitante. Este índice é insatisfatório, comparado com o recomendado pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Organização Mundial da Saúde, que é acima de 12m² de área verde por habitante em zonas urbanas.



Figura 18 – Área urbanizada - a) Rua Andrade Neves - b) Avenida Dom Joaquim.

a) 6484273.145m N e 372811.78m E / Orientação: NE / Altitude: 15m.

b) 6487640.02m N e 372684.11m E / Orientação: SO / Altitude: 17m.

A classe correspondente às áreas úmidas (ou também área de banhados) totalizou 2,99%, cerca de 48,12Km² (Figura 19). Essas áreas encontram-se localizadas ao sul da área de estudo, próximas aos principais corpos d'água.

As áreas úmidas, de acordo com o Relatório de Qualidade Ambiental do Município de Pelotas (2016), são consideradas ecossistemas essenciais à vida e à qualidade das águas da região onde se localizam. Essas áreas configuram-se como grandes criadouros naturais de animais aquáticos e peixes e também lugar de reprodução de insetos, aves, répteis e anfíbios. As áreas úmidas também atuam como grandes esponjas naturais, retendo o excesso das águas pluviais e liberando, posteriormente, em períodos menos chuvosos.



Figura 19 – Áreas úmidas no município de Pelotas - a) Áreas úmidas próximas ao Canal São Gonçalo, entre o Arroio Santa Bárbara em 1º plano e o Arroio Fragata em 2º plano; b) Área úmida e sua vegetação característica próximo à localidade do Barro Duro.

a) 6482977.46868m N e 371388.663228m E / Orientação: SO.

b) 6488131.69502m N e 384208.674526m E / Orientação: NO.

Fonte: SILVA, 2017.

A classe de menor representatividade no mapa de uso e cobertura da terra do município de Pelotas é a classe correspondente às áreas de silvicultura, que totalizou 0,73%, cerca 11,73Km² na área de estudo. Essa classe, como demonstra o

mapa, apresenta-se espacializada em regiões pontuais no município e representa as áreas ligadas à implementação de espécies exóticas, como as florestas de eucalipto e pinus (Figura 20).



Figura 20 – Área de silvicultura no município de Pelotas.
6515104.25921m N e 358459.014745m E / Orientação: NO / Altitude: 184m.
Fonte: AUTORA, 2018.

Analizando o mapa de uso e cobertura da terra do município de Pelotas, percebe-se que cerca de 73,41% do total da área territorial municipal apresenta interferência de atividades antrópicas, como é o caso das áreas utilizadas para a pecuária e a agricultura. Essas áreas permitem haver maior fragilidade nessas regiões devido ao seguido preparo e revolvimento dos solos para essas culturas, além da falta de realização de pousio nesses solos. Frequentemente, verifica-se a ausência de manejo adequado dos solos sem práticas conservacionistas que objetivam reduzir os impactos provocados pela agricultura.

Ross (1994), em sua metodologia para análise da fragilidade ambiental, considera que quanto menor for o grau de proteção aos solos pela cobertura vegetal, maior deverá ser o grau de fragilidade desses solos e quanto maior for o grau de proteção, menor será o grau de fragilidade. Desta maneira, este autor classificou os tipos de cobertura vegetal em graus de fragilidade que variam de muito fraco (1) à muito forte (5), como pode ser visto no quadro 8² apresentado no capítulo 3.

Portanto, para as classes de usos e coberturas da terra encontradas na área de estudo, foram atribuídos graus de fragilidade baseados na classificação de Ross (1994), o que se observa no quadro 20.

² Ver página 59.

Quadro 20 – Fragilidade das classes de uso e cobertura da terra.

Classes de uso e cobertura da terra	Valor	Fragilidade
Vegetação Natural Florestal	1	Muito fraca
Áreas Campestres e Pastagens	3	Média
Silvicultura	3	
Lavouras Temporárias	4	Forte
Áreas Úmidas	4	
Áreas Descobertas	5	Muito Forte

Organização: AUTORA, 2018.

Praticamente todas as classes de fragilidade estão presentes no que se refere ao uso e cobertura da terra. A classe mais fraca é representada onde se encontra as áreas de vegetação natural florestal, por essa dar uma maior estabilidade para o solo e não permitir grandes alterações no mesmo. E a classe mais elevada, que é a fragilidade considerada muito forte, é representada pelas áreas descobertas que são desprovidas de cobertura vegetal e, portanto, deixam os solos frágeis e suscetíveis à degradação.

A classe que representa as áreas campestres e pastagens e a classe que corresponde as áreas de silvicultura foram classificadas como de fragilidade média. As lavouras temporárias e as áreas úmidas foram classificadas com um grau de fragilidade forte.

As áreas urbanizadas e os corpos d'água não são considerados nessa classificação, pois para classificar as áreas urbanas quanto ao grau de proteção aos solos é necessário, segundo Ross (1994), distinguir os padrões de urbanização quanto à impermeabilização, às áreas verdes e à infraestrutura, como canalização das águas pluviais, asfaltamento, guias etc. – o que não faz parte da proposta desse trabalho. Igualmente, as áreas de corpos d'água requerem o aprofundamento de outros estudos que não foram contemplados por essa pesquisa.

Assim sendo, 17,97% do total da área territorial do município de Pelotas apresenta, no contexto dos usos e coberturas da terra, grau de fragilidade muito fraca, 18,56% grau de fragilidade médio, 31,71% grau de fragilidade forte e 22,10% grau de fragilidade muito forte (Figura 21).

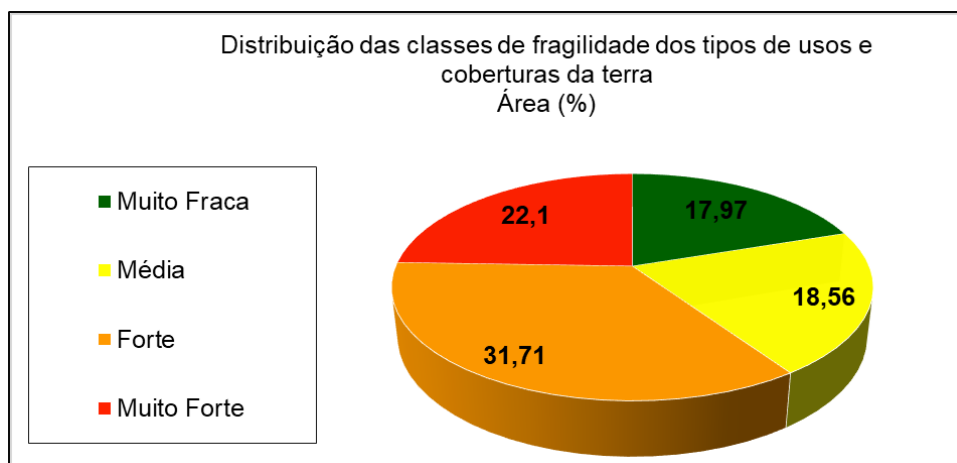


Figura 21 – Distribuição das classes de fragilidade dos tipos de usos e coberturas da terra.
Organização: AUTORA, 2018.

As classes de uso e cobertura da terra encontradas em Pelotas também foram classificadas quanto ao grau de vulnerabilidade à perda de solo de acordo com a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Segundo esses autores, a vegetação é um fator de grande importância na caracterização da vulnerabilidade à perda de solo de uma unidade de paisagem, pois vegetações que possuem uma alta densidade de cobertura vegetal evitam o impacto direto das águas das chuvas sobre o solo, o que favorece o predomínio dos processos pedogenéticos de formação do solo. Por outro lado, a falta de cobertura vegetal contribui para a instabilidade ambiental devido ao desenvolvimento de processos morfogenéticos de perda de solo.

A partir disso, com exceção das classes referentes aos corpos d'água e área urbanizada, todas as demais classes de uso e cobertura da terra encontradas na área de estudo foram classificadas com base no quadro 15³, no qual Crepani *et al.* (2001) atribuem valores de vulnerabilidade à perda de solo para alguns tipos de usos e coberturas da terra. Desse modo, as classes de uso e cobertura da terra de Pelotas foram classificadas conforme demonstra o quadro a seguir:

Quadro 21 – Vulnerabilidade das classes de uso e cobertura da terra.

Classes de uso e cobertura da terra	Valor	Vulnerabilidade
Vegetação Natural Florestal	1,6	Moderadamente Estável
Silvicultura	2,2	Medianamente Estável/Vulnerável
Áreas Úmidas	2,5	Moderadamente Vulnerável
Áreas Campestres e Pastagens	2,8	Vulnerável
Lavouras Temporárias	3,0	Vulnerável

³ Ver página 65-66.

Áreas Descobertas	3,0	Vulnerável
-------------------	-----	------------

Organização: AUTORA, 2018.

Desta forma, em relação ao tema uso e cobertura da terra, 17,97% do município de Pelotas se apresenta moderadamente estável, 0,73% medianamente estável/vulnerável, 2,99% moderadamente vulnerável e 68,65% vulneráveis a instalação de processos de perda de solo. Na figura 22 se observa a distribuição das classes de vulnerabilidade dos tipos de uso e cobertura da terra.

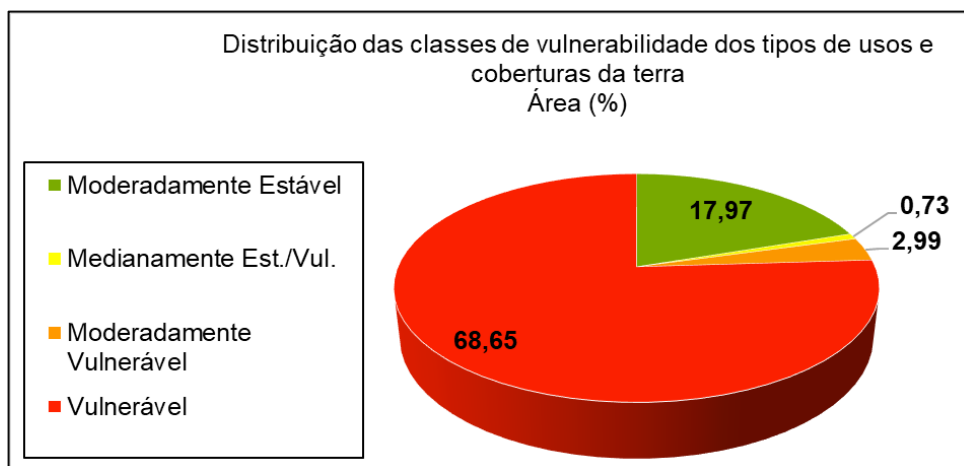


Figura 22 – Distribuição das classes de vulnerabilidade dos tipos de usos e coberturas da terra.
Organização: AUTORA, 2018.

5 Caracterização, mapeamento e fragilidades de elementos do meio físico do município de Pelotas

Neste capítulo serão apresentados e descritos os resultados obtidos através dos mapeamentos referentes a hipsometria, clinografia, geologia, geomorfologia e solos do município de Pelotas. O conhecimento dessas informações servirá tanto para o reconhecimento das características do meio físico da área de estudo, quanto como para a atribuição dos graus de fragilidade ambiental, conforme as propostas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001).

5.1 Mapa hipsométrico

O mapeamento hipsométrico do município de Pelotas permitiu o conhecimento do relevo e a identificação das áreas com as menores e as maiores altitudes na área de estudo.

Com base no modelo numérico do terreno (MNT), elaborado com as curvas de nível equidistantes em 20 metros e com os pontos cotados da área de estudo, foi possível calcular as respectivas áreas para cada classe de altitude, de acordo com os intervalos estabelecidos por Crepani *et al.* (2001) (Figura 23). Na tabela 5, observa-se a relação das classes de altitudes e as respectivas áreas ocupadas no

município de Pelotas.

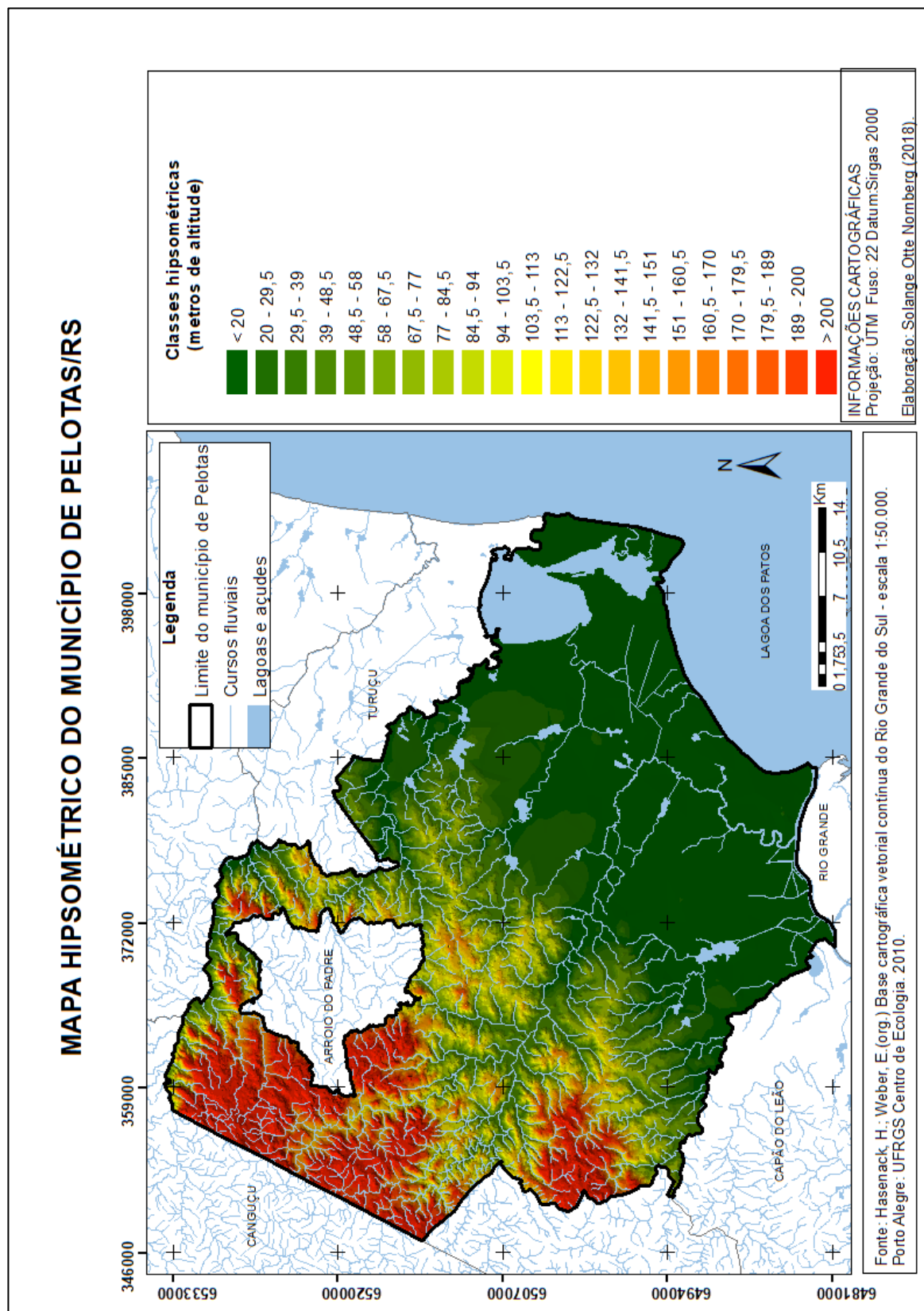


Figura 23 – Mapa hipsométrico do município de Pelotas/RS.
 Organização: AUTORA, 2018.

Tabela 5 - Relação das classes de altitudes e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.

Classes Hipsométricas (m)	Área (km²)	Área (%)	Classes Hipsométricas (m)	Área (km²)	Área (%)
< 20	652,85	40,55	113 – 122,5	42,47	2,64
20 – 29,5	115,57	7,17	122,5 - 132	18,44	1,15
29,5 - 39	38,09	2,37	132 – 141,5	33,68	2,09
39 – 48,5	132,82	8,25	141,5 - 151	16,30	1,01
48,5 - 58	32,24	2,00	151 – 160,5	32,30	2,01
58 – 67,5	78,43	4,87	160,5 - 170	16,00	0,99
67,5 - 77	29,73	1,85	170 – 179,5	15,03	0,93
77 – 84,5	50,27	3,12	179,5 - 189	27,66	1,72
84,5 - 94	24,98	1,55	189 - 200	34,07	2,12
94 – 103,5	49,91	3,10	> 200	145,60	9,04
103,5 – 113	23,64	1,47			

Organização: AUTORA, 2018.

O município de Pelotas possui altitudes compreendidas entre 01 metro, na área de influência da PCRS, até 398 metros, na área de influência do ESRG. O município encontra-se, em sua maior parte, entre altitudes inferiores a 20 metros. Essas áreas de baixas altitudes ocorrem principalmente na parte sul e sudeste do município, especialmente sobre a área de influência da PCRS. As porções norte e noroeste apresentam as maiores elevações do município e, conseqüentemente, muitas nascentes dos cursos d'água.

Crepani *et al.* (2001), em sua metodologia, classificou essas classes hipsométricas em diferentes graus de vulnerabilidade, como se observa no quadro 12⁴ apresentado no terceiro capítulo deste trabalho. O autor considera que as áreas que possuem altitudes entre 0m e 48,5m são consideradas estáveis e possuem baixos graus de vulnerabilidade à perda de solo (1,0 a 1,3). As áreas situadas em altitudes que variam de 48,5m a 84,5m são consideradas moderadamente estáveis, com graus de vulnerabilidade que variam entre 1,4 e 1,7. As áreas localizadas sobre altitudes que variam entre 84,5m e 132m são consideradas medianamente estável/vulnerável, com graus de vulnerabilidade médios (1,8 a 2,2). As áreas que apresentam altitudes entre 132m e 170m são consideradas moderadamente vulneráveis, com valores de vulnerabilidade que variam de 2,3 a 2,6. Já as áreas que possuem altitudes mais elevadas, com valores entre 170m e acima de 200m,

⁴ Ver página 63.

são consideradas vulneráveis à ocorrência de processos erosivos e, portanto, recebem os valores mais elevados de vulnerabilidade (2,7 a 3,0).

Desta maneira, o município de Pelotas apresenta, quanto as classes de vulnerabilidade hipsométrica, 58,34% de área estável à perda de solo, 11,84% moderadamente estável, 9,91% moderadamente estável/vulnerável, 6,10% moderadamente vulnerável e 13,82% vulnerável (Figura 24).

