

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

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ARROIO PELOTAS, RS**

ÉRICA INSAURRIAGA MEGIATO  
ORIENTADORA: NINA SIMONE VILAVERDE MOURA

PORTO ALEGRE, ABRIL DE 2011.

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

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ARROIO PELOTAS, RS**

ÉRICA INSAURRIAGA MEGIATO  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nina Vilaverde Moura

Banca Examinadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erika Collischonn (Departamento de Geografia UFPEL)

Prof. Dr. Edinei Koester (Instituto de Geociências UFRGS)

Prof. Dr. Roberto Verdum (Instituto de Geociências UFRGS)

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

Porto Alegre, abril de 2011.

Megiato, Érica Insaurriaga

Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, RS. / Érica Insaurriaga Megiato. - Porto Alegre : UFRGS/POSGea, 2011.

[148 f.] il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2011.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nina Simone Vilaverde Moura.

1. Bacia hidrográfica. 2. Fragilidade ambiental. 3. Arroio Pelotas. 4. Mapeamento temático. I. Título.

---

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

Dedico este trabalho a  
minha família e aos amigos que  
se fizeram presentes nos  
momentos de muito trabalho.

### **Agradecimentos:**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me dado a vida e me ajudado a realizar este trabalho, me dando forças para prosseguir quando tudo parecia difícil.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul meu especial agradecimento por ter me proporcionado a oportunidade de realizar este trabalho junto a esta instituição de excelência.

Sou grata aos professores do curso por me proporcionarem momentos de aprendizagem e por contribuírem com o conhecimento.

Meu agradecimento especial a minha orientadora Dr<sup>a</sup> Nina pela orientação que dedicou a esse trabalho e também pela sua paciência e amizade. Obrigada pela insistência e por acreditar no meu potencial.

Meu sincero agradecimento ao professor Hasenack, por ter me aceitado em seu laboratório e me concedido a honra de participar de sua equipe, sem essa oportunidade eu não teria condições de concluir este trabalho.

Aos colegas do laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS, os quais compartilharam bons momentos de profissionalismo e amizade: Mariana, Gabriel Sakakibara, Lúcio, Elizeu, Eliana, Leila, Rogério e Daniel - vocês fizeram parte dessa caminhada!

À FAURGS pelo apoio financeiro, com o qual foi possível estar em Porto Alegre e completar todos os créditos do mestrado.

Ao pesquisador da Embrapa Clima Temperado e amigo Dr. Alberto Flores que me orientou nos assuntos relacionados à caracterização e mapeamento dos solos da área de estudo.

Ao professor Dr. Edinei Koester e Msc. Marilice Garrastazú, meus orientadores da graduação que sempre estiveram dispostos a contribuir com o conhecimento e a amizade.

Ao professor Msc. Alexandre Bruch, colega e amigo que dedicou parte do seu tempo para me auxiliar nos cruzamentos de informações, de extrema importância para a realização deste trabalho - sem palavras!

Aos amigos que trilharam essa caminhada junto comigo, alguns terminaram antes, outros depois, uma nem sequer terminou, mas quero dizer que vocês

vão permanecer sempre na lembrança como grandes companheiros: Daniele, Luciana, Marcelo e Rosiele - agradeço pelo carinho e amizade.

A amiga Luciana que não pode terminar seu trabalho, mas que com certeza está agora num lugar muito melhor dedico este trabalho com carinho. Você não pode concluir muitas coisas aqui na Terra, mas com certeza em algum lugar bem distante tens outra missão a cumprir.

Meu agradecimento especial a minha amiga Stella que me apoiou demais no início dessa caminhada, serei eternamente grata Stellinha.

As amigas Carla e Raquel pelos agradáveis momentos de convivência, apoio e amizade.

A minha família por sempre me apoiar em tudo que faço, meus sinceros agradecimentos pelo incentivo e apoio de vocês, aos meus pais Darcy e Ceni, ao meu noivo Augusto e meus irmãos Mateus, Ezequiel.

As amigas queridas: Heloísa e Maria de Fátima com quem compartilhei muita discussão sobre esse trabalho.

A professora da UFPel Rosa Noal pelo carinho, apoio e amizade.

Ao amigo Sérgio agradeço pela ajuda com o mapa geológico e ao amigo Alcides por me conceder algumas fotos de sua autoria.

As demais pessoas que de alguma forma estiveram comigo durante esse período de muitos desafios e trabalho, meu agradecimento de coração.