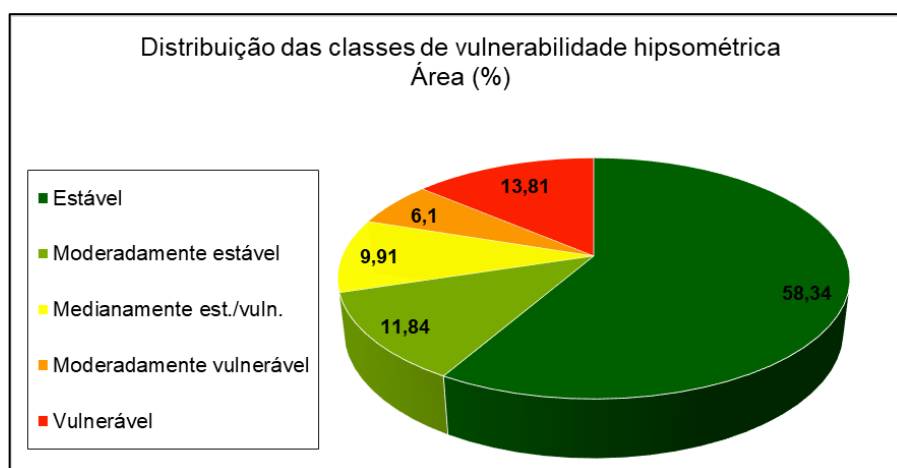


Figura 24 – Distribuição das classes de vulnerabilidade hipsométrica. Organização: AUTORA, 2018.

5.2 Mapas clinográficos

As declividades da área de estudo são uma importante característica morfológica e retratam as medidas de inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte (GUERRA, 1993). Através dos modelos de declividade é possível realizar a avaliação dos riscos de erosão, do potencial de uso dos solos para a agricultura e mecanização, além de contribuir na elaboração dos mapas de fragilidade ambiental.

Segundo Bias *et al.* (2012), a declividade do terreno relacionada com o comprimento de rampa é capaz de aumentar ou reduzir o volume de água infiltrada no solo, visto que quanto maior for o declive e o comprimento da rampa, mais volumosas se tornam as águas e sucessivamente maior será a velocidade de escoamento. Isso resulta em maior energia e, conseqüentemente, maior erosão.

Os mapas clinográfico do município de Pelotas puderam ser elaborados a partir do modelo numérico do terreno. Na figura 25 é apresentado o mapa

clinográfico da área de estudo, com as classes clinográficas propostas por Ross (1994). Na tabela 6 são apresentadas a relação das classes de declividade e as respectivas áreas ocupadas no município.

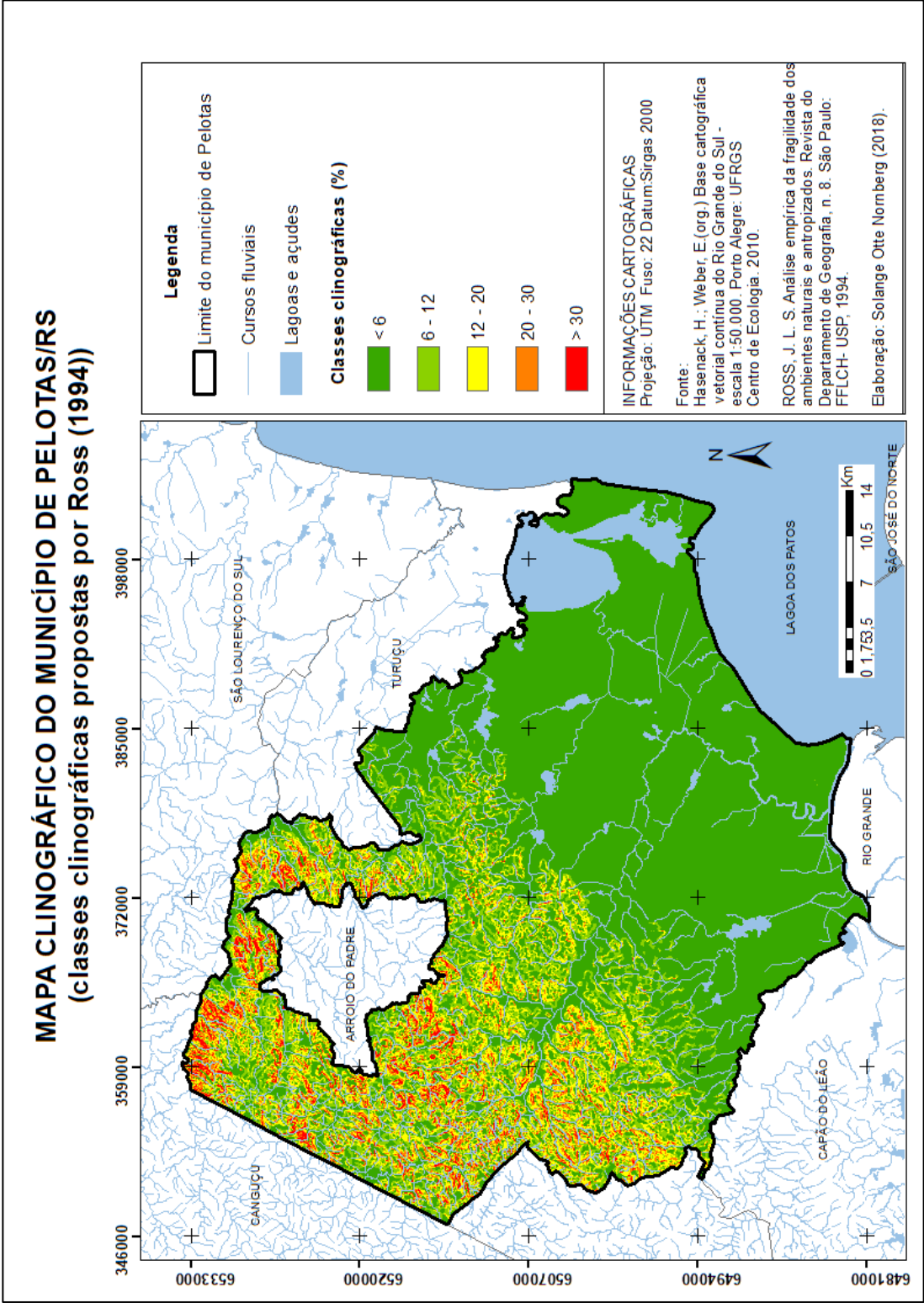


Figura 25 - Mapa clinográfico do município de Pelotas/RS (classes clinográficas propostas por Ross (1994)).
Elaboração: AUTORA, 2018.

Tabela 6 - Relação das classes de declividade e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.

Classes clinográficas (%)	Área (km ²)	Área (%)
< 6	1115,92	69,31
6 - 12	204,36	12,69
12 - 20	178,08	11,06
20 - 30	77,77	4,83
> 30	33,95	2,11

Fonte: AUTORA, 2018.

Conforme informações apresentadas observa-se que são predominantes no município de Pelotas declividades menores que 6%, as quais contabilizam uma superfície de 1115,92Km² ou 69,31% da área desse município. Estas áreas de baixas declividades são notórias marginal aos principais canais fluviais que drenam áreas do ESRG, mas também ao sul e sudeste do município, especialmente sobre a área de influência da PCRS.

As classes clinográficas consecutivas que representam as áreas com declividades entre 6 a 12% e 12 a 20%, correspondem, respectivamente, a 204,36Km² (aproximadamente 12,69%) e 178,08Km² (aproximadamente 11,06%) da área de estudo. São áreas que ocorrem principalmente nas porções central e leste de Pelotas.

As classes clinográficas que representam as áreas com declives entre 20 a 30% e superiores a 30% são menos significativas, ocorrendo em 77,77Km² (aproximadamente 4,83%) e 33,95Km² (aproximadamente 2,11%) da área territorial de Pelotas. Estas classes estão situadas principalmente no extremo norte do município.

Quanto ao grau de fragilidade dessas classes de declividade, Ross (1994) classificou a classe de declividade < 6% como grau de fragilidade muito fraca, 6 - 12% como grau de fragilidade fraca, 12 - 20% como grau de fragilidade média, 20 - 30% como grau de fragilidade forte e acima de 30% como grau de fragilidade forte. Sendo assim, a classe de fragilidade muito fraca predomina na área de estudo e as demais classes são menos significativas, como pode ser observado na figura 26.

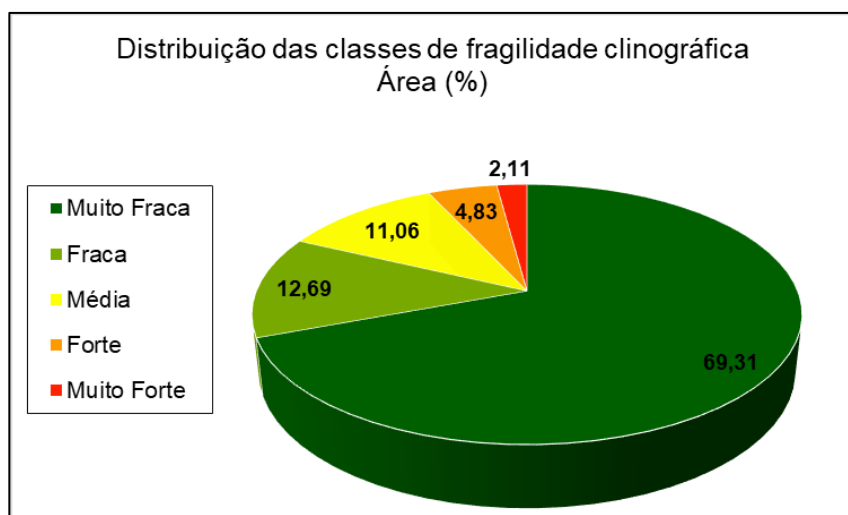


Figura 26 – Distribuição das classes de fragilidade clinográfica.
Organização: AUTORA, 2018.

O segundo mapa clinográfico elaborado para esse estudo está apresentado na figura 27. Esse mapa em questão foi gerado a partir da reclassificação do MNT em conformidade com as classes clinográficas propostas por Crepani *et al.* (2001). Na tabela 7 é apresentada a relação das classes de declividade propostas por esse autor e as respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.

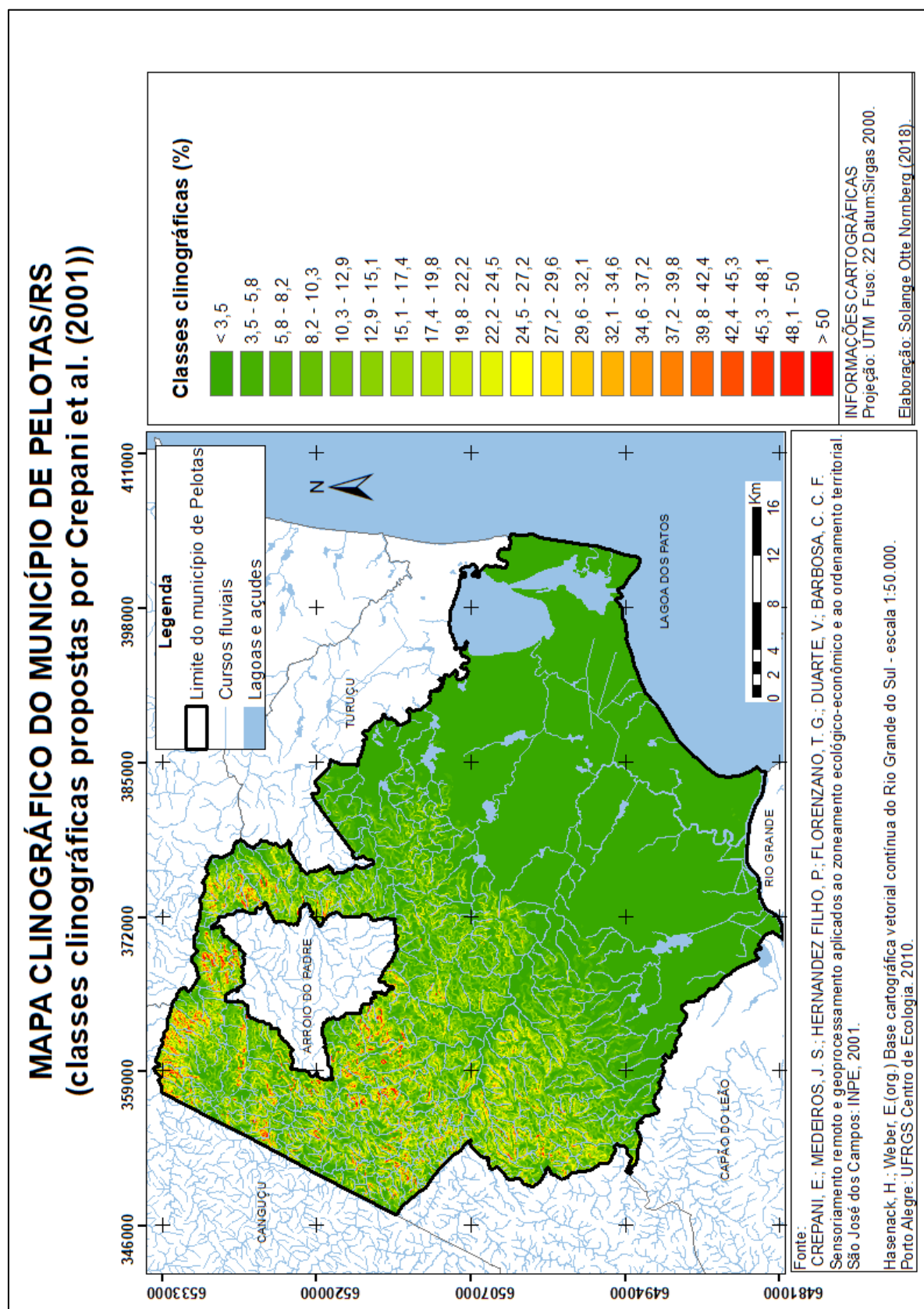


Figura 27 – Mapa clinográfico do município de Pelotas/RS (classes clinográficas propostas por Crepani et al. (2001)).
 Elaboração: AUTORA, 2018.

Tabela 7 - Relação das classes de declividade propostas por Crepani *et al.* (2001) e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.

Classes Clinográficas (%)	Área (km²)	Área (%)	Classes Clinográficas (%)	Área (km²)	Área (%)
< 3,5	1031,77	64,08	27,2 – 29,6	12,24	0,76
3,5 – 5,8	77,55	4,82	29,6 – 32,1	9,42	0,59
5,8 – 8,2	83,75	5,20	32,1 – 34,6	7,32	0,45
8,2 – 10,3	72,69	4,51	34,6 – 37,2	5,46	0,34
10,3 – 12,9	82,99	5,15	37,2 – 39,8	3,96	0,25
12,9 – 15,1	58,68	3,64	39,8 - 42,4	2,78	0,17
15,1 – 17,4	48,88	3,04	42,4 – 45,3	2,24	0,14
17,4 – 19,8	38,48	2,39	45,3 – 48,1	1,42	0,09
19,8 – 22,2	28,33	1,76	48,1 - 50	0,74	0,05
22,2 – 24,5	20,46	1,27	> 50	2,60	0,16
24,5 – 27,2	18,32	1,14			

Organização: AUTORA, 2018.

Nesse mapa clinográfico se percebe a predominância das classes de menor declividade, como as classes que representam as declividades de 0 - 3,5%, 3,5 - 5,8%, 5,8 - 8,2%, 8,2 - 10,3% e 10,3 - 12,9%, que ocupam, respectivamente, 64,08%, 4,82%, 5,20%, 4,51% e 5,15% da área territorial de Pelotas. Já as classes que correspondem as maiores declividades foram menos significativas, a exemplo das classes de declividade 45,3 - 48,1%, 48,1 - 50% e > 50, que ocuparam 0,09%, 0,05% e 0,16%, respectivamente.

Em relação ao grau de vulnerabilidade à perda de solo para o tema declividade, Crepani *et al.* (2001) consideram que as classes de declividade < 3,5% a 10,3% são estáveis à perda de solo, as classes entre 10,3% e 19,8% são moderadamente estáveis, as classes entre 19,8% e 32,1% são medianamente estáveis/vulneráveis, as classes entre 32,1% e 42,4% são moderadamente vulneráveis e as classes entre 42,4% a > que 50% são consideradas vulneráveis à perda de solo.

Desta forma, 78,61% do total da área territorial de Pelotas é considerada estável, 14,22% moderadamente estável, 5,52% medianamente estável/vulnerável, 1,21% moderadamente vulnerável e apenas 0,44% foi considerada vulnerável à perda de solo (Figura 28).

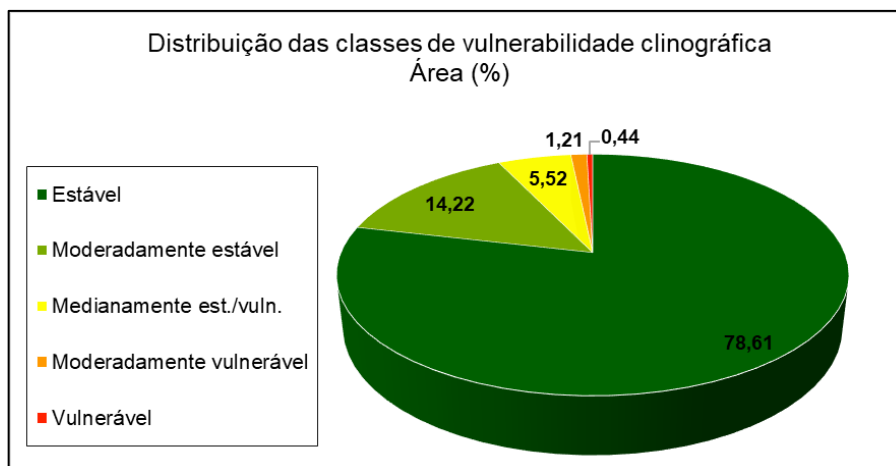


Figura 28 – Distribuição das classes de vulnerabilidade clinográfica.
Organização: AUTORA, 2018.

5.3 Geologia

O estado do Rio Grande do Sul, de acordo com Suertegaray e Fujimoto (2004), divide-se em cinco unidades morfoesculturais: Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, Depressão Periférica, Cuesta do Haedo, Planalto Meridional e Planície e/ou Terras Baixas Costeiras (Figura 29).

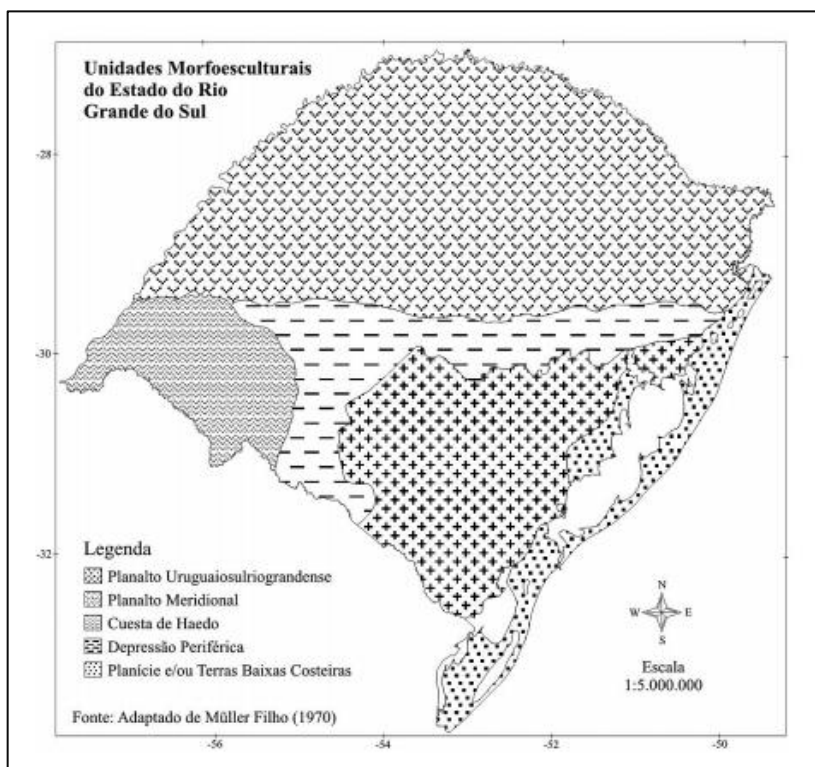


Figura 29 - Compartimentação das Unidades Morfoesculturais do Estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: SUERTEGARAY; FUJIMOTO, 2004.

O município de Pelotas compreende duas unidades morfoesculturais: a porção noroeste do município localiza-se sobre o Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense (também chamado de Escudo Sul-rio-grandense) e a porção sudeste situa-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS).

O Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), de acordo com Philipp *et al.* (2000), ocupa uma porção de 65.000Km², com origem que remonta ao período pré-cambriano, apresentando como unidade geotectônica o Batólito Pelotas. Segundo Vieira (2012), a constituição litológica do ESRG é constituída principalmente por rochas metamórficas e ígneas, com diferentes composições, representadas por arenitos e conglomerados com extensa variedade litológica.

A PCRS é definida por Tomazelli e Willwock (2000, p. 1) como sendo “uma área de terras baixas que, cobrindo cerca de 33.000Km², se constitui na mais ampla planície litorânea do território brasileiro”. No município de Pelotas, segundo Silva (2017), a PCRS possui dimensões aproximadas de 720Km², cerca de 44,8% da área territorial do município.

Na figura 30 estão representadas as unidades geológicas encontradas no município de Pelotas de acordo com o mapa geológico do Rio Grande do Sul da CPRM (2008), juntamente com a limitação da área de influência da PCRS retirada do trabalho de Silva (2017). Na tabela 8 se encontra a relação das unidades geológicas e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.

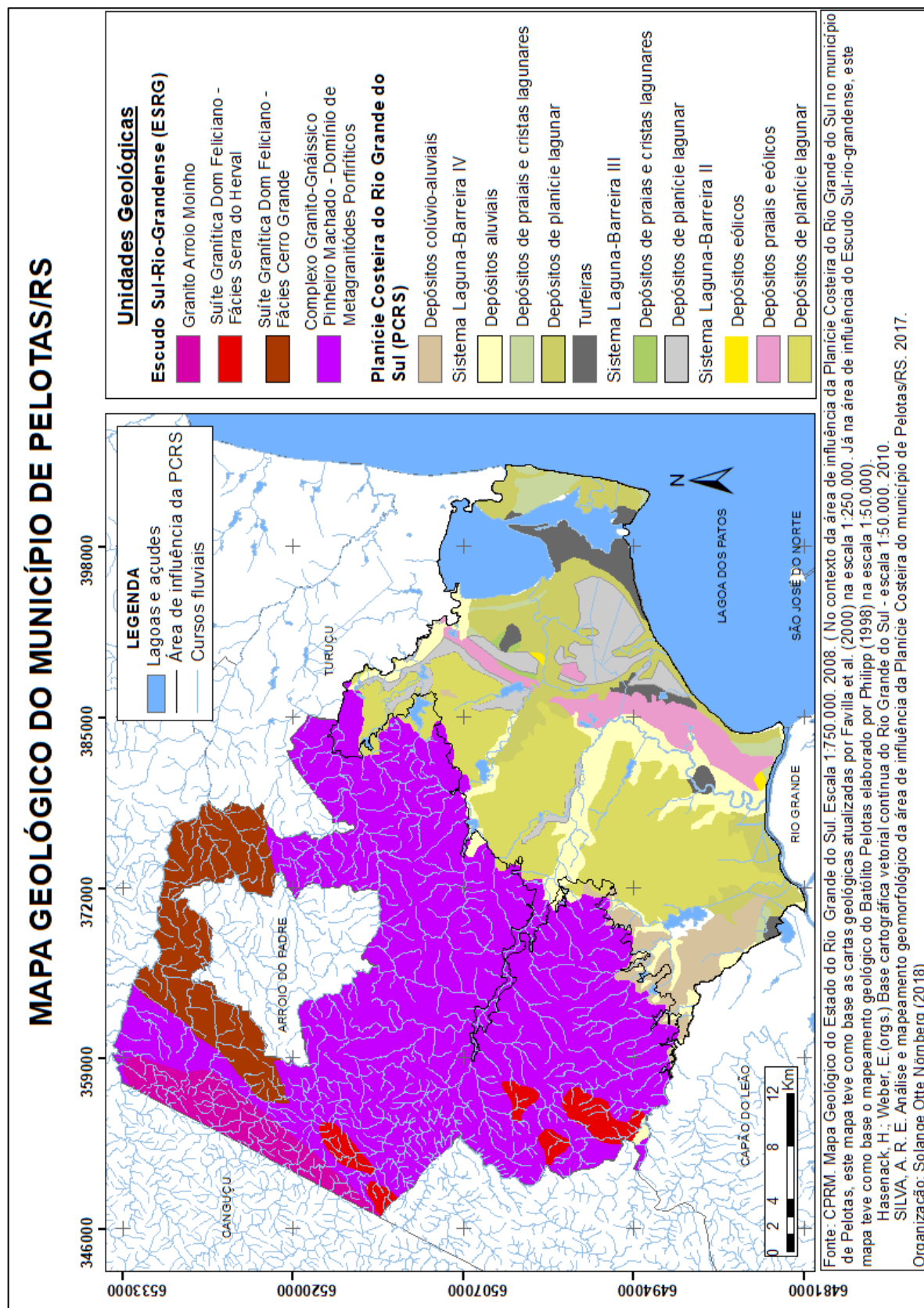


Figura 30 - Mapa geológico do município de Pelotas/RS.
 Fonte: CPRM, 2008; HASENACK; WEBER, 2010; SILVA, 2017.
 Organização: AUTORA, 2018.

Tabela 8 - Relação das unidades geológicas e respectivas áreas ocupadas no município de Pelotas.

Unidades morfoestruturais	Unidades Geológicas	Área (km²)	Área (%)
Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG)	Granito Arroio Moinho	53,21	3,45
	Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Serra do Herval	33,42	2,17
	Suíte Granítica Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande	109,13	7,08
	Complexo Granito-gnáissico Pinheiro Machado – Domínio de Metagranitóides Porfíricos	694,28	45,04
Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS)	Depósitos Colúvio-Aluvionar	48,29	3,13
	Sistema laguna-barreira IV – Depósitos aluviais	94,09	6,10
	Sistema laguna-barreira IV – Depósitos de praias e cristas lagunares	20,22	1,31
	Sistema laguna-barreira IV – Depósitos de planície lagunar	113,52	7,36
	Sistema laguna-barreira IV – Turfeiras	33,70	2,19
	Sistema laguna-barreira III – Depósitos de praias e cristas lagunares	2,59	0,17
	Sistema laguna-barreira III – Depósitos de planície lagunar	61,52	3,99
	Sistema laguna-barreira II – Depósitos eólicos	1,53	0,10
	Sistema laguna-barreira II – Depósitos praias eólicos	45,59	2,96
	Sistema laguna-barreira II – Depósitos de planície lagunar	230,48	14,95

Fonte: CPRM, 2008.

Organização: AUTORA, 2018.

Na área de influência do Escudo Sul-rio-grandense em Pelotas, localizam-se quatro classes distintas de unidades geológicas conforme a classificação da CPRM (2008), que são: Granito Arroio Moinho, Suíte Granítica Dom Feliciano Fácies Serra do Herval, Suíte Granítica Dom Feliciano Fácies Cerro Grande e Complexo Granítico-Gnássico Pinheiro Machado Domínio de Metagranitóides-porfíricos, que

ocupam 3,45%, 2,17%, 7,08 e 45,04% da área territorial do município de Pelotas, respectivamente.

A unidade denominada de Granito Arroio Moinho é composta por Sienogranito porfirítico grosso, localmente monzogranito, com foliação milonítica nas bordas. A unidade Suíte Granítica Dom Feliciano Fácies Serra do Herval é formada por Sienogranito, constituindo *stocks* grosseiramente alinhados a SE – SW. A unidade Suíte Granítica Dom Feliciano Fácies Cerro Grande se constitui por monzogranito, que varia entre porfirítico grosso e granulare homogêneo e engloba encraves granoríticos a tonalíticos. Já a unidade Complexo Granítico-Gnássico Pinheiro Machado Domínio de Metagranitóides-porfiríticos é formada por gnaíse granítico e granodiorítico com foliação marcante e deformação de alta temperatura e possui a presença frequente de septos de paragneisses (CPRM, 2008).

Na Planície Costeira, de acordo com Tomazelli e Villwock (2000), o substrato é constituído por material inconsolidado e apresenta um amplo sistema de leques aluviais e quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira.

Cada Sistema deposicional do tipo laguna-barreira da PCRS consiste em um evento de transgressão e regressão marinha, sendo que o Sistema laguna-barreira IV é o mais recente e se localiza nas partes mais externas do continente, enquanto que o Sistema laguna-barreira I é o mais antigo e mais interiorizado. A geologia da área de influência da PCRS no município de Pelotas apresenta depósitos relacionados ao Sistema laguna-barreira IV (Holoceno – 5ka), Sistema laguna-barreira III (Pleistoceno – 120ka) e Sistema laguna-barreira II (Pleistoceno – 325ka). Segundo a CPRM (2008), também se identificam em Pelotas Depósitos Colúvio-Aluviais de idade mais recente que os referidos sistemas.

Na área de estudo, os Depósitos Colúvio-Aluviais ocupam 3,13% da área territorial. De acordo com a CPRM (2008), esses depósitos são formados por conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos, siltitos e lamitos maciços ou com laminação plano-paralela e estratificação cruzada acanelada.

O Sistema laguna-barreira IV, na área de estudo, divide-se em Depósitos Aluviais, Depósitos de Praias e Cristas Lagunares, Depósitos de Planície Lagunar e Turfeiras. Os Depósitos Aluviais constituem-se de areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso, em calhas de rio e planícies de inundação. Os Depósitos de Praias e Cristas Lagunares são formados por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas e com morfologia de cristas subparalelas às margens

lagunares. Os Depósitos de Planície Lagunar possuem areia siltico-argilosa, mal selecionada, com laminação plano-paralela incipiente. As Turfeiras constituem-se de turfas heterogêneas intercaladas ou misturadas com areia, silte e argila, localmente com diatomito (CPRM, 2008).

O sistema deposicional laguna-barreira III é associado ao terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico e é constituído por fácies arenosas interpretadas como sendo de origem praial, onde os sedimentos são compostos por areias quartzosas claras, finas, bem selecionadas, com estratificações bem desenvolvidas e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, que são areias que apresentam, em geral, uma coloração mais avermelhada e um aspecto maciço (TOMAZELLI & WILLWOCK *et al.*, 2000). No município de Pelotas, esse sistema está dividido em Depósitos de Praias e Cristas Lagunares e Depósitos de Planície Lagunar.

O sistema deposicional laguna-barreira II evoluiu como resultado de um segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico. Na área de estudo, esse sistema é dividido em Depósitos Eólicos, Depósitos Praiais Eólicos e Depósitos de Planície Lagunar. Os Depósitos Eólicos constituem-se de areia quartzosa fina a média, bem arredondada e selecionada, de rara laminação plano-paralela ou estratificação cruzada. Os Depósitos Praiais Eólicos são formados por areia quartzosa fina, bem selecionada, com laminação plano-paralela e cruzada, areia média a fina, bem arredondada e selecionada, rara laminação plano paralela ou estratificação cruzada. Já os Depósitos de Planície Lagunar possuem areia siltico-argilosa, mal selecionada e com laminação plano-paralela incipiente (CPRM, 2008).

Quanto ao grau de vulnerabilidade à perda de solo destas unidades geológicas, Crepani *et al.* (2001) consideram que a condição necessária para compreender a vulnerabilidade de cada unidade é o grau de coesão das rochas, uma vez que em rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de formação de solos e intemperismo (pedogênese), enquanto que em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese). Estes autores classificaram os tipos de rochas em graus de vulnerabilidade que variam de 1,0 a 3,0, como pode ser observado no quadro 10⁵ apresentado no terceiro capítulo desse trabalho.

⁵ Ver página 62.

A partir disso, as unidades geológicas presentes na área de estudo foram classificadas quanto aos seus graus de vulnerabilidade de acordo com a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Para as unidades geológicas presentes na área de influência do ESG em Pelotas, atribuiu-se valor de vulnerabilidade 1,1, visto que essa área é constituída basicamente por granitos. Já as unidades geológicas encontradas na área de influência da PCRS, estas foram classificadas com grau de vulnerabilidade 3,0, pois essa área é formada por sedimentos inconsolidados. Sendo assim, 57,74% do total da área territorial do município de Pelotas é considerada estável e 42,26% vulnerável à perda de solo (Figura 31).

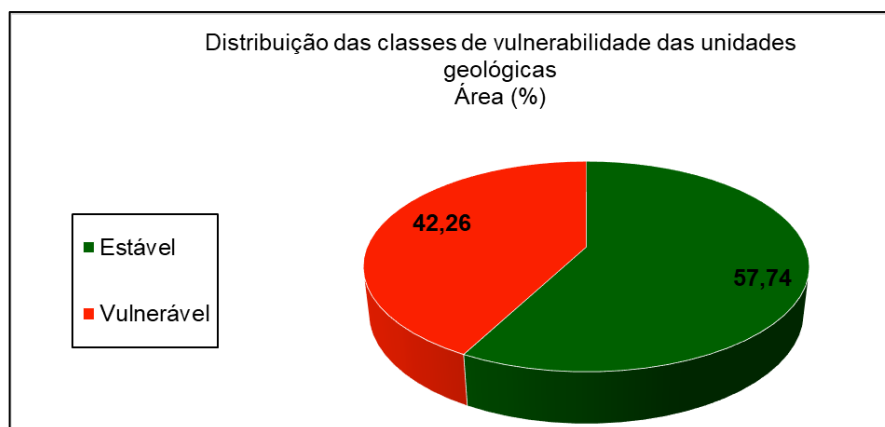


Figura 31 – Distribuição das classes de vulnerabilidade das unidades geológicas.
Organização: AUTORA, 2018.

5.4 Geomorfologia

O Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) define as unidades geomorfológicas como sendo um arranjo de formas altimétrica e fisionomicamente semelhantes em seus diferentes tipos de modelados.

De acordo com o mapeamento geomorfológico do IBGE (2003b) em escala 1:250.000, a geomorfologia da área de estudo, em geral, é composta pelas unidades geomorfológicas Planalto Rebaixado Marginal, Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul, Planície Alúvio-Coluvionar e Planície Lagunar (Figura 32 e Tabela 9).

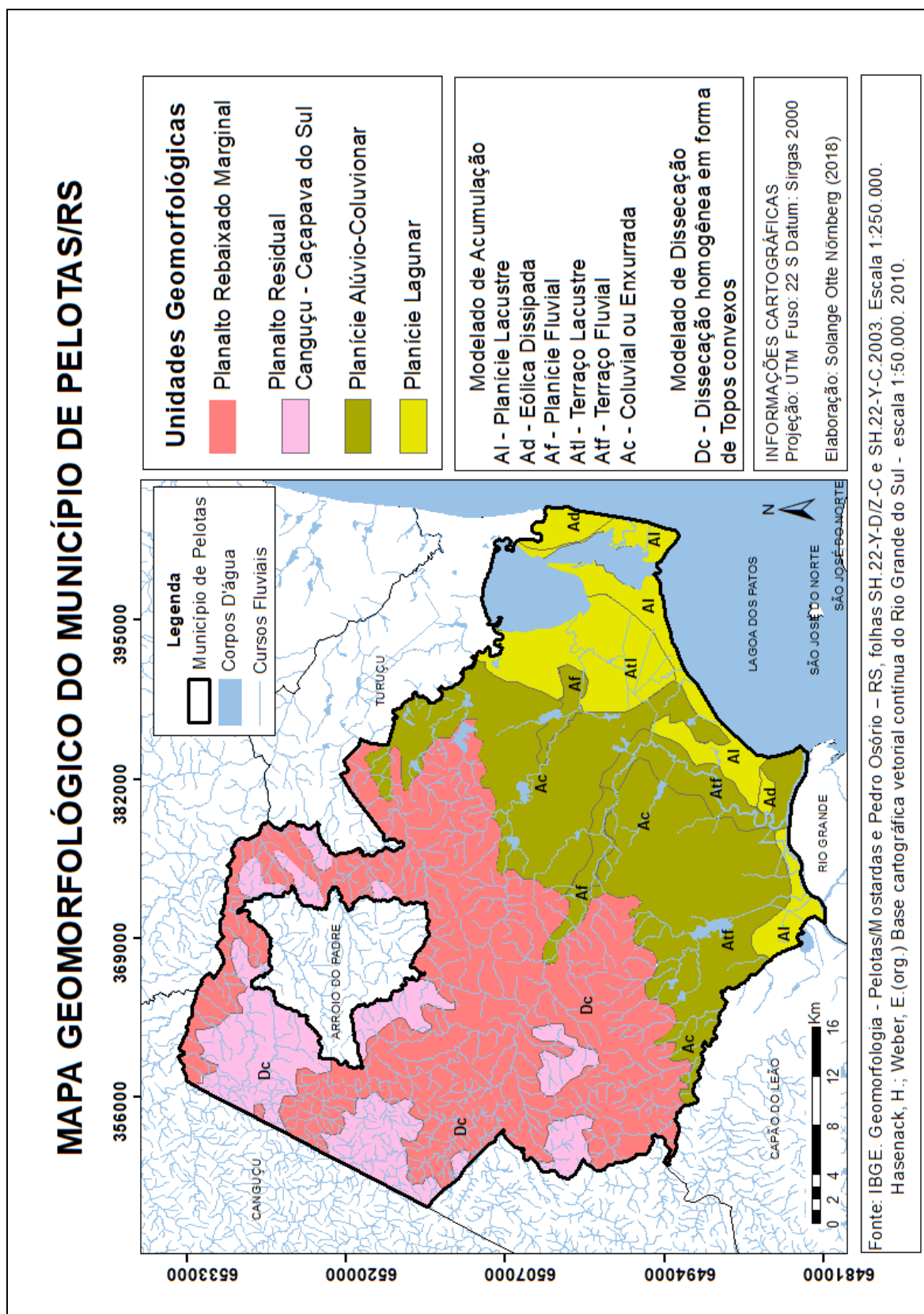


Figura 32 - Mapa geomorfológico do município de Pelotas/RS.

Fonte: IBGE, 2003b; HASENACK; WEBER, 2010. Organização: AUTORA, 2018.

Tabela 9 - Distribuição das unidades geomorfológicas no município de Pelotas/RS.

Unidades Geomorfológicas	Área (km²)	Área (%)
Planalto Rebaixado Marginal	649,73	41,34
Planície Alúvio-Coluvionar	498,64	32,06
Planície Lagunar	206,92	13,74
Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul	199,99	12,86

Fonte: IBGE, 2003b.

Organização: AUTORA, 2018.

A análise dos dados da tabela 9 permite inferir que a unidade geomorfológica que se destaca com o maior percentual na área de estudo é o Planalto Rebaixado Marginal, abrangendo 41,34% da área total do município de Pelotas, seguido da Planície Alúvio-Coluvionar presente em 32,06% da área. As unidades geomorfológicas com menos representatividade no município são a Planície Lagunar e o Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul, abrangendo respectivamente 13,74% e 12,86% de área.

No município de Pelotas, o Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul e o Planalto Rebaixado Marginal situam-se sobre a área de influência do ESRG. Conforme Rutz (2015), essas duas unidades geomorfológicas apresentam ondulações predominantemente convexas, características de mares de morros, com altitudes que variam de 40 a 403 metros, sendo o Planalto Residual um pouco mais elevado que o Planalto Rebaixado Marginal. Segundo o IBGE (2009), as formas de topos convexas são normalmente esculpidas em rochas ígneas e metamórficas, às vezes denotando controle estrutural. São caracterizadas por vales bem-definidos e vertentes de declividade variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.

Sobre a área de influência da PCRS em Pelotas, localizam-se as unidades geomorfológicas Planície Alúvio-Coluvionar e Planície Lagunar. Essas duas unidades, segundo o IBGE (2003b), caracterizam-se por possuir diferentes tipos de modelados de acumulação, como demonstra a figura 32.

Na área de estudo, a Planície Alúvio-Coluvionar apresenta três tipos de modelados de acumulação: Terraço Fluvial (Atf), Coluvial ou de enxurrada (Ac) e Planície Fluvial (Af). No Terraço Fluvial ocorre a acumulação fluvial de forma plana, com pouca inclinação, demonstrando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior, entalhada devido às mudanças de escoamento e, conseqüentemente, de retomada de erosão. O modelado de

acumulação Coluvial ocorre em áreas planas resultante da convergência de leques de espraçamento ou da concentração de depósitos de enxurradas nas partes terminais de pedimentos. A Planície Fluvial também é verificada em áreas planas, resultante de acumulação fluvial, é sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais (IBGE, 2003b).

Na unidade geomorfológica Planície Lagunar são verificados os modelados de acumulação: Planície Lacustre (Al), Eólica Dissipada (Ad) e Terraço Lacustre (Atl). A Planície Lacustre ocorre em áreas planas e é resultante de processos de acumulação lacustre, estando sujeita a comportar diques marginais. O modelado Eólica Dissipada constitui depósitos arenosos que se desenvolveram através da ação do vento e que foram, posteriormente, dissipados pela ação dos processos morfogenéticos pluviais. O Terraço Lacustre corresponde à acumulação lacustre de forma plana, com uma leve inclinação, apresentando ruptura de declive em relação à bacia do lago e às planícies lacustres mais recentes que se encontram em nível inferior (IBGE, 2003b).

No que se refere ao grau de predisposição à erosão (ou de instabilidade morfodinâmica), o IBGE (2003b) classifica os modelados de acumulação e dissecação em cinco graus, sendo: muito fraco (1), fraco (2), médio (3), forte (4) e muito forte (5). Desta maneira, na área de estudo, os modelados de dissecação presentes no Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul apresentaram grau de predisposição à erosão médio e aqueles encontrados no Planalto Rebaixado exibiram graus forte e muito forte. Em relação aos modelados de acumulação, na Planície Alúvio-Coluvionar, os modelados Ac, Atf e Af apresentaram grau muito fraco, forte e muito forte, respectivamente. Já os modelados Atl e Ad presentes na Planície Lagunar exibiram, respectivamente, grau muito fraco e muito forte e o modelado Al exibiu grau que varia entre médio e muito forte.

Crepani *et al.* (2001), em sua metodologia, classifica as unidades geomorfológicas quanto ao grau de vulnerabilidade à perda de solo, como se observa no quadro 11⁶ apresentado no terceiro capítulo. A partir disso, as unidades geomorfológicas encontradas na área de estudo foram classificadas quanto aos seus graus de vulnerabilidade:

- Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul = grau de vulnerabilidade: 2,0.

⁶ Ver página 62-63.

- Planalto Rebaixado Marginal = grau de vulnerabilidade: 2,5.
- Planície Alúvio-Coluvionar = grau de vulnerabilidade: 2,9.
- Planície Lagunar = grau de vulnerabilidade: 3,0.

Sendo assim, a unidade geomorfológica Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul é considerada medianamente estável/vulnerável, a unidade Planalto Rebaixado Marginal é considerada moderadamente vulnerável e as unidades Planície Alúvio-Coluvionar e Planície Lagunar são consideradas vulneráveis à perda de solo. A figura 33 apresenta a distribuição das classes de vulnerabilidade das unidades geomorfológicas na área de estudo.

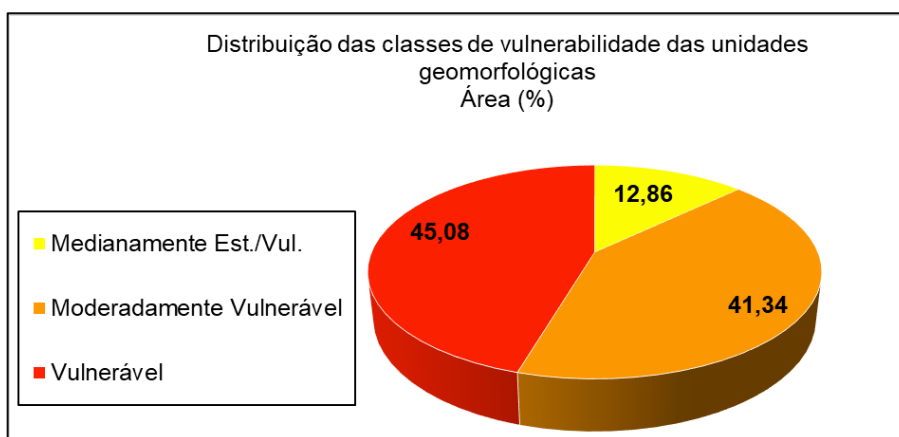


Figura 33 – Distribuição das classes de vulnerabilidade das unidades geomorfológicas. Organização: AUTORA, 2018.

5.5 Solos

O conceito de solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicas, formados por materiais minerais e orgânicos, possuindo matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, possivelmente, serem modificados por interferências antrópicas (SANTOS *et al.*, 2018).

Os solos são responsáveis pelo abastecimento de água e nutrientes e por conta disso possuem um papel fundamental para os ecossistemas e para qualquer tipo de vegetação. A capacidade agrícola e os aspectos físicos de cada tipo de solo estão diretamente relacionados com aspectos referentes ao clima, ao relevo, à

matéria orgânica disponível, à composição química dos minerais presentes no substrato rochoso e aos processos físicos que ocorrem no solo (MEGIATO, 2011).

Na avaliação da fragilidade quanto aos processos de degradação e erosão dos solos é fundamental o conhecimento das características físicas, químicas e ambientais de cada tipo de solo. De acordo com Coelho *et al.* (2002), os solos ficam suscetíveis à erosão em função da interação entre as condições do clima, modelado do terreno e tipo de solo, sendo um processo natural que pode ser intensificado pela ação antrópica.

Em relação aos solos do Brasil, Coelho *et al.* (2002) destacam que, em condições favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos, os solos comumente arenosos ou com elevada mudança de textura em profundidade, bem como aqueles rasos, localizados, em geral, em relevos dissecados, apresentam suscetibilidade à erosão média, alta ou muito alta. Em relação à região sul do Brasil predominam os solos com alta ou muito alta suscetibilidade à erosão, condicionados pela presença significativa de solos rasos, como os Cambissolos e Neossolos Litólicos, ou mesmo de solos mais profundos localizados em relevos acidentados das serras e planaltos sulinos, como os Argissolos. Os solos que possuem suscetibilidade baixa a muito baixa estão geralmente associados aos planaltos e planícies sedimentares de relevos aplainados, onde ocorrem os Latossolos e Planossolos, respectivamente. Já para a classe de suscetibilidade média, destacam-se os solos que se encontram, em geral, em relevo movimentado, como os Alissolos, Nitossolos e Chernossolos.

5.5.1 Tipos de solos encontrados no município de Pelotas

De acordo com o mapa de Solos do Município de Pelotas realizado por Cunha (1996) na escala 1:100.000, foram identificados na área de estudo os seguintes tipos de solos: Argissolos, Neossolos, Gleissolos, Organossolos, Planossolos e Espodossolos (Figura 34 e Tabela 10). Essas classes de solos se encontram com a nomenclatura atualizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), elaborada por Santos *et al.* (2018). A correlação entre as nomenclaturas antigas e as atuais estão apresentadas no quadro a seguir:

Quadro 22 - Correlação entre a classificação anterior e a atual de solos do município de Pelotas/RS.

Nomenclatura dos solos (1º nível categórico – ordens)	
Nomenclatura Antiga (CAMARGO <i>et al.</i>, 1987)	Nova Nomenclatura (SANTOS <i>et al.</i>, 2018)
PODZÓLICO	ARGISSOLOS
PODZOL	ESPODOSSOLOS
GLEI	GLEISSOLOS
SOLOCHAK	
SOLO HIDROMÓRFICO	
REGOSSOLO	NEOSSOLOS
SOLO ALUVIAL	
AREIAS QUARTZOSAS	
SOLO ORGÂNICO	ORGANOSSOLOS
PLANOSSOLO	PLANOSSOLO
SOLONETZ	

Fonte: CAMARGO *et al.*, 1987; SANTOS *et al.*, 2018.

Organização: AUTORA, 2018.

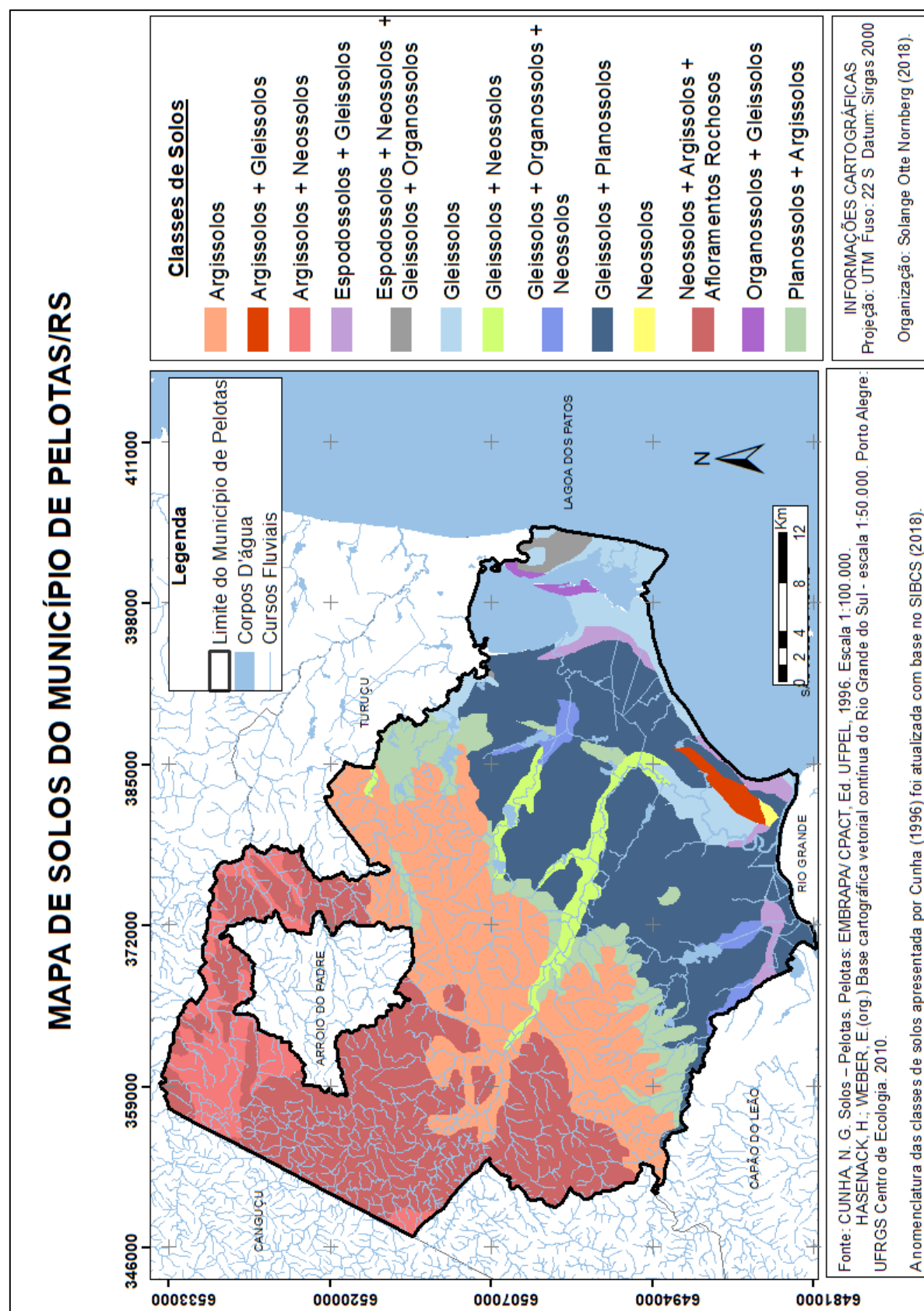


Figura 34 - Mapa de solos do município de Pelotas/RS.
 Fonte: Cunha, 1996; HASENACK; WEBER, 2010; SIBCS, 2018.
 Organização: AUTORA, 2018.

Tabela 10 – Relação das classes de solos e respectivas área ocupadas na área de estudo.

Classes de Solos	Área (Km ²)	Área (%)
Gleissolos + Planossolos	410,81	26,44
Neossolos + Argissolos + Afloramentos Rochosos	386,33	24,88
Argissolos	347,51	22,38
Planossolos + Argissolos	112,19	7,22
Argissolos + Neossolos	89,19	5,74
Gleissolos	79,81	5,14
Gleissolos + Neossolos	47,49	3,06
Espodossolos + Gleissolos	25,59	1,65
Gleissolos + Neossolos + Organossolos	21,89	1,41
Argissolos + Gleissolos	11,62	0,75
Espodossolos + Neossolos + Gleissolos + Organossolos	11,37	0,73
Organossolos + Gleissolos	7,69	0,50
Neossolos	1,49	0,10

Organização: AUTORA, 2018.

Analisando a figura e a tabela supracitada, observa-se que o município de Pelotas possui 26,44% de sua área abrangida pela associação de solos Gleissolos e Planossolos, seguida da associação de solos Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos (24,88%), Argissolos (22,38%) e um conjunto de outras classes menos representativas que totalizam 26,3% de sua área total.

Os solos do tipo Argissolos são encontrados principalmente sobre a área de influência do ESRG e nas áreas que fazem transição entre o ESRG e a PCRS. Os Neossolos situam-se em praticamente todas as áreas em Pelotas. A classe dos Planossolos concentra-se sobre a área de influência da PCRS e nas áreas que fazem transição entre a PCRS e o ESRG. Já as classes dos Espodossolos, Gleissolos e Organossolos são verificados sobre a área de influência da PCRS, em locais de declividade inferior a 6%.

A seguir são caracterizados de forma geral os tipos de solos que ocorrem na área de estudo, apresentando alguns aspectos e características de cada tipo de solo, bem como os potenciais e limitações ao seu uso agrícola.

- Os **Argissolos**, em conformidade com Santos *et al.* (2018), são solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa ou de atividade alta conjugada com saturação por bases baixas ou de caráter alítico. Apresentam

também profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, possuindo cores avermelhadas ou amareladas e, mais raramente, brunadas ou acinzentadas. Em relação à textura, há variação de arenosa à argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B textural (Bt), sempre havendo aumento de argila daquele para esse horizonte.

Os Argissolos, segundo Zaroni e Santos (2018), ocorrem em diferentes condições climáticas e de material de origem. A ocorrência desses solos possui relação, na maioria das vezes, com paisagens de relevos dissecados e acidentados, com superfícies menos suaves.

São solos que possuem maior potencial para uso agrícola e são aqueles de maior fertilidade natural (eutróficos), com condições físicas boas e que se situam em relevos mais suaves. Esses solos apresentam maior suscetibilidade aos processos erosivos em função da relação textural presente, que provoca diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Já os solos menos suscetíveis a processos erosivos são aqueles que possuem uma textura mais leve e de menor relação textural, pois são mais porosos, possuindo, portanto, boa permeabilidade. (ZARONI; SANTOS, 2018a).

- Os **Neossolos** são solos formados por material mineral ou por material orgânico com menos de 20cm de espessura e não apresentam grandes alterações em relação ao material originário devido à baixa atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão das características próprias do material de origem, como uma resistência aos processos de intemperismo elevada ou a composição químico-minerológica desse material, seja em razão dos demais fatores de formação do solo, como clima, relevo ou tempo, que podem impossibilitar ou limitar a evolução dos solos (SANTOS *et al.*, 2018).

Este tipo de solo pode ocorrer em diferentes ambientes climáticos, associados desde as áreas de relevos planos, sob a influência do lençol freático, até as áreas de relevos muito movimentados (ondulados a montanhosos) (SANTOS; ZARONI, 2018a).

Em relação aos potenciais e limitações ao uso agrícola, Santos e Zaroni (2018a) destacam que os Neossolos, principalmente os de maior fertilidade natural (eutróficos) e de maior profundidade, exibem potencial para uso agrícola em áreas mais planas. Já os solos que apresentam baixa fertilidade (distróficos) e mais ácidos, necessitam do uso de adubação e de calagem para correção de acidez. Já em áreas

de relevo com maior declividade, os Neossolos mais rasos possuem fortes limitações para o uso agrícola, devido à restrição a mecanização e à forte suscetibilidade aos processos erosivos.

- Os **Gleissolos** são solos minerais, hidromórficos e que apresentam horizonte glei dentro de 50cm a partir da superfície. Estes solos se encontram permanente ou periodicamente saturados por água, com exceção para os casos de se encontrarem artificialmente drenados. Em relação à textura, esses solos podem ser arenosos (areia ou areia franca) somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizonte glei de textura franco arenosa ou mais fina. As cores dessa classe de solo podem ser acinzentadas, azuladas ou esverdeadas em razão do processo gleização (SANTOS *et al.*, 2018).

Esses solos frequentemente desenvolvem-se em sedimentos recentes próximos aos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais propensos a ambientes com influência de água, podendo formar-se em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, bem como em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. São solos verificados sob vegetação hidrófila ou higrófica herbácea, arbustiva ou arbórea (SANTOS; ZARONI, 2018b).

Os Gleissolos, segundo Santos e Zaroni (2018b), apresentam baixa (distróficos) fertilidade natural, podendo apresentar problemas com acidez, com um pH muito baixo, e teores elevados de alumínio, de sódio e de enxofre. Esses autores ainda destacam que essa classe de solos tem limitação ao uso agrícola quando está situada próxima a rios, pois essas são áreas indicadas para a preservação de matas ciliares.

- Os **Organossolos** são caracterizados como solos pouco evoluídos, formados de material orgânico. O material de origem desse tipo de solos é composto por resíduos vegetais em vários estágios de decomposição, geralmente em mistura com materiais minerais de granulometria variável. Esses solos possuem coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, devido a essa acumulação de materiais vegetais em decomposição. Usualmente são solos fortemente ácidos que ocorrem em áreas baixas de várzeas, depressões e locais de surgentes, sob vegetação do tipo campestre ou florestal. Também ocorrem em áreas saturadas com água por poucos dias (menos de 30 dias consecutivos) no período das chuvas localizadas em regiões de elevadas altitudes e elevada umidade durante o ano (SANTOS *et al.*, 2018).

Quanto aos potenciais e limitações ao uso agrícola, Santos e Zaroni (2018c) destacam que os Organossolos, quando associados à presença de teores elevados de materiais sulfídricos, de sais e de enxofre, apresentam limitações ou mesmo restrições ao uso agrícola devido à toxidez na maioria das culturas. Os solos que apresentam fertilidade natural mais alta são aqueles de média a alta saturação por bases (eutróficos).

- Os **Planonossolos**, segundo Santos *et al.* (2018), são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve. As cores no horizonte B, e mesmo na parte inferior do horizonte sobrejacente, são pouco vivas, tendendo a acinzentadas ou escurecidas. Esses solos ocorrem preferencialmente em áreas com relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais – inclusive as do próprio solo – favorecem vigência periódica anual de excesso de água.

Para Santos e Zaroni (2018d), o potencial de uso agrícola dos Planossolos tem relação com o ambiente de ocorrência, principalmente com os relevos plano e suave ondulado. As limitações e restrições desses tipos de solos estão associadas à permeabilidade lenta ou muito lenta, sendo geralmente adensados em consequência do acúmulo de argila em sua superfície. A textura superficial arenosa desses solos e a presença de teores elevados de sódio também constituem limitações ao uso, devido às implicações na retenção de umidade, na deficiência nutricional e devido a problemas no desenvolvimento da maioria das culturas.

- Os **Espodossolos** são solos formados por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E, a horizonte A, que pode ser de qualquer tipo. Em relação às cores, o horizonte A varia de cinzenta até preta, o horizonte E cinzenta ou acinzentada clara até praticamente branca e o horizonte espódico varia de cinza escuro ou preto até avermelhada ou amarelada. Esses tipos de solos apresentam textura predominantemente arenosa, com uma drenagem variável e, em geral, são muito pobres em fertilidade pela baixa reserva de nutrientes. São solos constituídos principalmente por materiais arenoquartzosos sob condições de umidades elevadas, e em relevo plano, suave ondulado, áreas de surgente, abaciamentos e depressões (SANTOS *et al.*, 2018).

Sobre os potenciais e limitações ao uso agrícola, Zaroni e Santos (2018b) destacam que as principais limitações dos Espodossolos estão relacionados a sua textura arenosa, baixa fertilidade e presença de horizonte de impedimento, como o

horizonte fragipã, duripã ou “ortstein”, que pode impedir a penetração das raízes e a infiltração da água.

Para a atribuição do grau de fragilidade dos solos, Ross (1994) leva em consideração as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais para atribuir o grau de fragilidade para os diferentes tipos de solo, conforme é apresentado no capítulo 3, quadro 6⁷. No entanto, este quadro elaborado pelo autor ainda levava em consideração a nomenclatura antiga dos solos e não abrange todos os tipos de solos verificados na área de estudo, sendo necessário realizar uma adaptação. Sendo assim, os solos presentes em Pelotas se encaixam na seguinte classificação:

- Gleissolos – Grau de fragilidade muito fraca (1);
- Planossolos – Grau de fragilidade muito fraca (1);
- Argissolos – Grau de fragilidade médio (3);
- Espodossolos – Grau de fragilidade forte (4);
- Neossolos – Grau de fragilidade muito forte (5);
- Organossolos – Grau de fragilidade muito forte (5);
- Afloramentos Rochosos – Grau de fragilidade muito forte (5).

Para as unidades de mapeamento que apresentam a associação de dois ou mais tipos de solos, calculou-se uma média simples entre os valores de fragilidade de cada classe de solo. Assim, a associação que apresentou o valor final do cálculo da média entre 1,1 e 2,0 recebeu grau de fragilidade fraca, entre 2,1 e 3,0 grau de fragilidade média, entre 3,1 e 4,0 grau de fragilidade forte e entre 4,1 e 5,0 grau de fragilidade muito forte.

Deste modo, a classe predominante com relação aos graus de fragilidade potencial é a classe fragilidade muito fraca, somando um total de 31,57% da área de estudo (Tabela 11 e Figura 35). A segunda classe mais representativa quanto aos tipos de solos é a classe de fragilidade média, representando um total de 27,59%. A classe de fragilidade muito forte ocupa 24,98%. E as classes de fragilidade com menor representatividade correspondem as classes de fragilidade fraca e forte, que ocupam 7,97% e 7,88%, respectivamente.

⁷ Ver página 58.

Tabela 11 – Graus de fragilidade dos tipos de solos no município de Pelotas e áreas correspondentes.

Unidade de mapeamento (classes de solos)	Fragilidade (Componente)				Fragilidade (Unidade de mapeamento)	Área (Km ²)	Área (%)
Gleissolos	1	-	-	-	Muito Fraca	490,62	31,58
Gleissolos + Planossolos	1	1	-	-			
Argissolos + Gleissolos	3	1	-	-	Fraca	123,81	7,97
Planossolos + Argissolos	1	3	-	-			
Gleissolos + Neossolos	1	5	-	-	Média	428,28	27,59
Argissolos	3	-	-	-			
Espodossolos + Gleissolos	4	1	-	-			
Organossolos + Gleissolos	5	1	-	-			
Argissolos + Neossolos	3	5	-	-	Forte	122,45	7,88
Gleissolos + Organossolos + Neossolos	1	5	5	-			
Espodossolos + Neossolos + Gleissolos + Organossolos	4	5	1	5			
Neossolos	5	-	-	-	Muito Forte	387,82	24,98
Neossolos + Argissolos + Afloramentos Rochosos	5	3	5	-			

Organização: AUTORA, 2018.

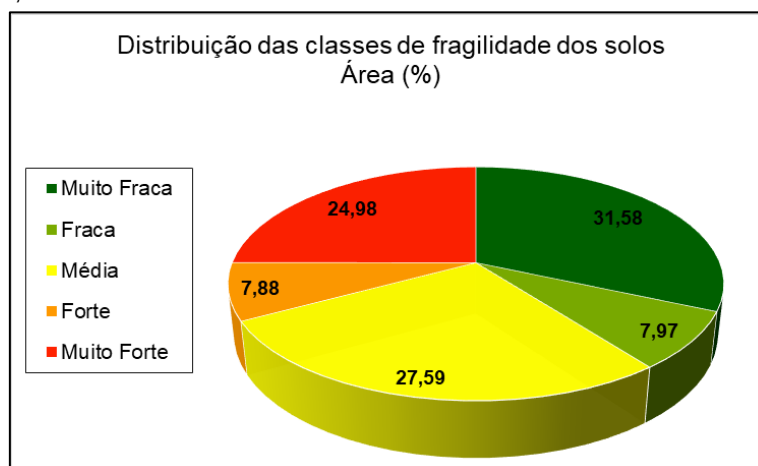


Figura 35 – Distribuição das classes de fragilidade dos solos.

Organização: AUTORA, 2018.

As classes de solos presentes na área de estudo também foram classificadas quanto ao grau de vulnerabilidade à perda de solo, conforme a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Segundo estes autores, o grau de vulnerabilidade de cada classe de solo está ligado ao grau de desenvolvimento e maturidade desse solo. Assim sendo, consideram que os solos mais maduros e bem desenvolvidos apresentam maior estabilidade e, portanto, recebem os menores valores na escala de vulnerabilidade (valores próximos a 1,0). Por outro lado, os solos jovens e pouco

desenvolvidos são considerados vulneráveis aos processos erosivos, recebendo então os maiores valores na escala de vulnerabilidade (valores próximos a 3,0).

A partir disso, as classes de solos encontradas na área de estudo foram classificadas de acordo com o quadro 14⁸ apresentado no terceiro capítulo. Assim, os solos de Pelotas se encaixam na seguinte classificação:

- Gleissolos – Grau de vulnerabilidade 3,0;
- Planossolos – Grau de vulnerabilidade 2,0;
- Argissolos – Grau de vulnerabilidade 2,0;
- Neossolos – Grau de vulnerabilidade 3,0;
- Espodossolos – Grau de vulnerabilidade 2,0;
- Organossolos – Grau de vulnerabilidade 3,0;
- Afloramentos Rochosos – Grau de vulnerabilidade 3,0.

As unidades de mapeamento que apresentam a associação de dois ou mais tipos de solos foram calculadas através de uma média simples entre os valores de vulnerabilidade de cada classe de solo. Assim, a associação que apresentou o valor final do cálculo da média entre 1,0 e 1,3 foi considerada como estável, entre 1,4 e 1,7 como moderadamente estável, entre 1,8 e 2,2 como medianamente estável/vulnerável, entre 2,3 e 2,6 como moderadamente vulnerável e entre 2,7 e 3,0 como vulnerável (Tabela 12).

Tabela 12 – Graus de vulnerabilidade dos tipos de solos no município de Pelotas e áreas correspondentes.

Unidade de mapeamento (classes de solos)	Vulnerabilidade (Componente)				Vulnerabilidade (Unidade de mapeamento)		Área (Km ²)	Área (%)
Argissolos	2	-	-	-	2	Medianamente Estável/Vulnerável	459,7	29,60
Planossolos + Argissolos	2	2	-	-	2			
Gleissolos + Planossolos	3	2	-	-	2,5	Moderadamente Vulnerável	923,54	59,46
Argissolos + Gleissolos	2	3	-	-	2,5			
Espodossolos + Gleissolos	2	3	-	-	2,5			
Argissolos + Neossolos	2	3	-	-	2,5			
Neossolos + Argissolos + Afloramentos Rochosos	3	2	3	-	2,7			
Espodossolos + Neossolos + Gleissolos + Organossolos	2	3	3	3	2,75	Vulnerável	169,74	10,94
Gleissolos	3	-	-	-	3			

⁸ Ver página 64-65.

Organossolos + Gleissolos	3	3	-	-	3			
Gleissolos + Neossolos	3	3	-	-	3			
Gleissolos + Organossolos + Neossolos	3	3	3	-	3			
Neossolos	3	-	-	-	3			

Organização: AUTORA, 2018.

Analisando a tabela 12, percebe-se que cerca de 59,46% da área territorial de Pelotas é composta por solos considerados moderadamente vulneráveis, 29,60% com solos medianamente estável/vulnerável e 10,94% apresenta solos considerados vulneráveis à perda de solo. A figura 36 apresenta a distribuição das classes de vulnerabilidade dos solos.

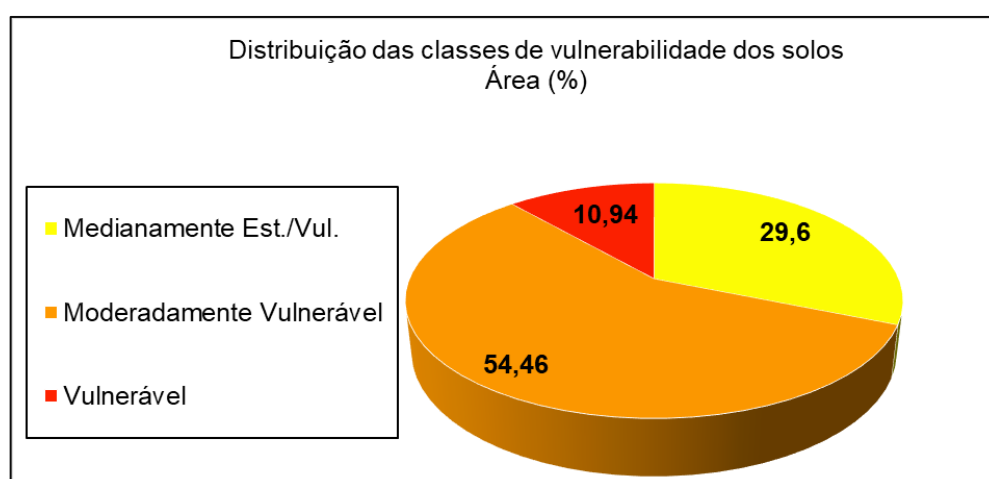


Figura 36 – Distribuição das classes de vulnerabilidade dos solos.

Organização: AUTORA, 2018.

6 Mapeamento da fragilidade ambiental do município de Pelotas

Os mapas de fragilidade ambiental constituem os produtos finais desse trabalho, sendo esses documentos sínteses que expressam a conclusão de todo o levantamento realizado no município de Pelotas. Para alcançar o resultado desse trabalho, foi realizada uma combinação de informações dos mapas temáticos, através da álgebra de mapas e a partir da classificação de cada uma de suas feições, em conformidade com os graus de fragilidade propostos por Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) para cada mapeamento.

Nos subcapítulos a seguir serão apresentados os mapeamentos de fragilidade ambiental elaborados a partir das propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) e a comparação entre as semelhanças e diferenças entre eles.

6.1 Mapeamento da fragilidade ambiental baseado no modelo de Ross (1994)

Com base no modelo metodológico proposto por Ross (1994), foi elaborado o primeiro mapa de fragilidade ambiental da área de estudo. Para a geração desse mapa, considerou-se três variáveis: declividade, solos e uso e cobertura da terra. Essas variáveis foram classificadas em graus de fragilidade que variam de muito baixa (1) à muito forte (5), como se observa na figura 37.

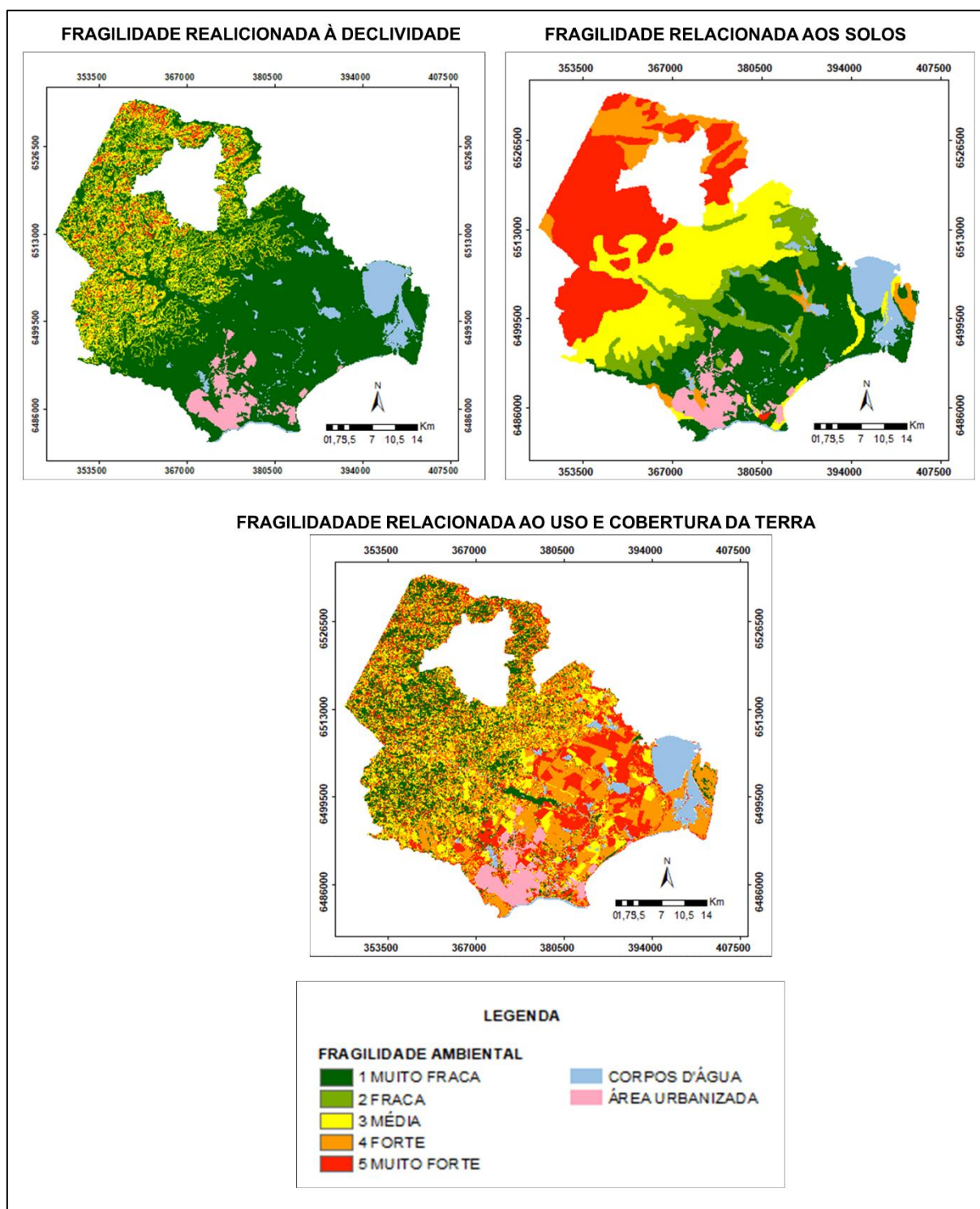


Figura 37 – Mapas utilizados para a geração do mapa de Fragilidade Ambiental município de Pelotas/RS.

Elaboração: AUTORA, 2018.

Após a classificação dessas variáveis, elaborou-se o mapa de fragilidade ambiental ou fragilidade emergente de Pelotas. A fragilidade emergente além de considerar os elementos naturais, tipo de solo e declividade, acrescenta o elemento humano, que se caracteriza pela maneira como a terra é utilizada.

Na figura 38, observa-se o mapa de fragilidade ambiental gerado e na tabela 13 a área que cada classe de fragilidade ocupa no município de Pelotas.

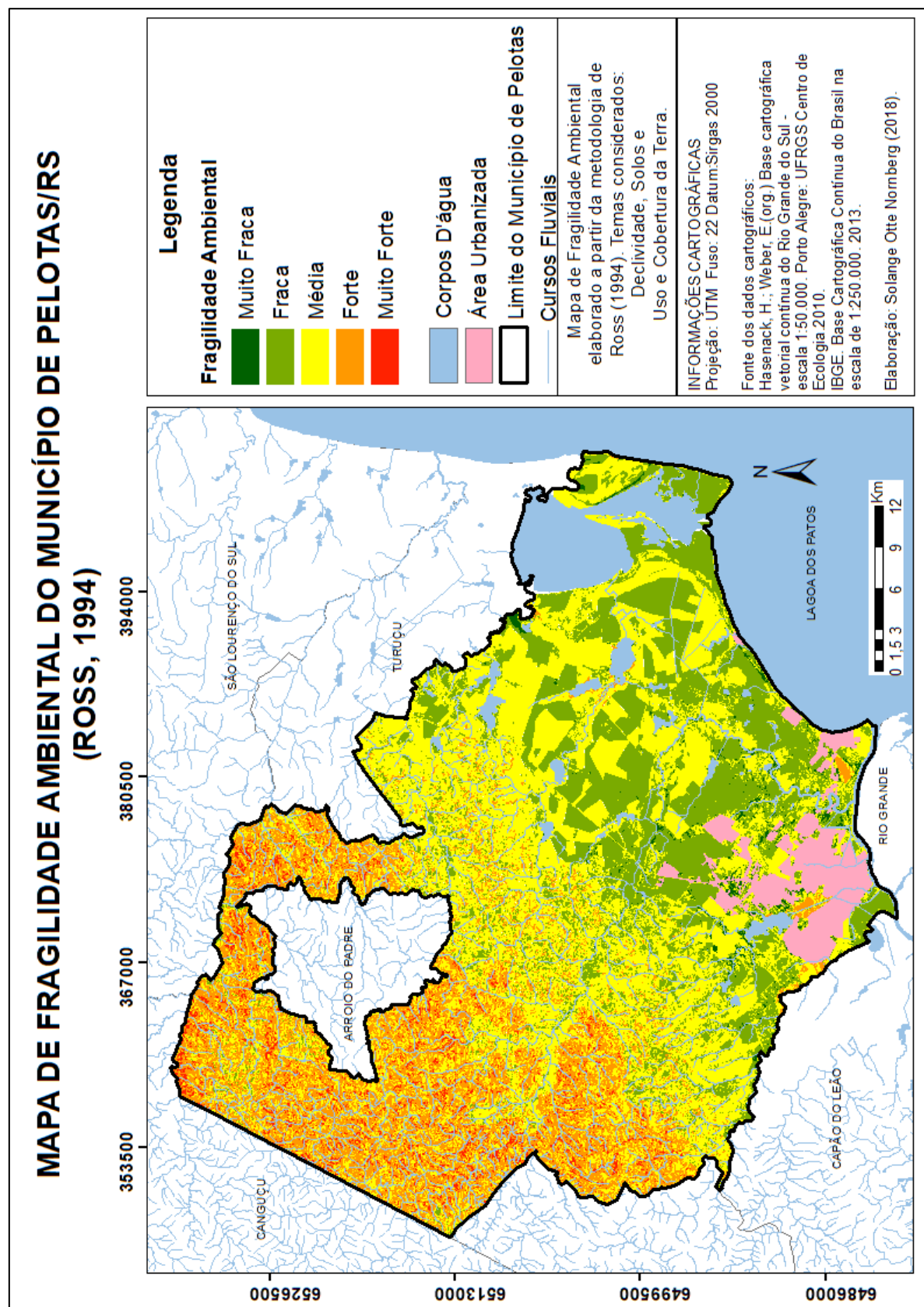


Figura 38 – Mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas/RS.
 Organização: AUTORA, 2018.

Tabela 13 – Classes de fragilidade ambiental em Pelotas.

Fragilidade Ambiental	Área⁹ (Km²)	Área (%)
Muito Fraca	13,68	0,85
Fraca	376,10	23,36
Média	708,81	44,02
Forte	312,86	19,43
Muito Forte	43,13	2,68

Elaboração: AUTORA, 2018.

Como é possível observar, na área de estudo foram encontradas classes de fragilidade que variam de muito fraca à muito forte, sendo que a classe de fragilidade predominante na área de estudo corresponde à fragilidade média, abrangendo 708,81Km² (44,02% da área total). Essa classe é encontrada espalhada por toda área de estudo, em locais de baixas, médias e altas declividades. Na área de influência do ESRG, essa classe é predominante nos locais com Argissolos onde o uso da terra são áreas de lavouras temporárias, áreas descobertas e áreas de campos e pastagens. Já na área de influência da PCRS, essa classe é dominante nas áreas de solo exposto nos locais onde verifica-se a associação de Gleissolos e Planossolos, associação de Gleissolos e Neossolos e associação de Planossolos e Argissolos.

A segunda classe com maior representatividade é a de fraca fragilidade, com uma área de 376,10Km² (23,36% da área total). Esta classe ocorre principalmente na área de influência da PCRS, nos locais que possuem uma declividade muito baixa, inferior que 6%, e em alguns locais na área de influência do ESRG, em áreas com declividade de até 12%. O tipo de uso e cobertura da terra identificados nessa classe foram áreas de lavouras temporárias, áreas úmidas e áreas de vegetação natural florestal. Quanto aos solos, essa classe é verificada principalmente nas áreas de Gleissolos, associação de Gleissolos e Planossolos e associação de Argissolos com Planossolos.

As áreas de forte fragilidade ambiental (312,86Km², que corresponde a 19,43%) ocorrem na porção norte e oeste da área de estudo, nos locais de declividade variável com solo exposto, lavouras temporárias, campos, pastagens e também em algumas áreas com vegetação natural florestal. Nessa classe predomina

⁹ A área total do município de Pelotas é de 1.610,08Km². No total apresentado na Tabela 13, não está contabilizado 90,60Km² (5,63%) referente aos corpos d'água e 64,90Km² (4,03%) correspondente a área urbana.

a associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos, classificados com grau de fragilidade muito forte (5).

As áreas que apresentam fragilidade ambiental muito forte aos processos erosivos (43,13Km², que correspondem a 2,68%) localizam-se na porção norte e oeste do município de Pelotas, na área de influência do ESRG. São áreas de declividades superiores a 12%, com tipos de solos predominantes sendo a associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos. O tipo de uso da terra dominante nessa classe são as áreas de solo exposto, algumas áreas de lavouras temporárias e áreas de campos e pastagens.

A classe com menor representatividade na área de estudo corresponde a classe muito fraca, presente em apenas 13,68Km² (0,85% do total da área). É encontrada ao Sul do município de Pelotas, na área de influência da PCRS, em locais que possuem uma declividade menor que 6%, com vegetação natural florestal e sobre os locais de ocorrência das classes de solos Gleissolos e associação de Gleissolos e Planossolos.

A fragilidade a que se refere este mapeamento é de acordo com a erosão. As áreas classificadas como sendo de fraca fragilidade, localizadas na porção sul da área de estudo na área de influência da PCRS, em outro estudo, poderiam apresentar características que tornassem essas áreas de fragilidade mais acentuada em relação as inundações, por serem áreas de planícies, próximas aos cursos fluviais e de baixas declividades e altitudes.

6.2 Mapeamento da fragilidade ambiental baseado no modelo de Crepani *et al.* (2001)

Nesta etapa do trabalho será apresentado o mapa de vulnerabilidade à perda de solo da área de estudo, o qual foi elaborado com base no modelo metodológico proposto por Crepani *et al.* (2001). Apesar da nomenclatura diferenciada, Mapa de Fragilidade Ambiental e Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo, ambos são mapeamentos que identificam o grau de resistência ao processo natural à erosão de uma determinada região geográfica (SPÖRL, 2001).

Para esse mapeamento, foram considerados quatro temas: geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura da terra.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo para o tema geomorfologia, foi necessário calcular a média aritmética entre três índices morfométricos do terreno: declividade, hipsometria e unidades geomorfológicas, como demonstra a figura 39. Dessa forma, as porções sul e leste da área de estudo foram classificadas como moderadamente estáveis ($1053,21\text{Km}^2$, que corresponde a 65,41%) e as porções norte e oeste apresentaram áreas consideradas medianamente estável/vulnerável ($480,93\text{Km}^2$, que corresponde a 29,87%), moderadamente vulnerável ($73,58\text{Km}^2$, que corresponde a 4,57%) e vulnerável ($2,36\text{Km}^2$, que corresponde a 0,15%).

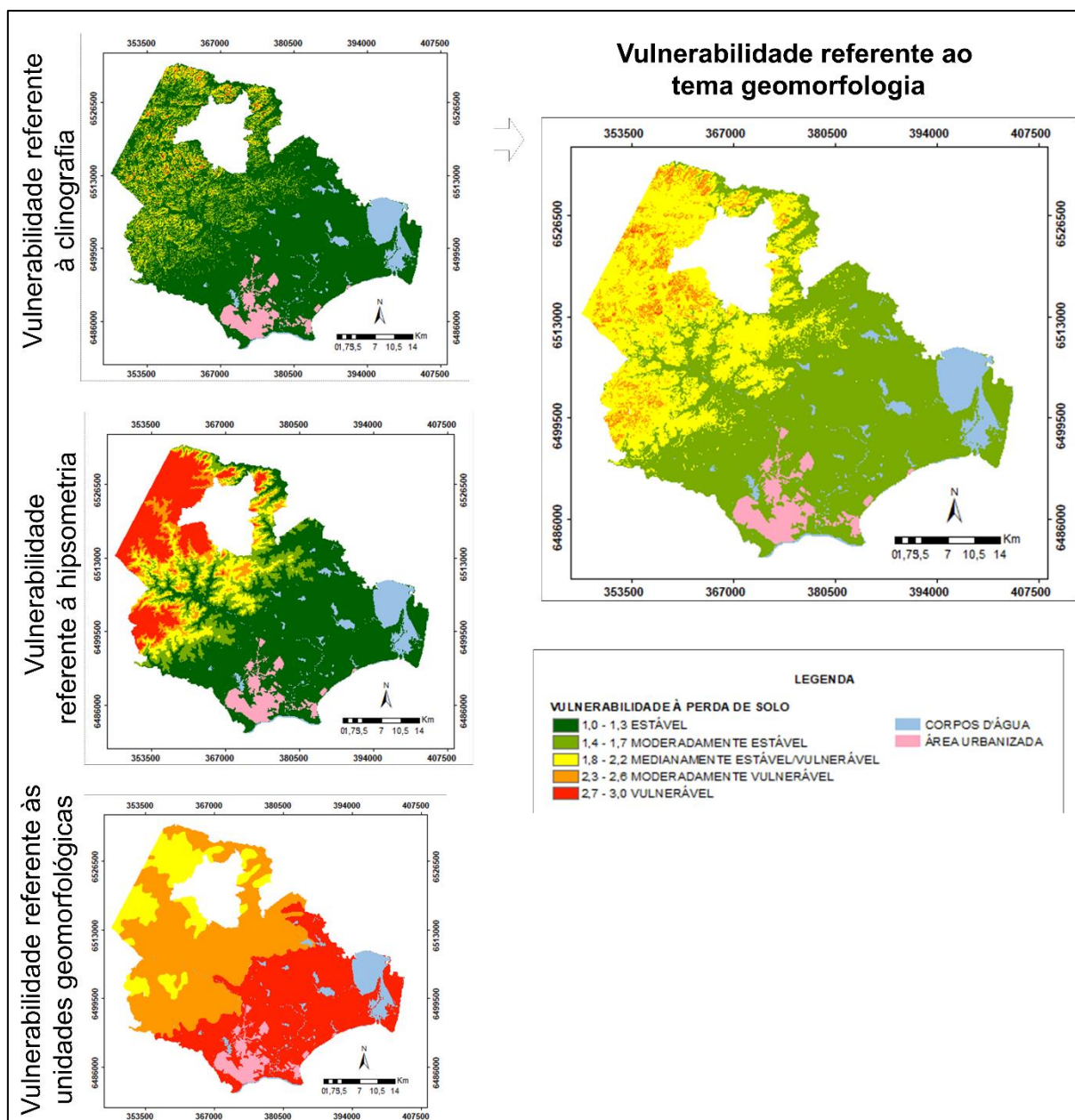


Figura 39 – Mapas utilizados para a geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo do tema geomorfologia.

Organização: AUTORA, 2018.

Os temas geologia, solos e uso e cobertura da terra, conforme apresentado no capítulo anterior, também foram classificados em valores de vulnerabilidade que variam de 1,0 a 3,0 (Figura 40).

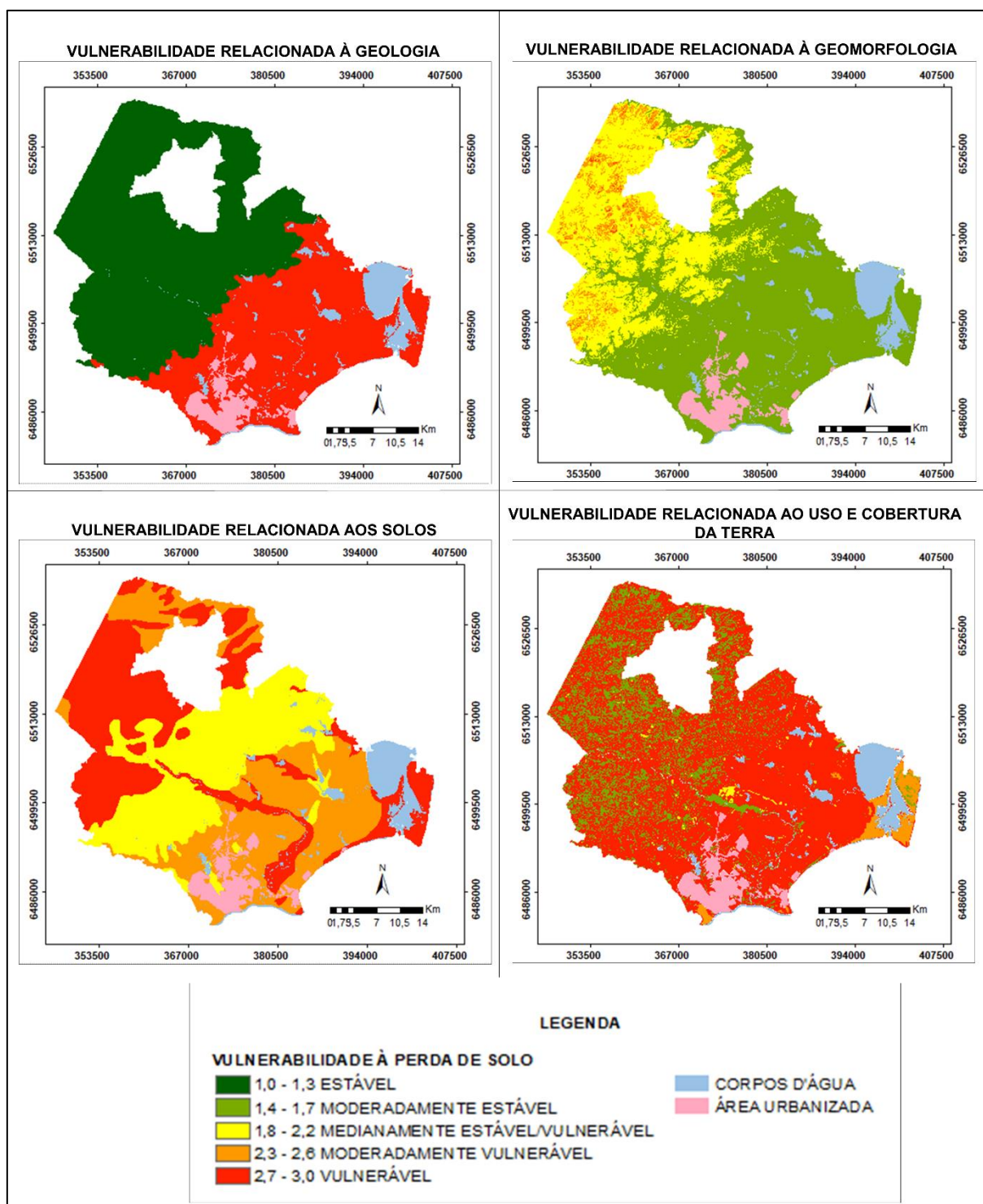


Figura 40 – Mapas utilizados para a geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de Pelotas/RS.

Organização: AUTORA, 2018.

A figura 41 apresenta o mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de Pelotas, resultado da média aritmética dos temas Geologia, Geomorfologia, Solos e Uso e Cobertura da Terra anteriormente descritos. E a tabela 14 apresenta as áreas ocupadas pelas classes de vulnerabilidade.

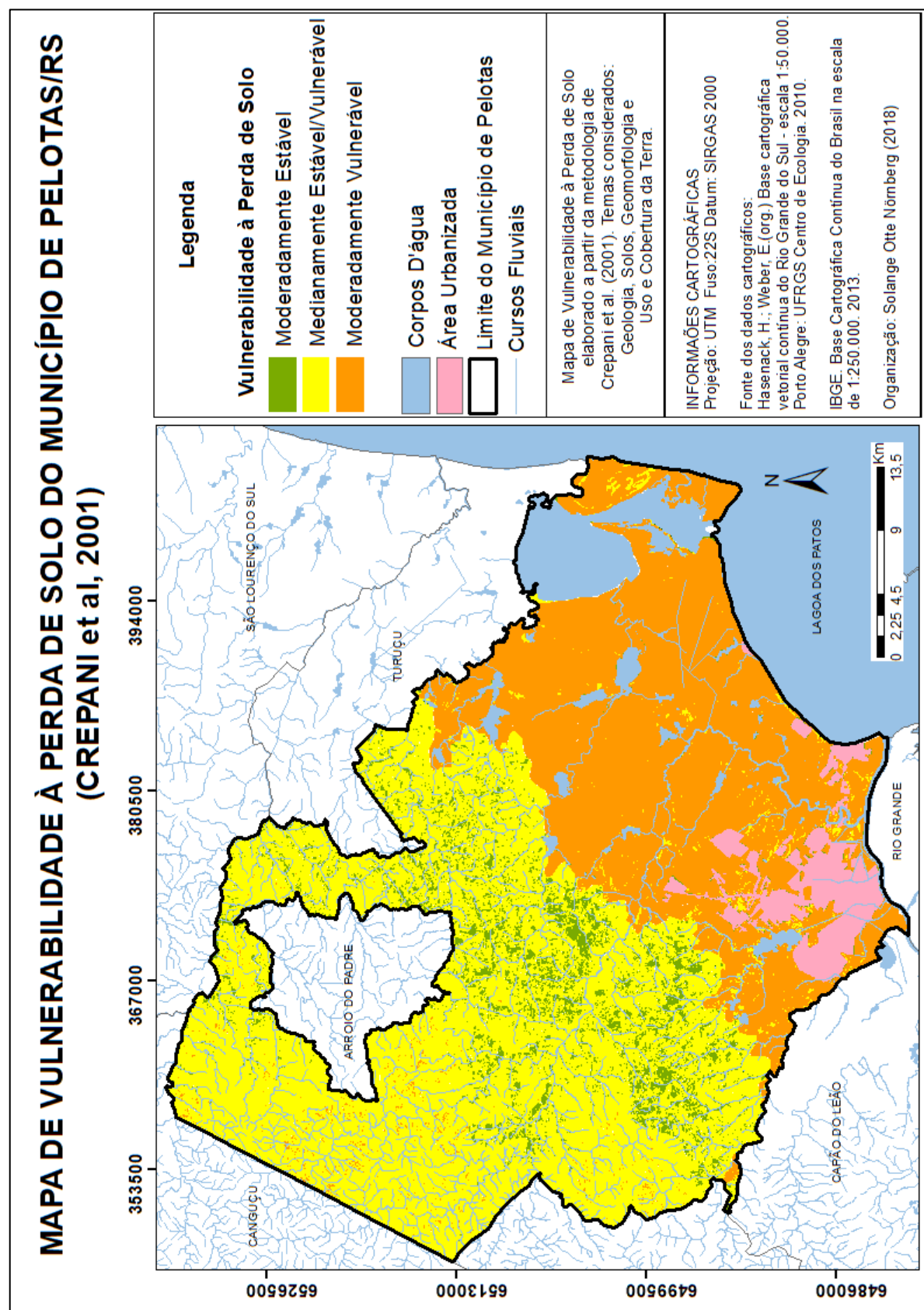


Figura 41 – Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo do município de Pelotas/RS.
Elaboração: AUTORA, 2018.

Tabela 14 - Área das classes de vulnerabilidade à perda de solo em Pelotas.

Vulnerabilidade à Perda de Solo	Área¹⁰ (Km²)	Área (%)
Moderadamente Estável	98,81	6,14
Medianamente Estável/Vulnerável	805,70	50,04
Moderadamente Vulnerável	550,07	34,16

Elaboração: AUTORA, 2018.

A análise dos dados permite inferir que a classe de maior ocorrência na área de estudo é a medianamente estável/vulnerável, ocupando 805,70Km² (50,04% da área total do município). Esta classe representa as unidades de paisagens com grau intermediário à perda de solo, as quais são caracterizadas pelo equilíbrio morfogênese/pedogênese e pela grande variabilidade na constituição de suas características naturais. Os principais usos e coberturas da terra são as áreas de solo exposto, campos, pastagens e lavouras temporárias nas áreas com baixa e média declividade (menor que 32,1%) e vegetação natural florestal nas áreas de alta declividade (superior a 32,1%), ou seja, apresenta usos e coberturas com diferentes graus de vulnerabilidade à perda de solo. Compreende, principalmente, as unidades geológicas do ESRG e algumas unidades da PCRS. Em relação à geomorfologia, essa classe é verificada em relevos de diferentes declividades e amplitudes altimétricas e principalmente sobre as áreas de influência das unidades geomorfológicas Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul e Planalto Rebaixado Marginal. Quanto aos solos, esta classe é verificada nos locais de Argissolos, associação de Argissolos e Neossolos e associação de Argissolos, Neossolos e afloramentos Rochosos. O equilíbrio entre os processos de morfogênese e pedogênese nessa classe é resultado das distintas combinações entre os fatores naturais.

A classe moderadamente vulnerável é a segunda maior em área, estando presente em 550,07Km² (34,16% da área total). Na classificação, esta classe está associada principalmente aos locais com associação de Gleissolos e Planossolos considerado moderadamente vulnerável e áreas de Gleissolos consideradas moderadamente vulnerável. Esta classe é encontrada também sobre as unidades geológicas verificadas na área de influência da PCRS em Pelotas e unidades geomorfológicas Planície Lagunar e Planície Alúvio-Coluvionar. A amplitude

¹⁰ A área total do município de Pelotas é de 1.610,08Km². No total apresentado na Tabela 14, não está contabilizado 90,60Km² (5,63%) referente aos corpos d'água e 64,90Km² (4,03%) correspondente a área urbana.

altimétrica e a declividade são baixos e os usos da terra predominantes são as lavouras temporárias, áreas de solo exposto e as áreas úmidas, de alta vulnerabilidade. Nessa classe, a vulnerabilidade à perda de solo é resultado do predomínio dos processos morfogenéticos sobre os processos pedogenéticos.

A classe de vulnerabilidade de menor significância na área de estudo é a moderadamente estável, presente em 98,81Km² (6,14% da área total). Esta classe encontra-se sobre as unidades geológicas do ESRG que são constituídas basicamente por granitos, de vulnerabilidade à perda de solo 1,1, bem como em solos de vulnerabilidade média (Argissolos) e alguns locais de solos com vulnerabilidade alta (associação de Argissolos e Neossolos) e muito alta (associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos). O relevo apresenta amplitude altimétrica e declividades variadas, mas predominam as classes de declividade estáveis (< 3,5%, 3,5 - 5,8%, 5,8 - 8,2% e 8,2 - 10,3%). Os usos e coberturas da terra dominantes são a vegetação natural florestal e alguns locais de silvicultura, de baixa e média vulnerabilidade à perda de solo, respectivamente. Quanto à geomorfologia, essa classe é verificada sobre a unidade geomorfológica Planalto Rebaixado Marginal, considerada moderadamente vulnerável.

6.3 Comparação entre os mapeamentos

Nos subcapítulos anteriores foi discutida a obtenção individual dos dois modelos utilizados nesse trabalho - o modelo de Ross (1994) e o modelo de Crepani *et al.* (2001). Neste subcapítulo, os resultados desses dois modelos serão comparados e analisados quanto às suas semelhanças e diferenças.

No quadro 23 é possível observar de maneira simplificada as variáveis utilizadas para obtenção dos dois modelos.

Quadro 23 – Variáveis utilizadas em cada procedimento técnico-operacional.

Variáveis	Modelo proposto por Ross (1994)	Modelo proposto por Crepani <i>et al.</i> (2001)
Declividade	X	X
Hipsometria		X
Unidades Geomorfológicas		X
Geologia		X

Solos	X	X
Uso e Cobertura da Terra	X	X

Organização: AUTORA, 2018.

Conforme demonstra o quadro acima, observa-se que as propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) utilizam as variáveis declividade, solos e uso e cobertura da terra, mas diferem-se na utilização das variáveis hipsometria, unidades geomorfológicas e a geologia. Essa última, na proposta de Crepani *et al.* (2001), é considerada na análise da vulnerabilidade à perda de solo e no cálculo da média. Já Ross (1994) considera que os aspectos da geologia já são trabalhados no momento de analisar as características do relevo e do solo.

Outra questão que difere as metodologias de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) é o modo de calcular a fragilidade para cada área. No modelo proposto por Ross (1994), a classificação dos graus de fragilidade é realizada através da soma das variáveis declividades, solos e uso e cobertura da terra. A declividade é considerada como a variável mais importante, denotando uma metodologia que destaca aspectos do relevo.

Na proposta de Crepani *et al.* (2001), a classificação da vulnerabilidade à perda de solo é feita através da média aritmética dos valores individuais de cada variável analisada: geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura da terra. Desta forma, a identificação da estabilidade e vulnerabilidade se processam no estilo de autocompensação. Por exemplo, se uma área apresenta um tipo de solo com alta predisposição à erosão, porém, apresenta formações geológicas com alto poder de coesão das rochas, altitude média, declividade baixa e cobertura do solo com vegetação natural florestal, as variáveis com elevada vulnerabilidade acabam se neutralizando, pois o que determina a estabilidade/vulnerabilidade de uma região é o conjunto do seu meio físico e não somente uma variável analisada separadamente.

Além da diferença na forma de calcular a fragilidade, os modelos também se diferem nos parâmetros utilizados para cada variável. No modelo proposto por Ross (1994), os parâmetros utilizados para cada variável variam entre 1 e 5 (apenas os números inteiros) para todas as variáveis analisadas. Já no modelo proposto por Crepani *et al.* (2001), as variáveis são classificadas com valores que oscilam entre 1 e 3, com subdivisões entre esse intervalo (Por exemplo: 1,1, 2,3, 2,4...).

Quanto à semelhança, os modelos metodológicos de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) utilizam a inter-relação dos elementos físicos e usos e coberturas da terra.

Os resultados obtidos com a aplicação dos dois modelos de análise da fragilidade ambiental foram divididos em cinco categorias qualitativas de suscetibilidade à erosão. Na tabela apresentada abaixo (Tabela 15), estão expressos os valores em porcentagem (%) de cada uma das classes de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade à perda de solo das propostas metodológicas avaliadas.

Tabela 15 – Porcentagem do grau de Fragilidade Ambiental para as duas metodologias analisadas.

Propostas Metodológicas			
Ross (1994) (Grau de Fragilidade)		Crepani <i>et al.</i> (2001) (Grau de Vulnerabilidade à Perda de Solo)	
Muito Fraca	0,85%	Estável	-
Fraca	23,36%	Moderadamente Estável	6,14%
Média	44,02%	Medianamente Estável/Vulnerável	50,04%
Forte	19,43%	Moderadamente Vulnerável	34,16%
Muito Forte	2,68%	Vulnerável	-

Elaboração: AUTORA, 2018.

Analisando os dados da tabela acima, vê-se que o modelo proposto por Ross (1994) classificou a área de estudo em cinco (5) diferentes graus de fragilidade (muito fraca, fraca, média, forte e muito forte). Já com a aplicação do modelo proposto por Crepani *et al.* (2001), o município de Pelotas foi classificado em apenas três (3) diferentes graus de vulnerabilidade à perda de solo (moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável).

As classes que tiveram uma porcentagem relativamente semelhante foram a classe de fragilidade média e a classe medianamente estável/vulnerável à perda de solo, tendo 44,02% a 50,04%, respectivamente. As demais classes se apresentaram mais contrastantes em termos de total de área classificada através das duas propostas metodológicas.

Tencionando uma análise mais detalhada entre as propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001), foi elaborado um mapa que compara as semelhanças e diferenças entre as classes temáticas de mesmo nível hierárquico, considerando a equivalência entre as classes. Desse modo, apesar das nomenclaturas diferentes encontradas nas classes de Fragilidade Ambiental e de

Vulnerabilidade à Perda de Solo, determinou-se uma correlação entre essas classes, como pode se observa na figura a seguir (Figura 42):

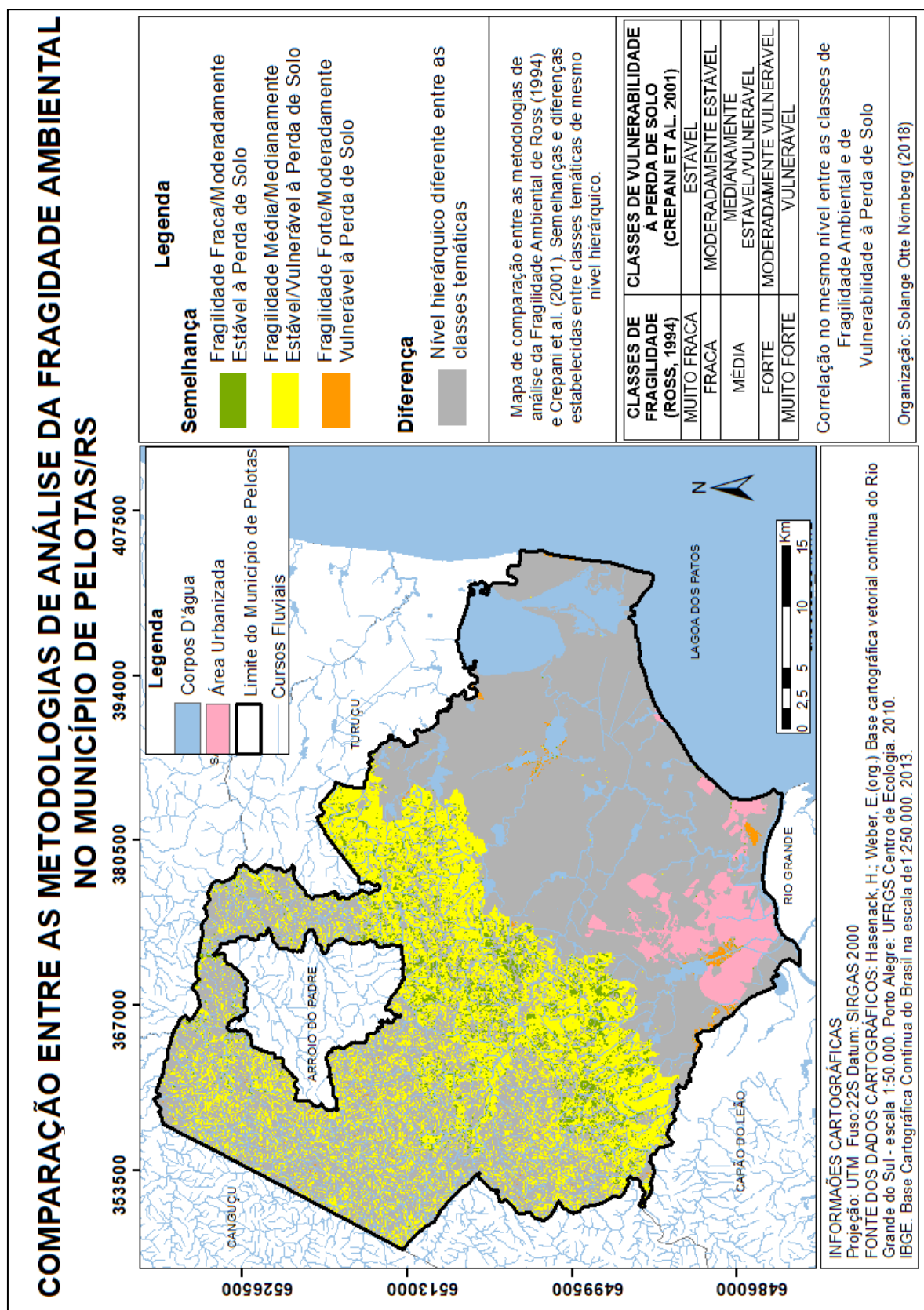


Figura 42 – Comparação entre metodologias de análise da Fragilidade Ambiental.
Elaboração: AUTORA, 2018.

Como observado na figura 42, as semelhanças entre as classes de mesmo nível hierárquico ocorreram entre as classes: fraca fragilidade/moderadamente estável à perda de solo (5,06%, correspondendo a 81,39Km²), média fragilidade/medianamente estável/vulnerável à perda de solo (25,62%, correspondendo a 412,47Km²) e fragilidade forte/moderadamente vulnerável à perda de solo (0,49%, correspondendo a 7,85Km²).

As áreas classificadas como fraca fragilidade e moderadamente estável à perda de solo são verificadas principalmente na porção central e oeste da área de estudo. São áreas de baixa declividade cobertas por uma vegetação natural florestal e sobre solos do tipo Argissolos ou associação de Planossolos com Argissolos.

As áreas classificadas como de média fragilidade e medianamente estável/vulnerável à perda de solo são encontradas nas porções norte e oeste da área de estudo, sobre a área de influência do ESRG. Esta classe está relacionada a locais de baixa a média declividade (6 - 20%) e aos solos do tipo Argissolos, associação de Planossolos e Argissolos, associação de Argissolos e Neossolos e associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos. Além disso, esses graus médios são encontrados em diversos locais utilizados para a agricultura, pastagens e criação de animais.

As áreas classificadas como forte fragilidade e moderadamente vulnerável à perda de solo são vistas na porção sul de Pelotas próximas à área urbana e de alguns corpos d'água. Esses graus de fragilidades mais elevados são encontrados, principalmente, em áreas descobertas, consideradas altamente frágeis pelo fato de não possuírem cobertura vegetal para a diminuição dos processos de morfogênese. Quanto aos solos, essas classes foram verificadas em locais com Neossolos, associação de Gleissolos, Organossolos e Neossolos e associação de Espodossolos, Gleissolos e Organossolos.

Na porção sul da área de estudo, na área de influência da PCRS, é visualizada uma enorme área homogênea divergente entre as classes temáticas de mesmo nível hierárquico. Uma explicação para a diferença entre as metodologias aplicadas em Pelotas é que enquanto na metodologia de Ross (1994) as fragilidades são mais fracas devido ao relevo plano, a proposta de Crepani *et al.* (2001) apresenta as maiores vulnerabilidades, quer dizer, apresenta uma geologia desfavorável, constituída por sedimentos inconsolidados, como, por exemplo, os

depósitos colúvio-aluvionar, depósitos de planície lagunar e os depósitos praias eólicos.

Diferenças entre os mapeamentos de síntese também foram encontradas por Machado (2011), ao comparar as metodologias no Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, e também por Spörl (2001 e 2007), que comparou as metodologias em uma região localizada a noroeste do estado de São Paulo e ao sul de Minas Gerais e no vale do rio Paraíba do Sul em São Paulo.

Ressalta-se que não se propõe neste trabalho apontar as potencialidades e limitações de cada método, dado que tal análise já foi realizada de maneira detalhada por Spörl e Ross (2004). Entretanto, o presente trabalho busca auxiliar, com o conhecimento das fragilidades ambientais ocorrentes no município de Pelotas, no sentido de proporcionar aos órgãos públicos informações que podem beneficiar o planejamento físico territorial, possibilitando, dessa maneira, a melhor relocação de recursos e diretrizes a serem implementadas.

Os resultados obtidos através da aplicação e comparação das metodologias propostas por Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) também podem servir de base para a fundamentação de uma nova proposta de estudo da fragilidade ambiental no município de Pelotas e região, definindo e ponderando-se variáveis com base nas realidades físico-ambientais locais/regionais.

7 Considerações finais

Os procedimentos metodológicos e as metodologias de análise da fragilidade ambiental de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) empregadas no presente trabalho de pesquisa, permitiram o mapeamento de áreas com diferentes graus de fragilidade ambiental no município de Pelotas e a compreensão dos processos que podem provocar a degradação da área, juntamente com os locais mais propícios e menos propícios à sua ocupação.

Uma das principais contribuições das metodologias aplicadas na área de estudo é subsidiar o conhecimento ambiental da área. Futuramente, os mapas sínteses de fragilidade podem servir de subsídio para o planejamento territorial ambiental, auxiliando na implantação de políticas públicas de forma mais sustentável e planejada, evitando problemas de uso e cobertura da terra desordenados.

As ferramentas de geoprocessamento, aliadas aos produtos e técnicas de sensoriamento remoto, foram indispensáveis neste trabalho, pois agilizaram o processo de elaboração e gerenciamento dos dados, proporcionando a geração dos mapas temáticos e a sobreposição destes para a integração e análise dos resultados.

O mapa de uso e cobertura da terra elaborado se apresentou como um instrumento de grande importância nesta pesquisa, pois forneceu subsídios para a avaliação da fragilidade dos vários tipos de uso e cobertura identificados na área de estudo. Este mapa refere-se ao mês de agosto do ano de 2017, contudo deve-se atentar para o fato de que, em função de alterações sazonais nos usos e coberturas da terra, podem se alterar os resultados da pesquisa mediante os pesos atribuídos a esses usos e coberturas.

Como foi observado, os modelos metodológicos de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) levam em consideração os mesmos pressupostos da Ecodinâmica de Tricart (1977) e utilizam a inter-relação de elementos naturais e antrópicos. Porém, esses modelos diferenciam-se no modo de operacionalização dos métodos, nas variáveis analisadas e no peso atribuído às variáveis envolvidas, apresentando resultados diferentes nos mapas sínteses de fragilidade ambiental.

No mapa de fragilidade ambiental elaborado para a área de estudo a partir do modelo metodológico proposto por Ross (1994), predominaram as classes de fragilidade média (44,02%) e fraca (23,36%), as quais localizam-se principalmente na porção sudeste da área de estudo. Já com a aplicação do modelo metodológico de análise da fragilidade ambiental proposto por Crepani *et al.* (2001), na área de estudo predominaram as classes de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável (50,04%), localizadas principalmente nas porções norte e nordeste, e moderadamente vulnerável (34,16%), verificadas principalmente nas porções sul e sudeste em Pelotas.

Sobrepondo os mapas sínteses de fragilidade e comparando as semelhanças e diferenças entre as classes temáticas de mesmo nível hierárquico, verificou-se que 5,06% da área total do município apresenta grau de fragilidade fraco e grau de vulnerabilidade à perda de solo moderadamente estável, 25,62% apresenta grau de fragilidade médio e grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável e 0,49% apresenta grau de fragilidade forte e grau moderadamente vulnerável à perda de solo.

As áreas que apresentaram grau de fragilidade fraco e grau de vulnerabilidade à perda de solo moderadamente estável localizam-se principalmente em locais cobertos por vegetação natural florestal, os quais favorecem processos de interceptação e infiltração das águas das chuvas que diminuem o escoamento superficial e controlam a erosão e assoreamentos dos cursos d'água. Sendo assim, é fundamental que estas áreas sejam mantidas preservadas quando se localizam em topos do relevo, declividades acentuadas, nascentes fluviais e marginais cursos d'água.

Nas áreas que apresentaram grau de fragilidade médio e grau de vulnerabilidade à perda de solo medianamente estável/vulnerável, deve-se procurar o uso racional dos recursos naturais e manejo do solo adequado, principalmente em

locais de campos, pastagens e lavouras temporárias, afim de evitar que o grau de fragilidade aumente.

Nas áreas que apresentaram grau de fragilidade forte e grau de vulnerabilidade à perda de solo moderadamente vulnerável, deve-se desenvolver práticas conservacionistas ao solo, a fim de promover a sua proteção, manutenção da capacidade produtiva e também reduzir os problemas de assoreamento, evitando o carregamento das partículas de solo até os corpos d'água. São áreas que se situam predominantemente em locais de solo exposto e quando da ocorrência de eventos pluviométricos intensos, no contexto das normais climatológicas, a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial resultante do impacto direto das gotas de chuva. Isso diminui a infiltração da água no solo e aumenta o escoamento superficial e a suscetibilidade do solo à erosão hídrica.

Não se pode afirmar qual das metodologias de análise da fragilidade é a mais confiável. Para fazer uma melhor avaliação sobre a eficácia dos mapeamentos de fragilidade ambiental gerados a partir da aplicação dos modelos, é necessário identificar, através da realização de trabalhos de campo e utilização de imagens de maior resolução espacial, áreas com problemas de erosão, escorregamentos, perda de qualidade das águas da superfície e correlacionar essas áreas com os resultados obtidos nos mapas sínteses de fragilidade.

Ressalta-se, ainda, que em eventual futuro estudo seja feito um levantamento de maior detalhamento das declividades da área de influência da PCRS em Pelotas. Na base de dados desse trabalho, utilizaram-se curvas de nível com equidistância de 20 metros e devido a isso houve uma limitação de informações morfométricas relativas as declividades da superfície, considerando-se que grande parte do município está situado sobre áreas com altitudes inferiores a 40 metros.

Os resultados dos mapeamentos de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) podem balizar futuras discussões sobre a formulação de uma metodologia de fragilidade ambiental própria para Pelotas e região, com redefinição e/ou novas ponderações de variáveis a partir das realidades físico-ambientais locais/regionais.

8 Referências

ALMEIDA, T. M. **Análise Geossistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Bahia.** 2014, 267f. Tese (Doutorado em Geografia) Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, 2014.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL: base de dados. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/>>. Acesso em: 15.01.2018.

BACANI, V. M. *et al.* **Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica.** Mercator-Revista de Geografia da UFC, v. 14, n. 2, p. 119-135, 2015.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia física global.** Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Editora: UFPR. Tradução: Olga Cruz.

BIAS, E. S. *et al.* **Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: Uma aplicação na Bacia Hidrográfica do rio São Bartolomeu, DF.** Geociências: UNESP, São Paulo, v. 31, n. 3, p.411-429, jan. 2012.

BIODIVERSIDADE DO RIO GRANDE DO SUL. **Vegetação.** 2018. Disponível em: <http://www.biodiversidade.rs.gov.br/portal/index.php?acao=secoes_portal&id=26&submenu=14>. Acesso em: 28 set. 2018.

CÂMARA, G; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos - SP: INPE, 2001. p. 1-5.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Modelagem de dados em geoprocessamento**. In CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S (Org.). *Geoprocessamento para Projetos Ambientais*. 2 ed. São José dos Campos – SP: INPE, 1998.

CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos - SP: INPE, 2001. p. 5-35.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação dos Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, jan./abr. 1987.

CAREY, B. **Gully Erosion**. 2006. Disponível em: <www.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0023/65246/gully-erosion.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2018.

COELHO, M.R. *et al.* **O recurso natural solo**. In: MANZATTO, C.V. *et al.* (Ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 1-11.

COLAVITE, A. P.; PASSOS, M. M. **Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem**. Revista Geonorte. v. 2, n. 4, p. 1547-1559, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2212>>. Acesso em 05 out. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. (2008). Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em 29 jan. 2018.

CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2009. 183p.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP. IG/ UNICAMP, 1992. 170p.

CUNHA, N. G. **Solos – Pelotas**. Pelotas: EMBRAPA/ CPACT, Ed. UFPEL, 1996. Escala 1:100.000.

DUTRA, C. *et al.* **HOSPITALIDADE URBANA DO CENTRO HISTÓRICO DE PELOTAS/RS**. Applied Tourism, v. 2, n. 3. p. 79-93. 2017.

DUTRA, D. S. **Mapeamento geomorfológico da área de influência do Escudo Sul-Rio-Grandense no município de Pelotas/RS**. 2016. 139f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Laboratório de Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos: 1999.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Normais Climatológicas do Município de Pelotas, 1971 – 2000 (mensais e anuais)**. Disponível em: <<http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/mensal.html>>. Acesso em: 10 out. 2016.

FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk**. 2011. 308 p. Food and Agriculture Organization of the United, Rome and Earthscan, London.

FAVARETTO, N. e DIECKOW, J. **Conservação dos recursos naturais solo e água**. In: Lima *et al.* (Eds.). O solo no meio ambiente. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2007. p.111-126.

FAVILLA, C. A. *et al.* **Mapas Geológicos da Região Costeira do Rio Grande do Sul**. 2000. Porto Alegre, CPRM/ UFRGS. (7 folhas na escala 1:250.000).

FILHO, A. M. C; MENESES, P. R.; SANO, E. E. **Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite**. Revista Brasileira de Cartografia Nº 59/02, Filho 2007.

FILHO, J. C. A. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Árvore do conhecimento: Território Mata Sul Pernambucana. Floresta Estacional Semidecidual**. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7l02wx7ha087apz2x2zjco4.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. (2. Ed. de Imagens de satélite para estudos ambientais.)

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para a geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 31-71.

GAIAD, S.; CARVALHO, P. E. R. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Árvore do conhecimento: espécies arbóreas brasileiras. Glossário**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/CONT000g08hphpk02wx5ok026zxpg7c9wrkm.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

GASPARINI, K. A. C. *et al.* **Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 296-306, jul. 2013. Disponível em: <<http://www.floram.periodikos.com.br/ed/588e21eae710ab87018b458a>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1993, 446p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**/ Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha (organizadores). Rio de Janeiro/RJ: Bertrand Brasil, 1966, 372p.

HASENACK, H.; WEBER, E. J. (org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de Dados Cidades@**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431440&search=rio-grande-do-sul|pelotas>>. Acesso em: 2 abril 2017.

_____. **Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala de 1:250.000**. 2013a. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 27 de outubro 2017.

_____. **Censo Demográfico – 2010**. Resultados do Universo relativos às características da população e dos domicílios. Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2010.

_____. População residente, por sexo e situação do domicílio. In: **IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/series-temporais/series-temporais/>>. Acesso em: 2 novembro 2018.

_____. Manual Técnico de Geomorfologia. In: **Manuais Técnicos em Geociências**. Nº5. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro/ RJ, 2009.

_____. Manual Técnico de Uso da Terra. In: **Manuais Técnicos em Geociências**. Nº 7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro/ RJ, 2013b.

_____. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. In: **Manuais Técnicos em Geociências**. Nº 1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro/ RJ, 2012.

_____. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2017**. Dados para Pelotas. IBGE, 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/pesquisa/16/12705>>. Acesso em: 7 jul. 2018.

_____. **Produção da Pecuária Municipal 2017**. Dados para Pelotas. IBGE, 2018a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/pesquisa/18/16459>>. Acesso em: 7 jul. 2018.

_____. **Geomorfologia**. Pelotas/Mostardas e Pedro Osório – RS, folhas SH.22-Y-D/Z-C e SH.22-Y-C. IBGE, 2003b. Escala 1:250000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geocienciasnovoportal/informacoesambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 03 de maio 2018.

_____. **Vegetação**. Pelotas/Mostardas e Pedro Osório – RS, folhas SH.22-Y-D/Z-C e SH.22-Y-C. IBGE, 2003a. Escala 1:250000. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/escala_250_mil>. Acesso em: 03 de maio 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Imagens do satélite Landsat, instrumento OLI 8. Brasil, Pelotas. Órbita/ Ponto 221/82. Obtidas em: 25 ago. 2017. Resolução 30m. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

ITEPA – INSTITUTO TÉCNICO DE PESQUISA E ACESSORIA/ UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS – UCPel. **Banco de Dados Zona Sul**. 2017. Disponível em: <<http://www.bancodedadoszonasul.com.br/home>> Acesso em 20 dez. 2017.

JORGE, M. C. O; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: Guerra, A. J. T; JORGE, M. C. O. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos. 2013.

LANDIS, J.R., KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v. 33, n.1, p. 159-174, 1977.

MACHADO, C. R. L. **Aplicação e comparação de metodologias de análise ambiental no Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo**. 2011. **136f**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2011.

MEGIATO, E. I. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, RS**. 2011. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. Porto Alegre, RS. 2011.

MENDES, G. S. **Vulnerabilidade erosiva de solos e socioeconomia no semiárido pernambucano**. 2016. 55f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco/UFPE. Recife, PE. 2016.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. Ed. Brasília: CNPq, 2012. V. 1. 256p.

MOREIRA, L. G. R. **Análise da fragilidade ambiental do município de Camará do Sul - RS**. 2013. 169f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. Porto Alegre, RS. 2013.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250 p.

OLIVEIRA, F. F. G de. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte**. 2011. 250f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011.

OLIVEIRA, K. A. de. **Classificação de Imagens LANDSAT 5 para mapeamento do cacauzeiro nativo (*Theobroma cacao* L.), do Rio Purus – Amazonas**. 2010. 67 p. Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.

PELOTAS (RS). Prefeitura. 2018. Disponível em: <http://www.pelotas.rs.gov.br>. Acesso em: abril, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS.III PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE PELOTAS. **Mapa temático: Divisão distrital, localidades e núcleos**. Pelotas: Secretaria Municipal de Urbanismo, 2007. Escala 1:100.000. Projeção UTM. DATUM Sad-69.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. **Relatório Anual da Qualidade Ambiental do Município de Pelotas (RAMB) – 2016**. Secretaria de Qualidade Ambiental, 2017.

PHILIPP, R. P. **Evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Porto Alegre, UFRGS, 1998.

PHILIPP, R. P.; NARDI L. S.; BITENCOURT, M. F. O Batólito Pelotas. In: **Geologia do Rio Grande do Sul**. HOLZ, K.; ROS, L. F. (editores). Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. 444 p.

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: Gênese, morfologia, classificação, levantamento**. 2. Ed. ver. E ampl. Piracicaba, 2001. II.

QUEIROZ, M. L. **Nascentes, Veredas e Áreas Úmidas: Revisão Conceitual e Metodologia de Caracterização e Determinação: Estudo de Caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas - Distrito Federal**. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) Instituto de Geociências, Universidade

de Brasília, Brasília, 2015.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, n. 8. São Paulo: FFLCH-USP, 1994.

ROSS, J. L. S. **“Geomorfologia, Ambiente e Planejamento”**. Editora Contexto, São Paulo, 1990.

RUTZ, E. C. **Análise histórica das enxurradas no município de Pelotas e as consequências da enxurrada de 2009 na Bacia Hidrográfica do Arroio Quilombo, Pelotas/RS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2015. 124 f.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356p.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Agência Embrapa de informação tecnológica. Árvore do conhecimento: solos tropicais. **Neossolos**. 30 abr. 2018a. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_16_2212200611542.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

_____. Agência Embrapa de informação tecnológica. Árvore do conhecimento: solos tropicais. **Gleissolos**. 30 abr. 2018b. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_10_2212200611540.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

_____. Agência Embrapa de informação tecnológica. Árvore do conhecimento: solos tropicais. **Organossolos**. 30 abr. 2018c. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_13_2212200611541.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

_____. Agência Embrapa de informação tecnológica. Árvore do conhecimento: solos tropicais. **Planossolos**. 30 abr. 2018d. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_14_2212200611542.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMA/UFSM-RS. Governo do Estado. **Relatório final do inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2001. v.1 e 2, 706p.

SILVA, A. R. E. **Análise e mapeamento geomorfológico da área de influência da Planície Costeira do município de Pelotas/ RS**. 2017. 181f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

SILVA, M. S. L. da. **Estudos da erosão**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 20 p. Apostila do Curso de Atualização Técnica para Engenheiros Agrônomos do Banco do Brasil, Petrolina, PE, 1995.

SILVA, R. C. da. **Estudo da dinâmica da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. Salvador, 2016.

SILVEIRA, C. T. *et al.* **Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA de Guaratuba / Paraná**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia. Setembro 2016.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007. 185 p. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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.

SUERTEGARAY, D. M. A.; FUGIMOTO, N. V. M. Morfogênese do relevo do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Rio Grande do Sul: Paisagens e territórios em transformação**. VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (orgs.). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. 319 p.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo curso do Rio Passaúna em Araucária.** 2008. 118p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de PósGraduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TEIXEIRA, A. A. D. *et al.* **Mapeamento das áreas verdes urbanas do município de Pelotas, RS.** In: 12º Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, 2015, Nova Prata. Anais do 12º Congresso Florestal do Rio Grande do Sul, 2015. v. I. p. 839-846. Disponível em: <<http://www.congressoflorestalrs.com.br/anais>>. Acesso em: 15. Ago. 2018.

TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J.A. 2000. O Cenozóico do Rio Grande do Sul. In: Holz, M & DE ROS, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**.p.375-406.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

VIERA, V. **Município de Canguçu/RS: o relevo e sua morfodinâmica como condicionantes do dinamismo agrícola.** 2012. 160f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. Agência Embrapa de informação tecnológica. Árvore do conhecimento: solos tropicais. **Argissolos.** 30 abr. 2018a. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

_____. Agência Embrapa de informação tecnológica. Árvore do conhecimento: solos tropicais. **Espodossolos.** 30 abri. 2018b. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_9_2212200611539.html>. acesso em: 30 abr. 2018.