## Os arroios

Mário Quintana

Os arroios são rios guris...  
Vão pulando e cantando dentre as pedras.  
Fazem borbulhas d'água no caminho: bonito!  
....E às vezes vão tão devagar  
que conhecem o cheiro e a cor das flores  
que se debruçam sobre eles nos matos que atravessam  
e onde parece quererem sestar.  
Às vezes uma asa branca roça-os, súbita emoção  
como a nossa se recebêssemos o miraculoso encontro  
de um Anjo...  
Mas nem nós nem os rios sabemos nada disso.  
Os rios tresandam óleo e alcatrão  
e refletem, em vez de estrelas,  
os letreiros das firmas que transportam utilidades.  
Que pena me dão os arroios,  
os inocentes arroios...

## Resumo

Este trabalho consiste na análise da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP), RS, partindo de uma metodologia que integra o estudo dos aspectos físicos e sócio econômicos da área de estudo. A BHAP possui uma área de aproximadamente 910 km<sup>2</sup>, abrangendo parte do território dos municípios de Pelotas, Canguçu, Arroio do Padre e Morro Redondo. O resultado final do trabalho consiste na carta de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica em estudo, o qual foi possível a partir dos estudos e mapeamentos básicos da geologia, geomorfologia, solos e uso do solo. A unidade de estudo localiza-se sobre duas importantes unidades morfoesculturais do estado do Rio Grande do Sul, na porção norte da bacia hidrográfica situa-se o Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, que apresenta em sua morfoestrutura rochas ígneas plutônicas, metamórficas e sedimentares, datadas do período Pré-cambriano. Na porção sul, em direção a sua foz, no Canal São Gonçalo, situa-se a unidade denominada Planície Costeira que possui como morfoestrutura a Bacia Sedimentar de Pelotas, do período Cenozóico. As altitudes na área de estudo variam do nível do mar, na Planície Costeira a aproximadamente 500 metros no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Com relação às declividades, a área de estudo apresenta 52% da área total com declividades de 0 a 6%, declividades Muito Fracas, sendo que toda a porção da Planície Costeira se inclui nesta classe. A soma das declividades Médias, Fortes e Muito Fortes, constituem 27% do total da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, estas classes são encontradas no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Quanto aos tipos de solos, predominam na BHAP os Argissolos Bruno-acinzentados e os Argissolos Vermelho-amarelo na porção norte e os Planossolos na porção sul. O principal tipo de uso do solo identificado na área de estudo é a agricultura (uso misto), representando 55% da área. A carta de fragilidade possibilitou a análise da fragilidade dos ambientes, com relação aos processos erosivos e processos de inundações. Na BHAP foram identificadas áreas com fragilidade Muito Fraca (3%), Fraca (26%), Média (52%), Forte (16%) e Muito Forte (3%).

**Palavras Chaves:** bacia hidrográfica, fragilidade ambiental, Arroio Pelotas, mapeamento temático.

## **Abstract**

The present study examines the environmental fragility of the Hydrographic Basin of the Arroio Pelotas (HBAP), RS, with the use of a methodology that integrates the study of its physical and socioeconomic aspects. The HBAP has an area of approximately 910 km<sup>2</sup>, covering part of the territory of the municipalities of Pelotas, Canguçu, Arroio do Padre and Morro Redondo. The final result is the letter of environmental fragility of the watershed under study, which was based on the thematic studies and mapping of geology, geomorphology, soils and land use. The study unit is located on two important morphosculptural provinces of the state of Rio Grande do Sul; in the northern portion of the watershed lies the Uruguayan Plateau South-rio-grandese, which presents plutonic igneous, sedimentary and metamorphic rocks, dating from Precambrian period, in its morphostructure. In the southern portion, toward the mouth of Pelotas stream, is located the unit called the Rio Grande do Sul Coastal Plain, which has the Sedimentary Basin of Pelotas, from the Cenozoic period, for its morphostructure. The altitudes in the study area vary from sea level in the Coastal Plain to about 500 meters in the Uruguayan Plateau South-rio-grandese. Concerning the slopes, they rate as very low at 52% of the total area of the HBAP, and low at 21% of the area, including the entire Coastal Plain and some areas on the Plateau. The sum of average, strong and very strong slopes constitute 27% of the whole watershed of the Pelotas stream; these classes are located entirely in the Uruguayan Plateau South-rio-grandese. As for the types of soils, bruno-gray and red-yellow Argisols predominate in the northern basin, while Planosols predominate in the southern portion. The main land use found in the study area is agriculture (mixed use), representing 55% of the study area. The letter of fragility allowed the analysis of the fragility of the environments, relating to erosion and flood risk. In the HBAP were identified areas with Very Low (3%), Low (26%), Average (52%), Strong (16%) and Very Strong (3%) environmental fragility.

**Key words:** hydrographic basin, environmental fragility, Pelotas stream, thematic map.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas nos municípios e no Rio Grande do Sul -----	27
Figura 2	Esquema mostrando a taxonomia na compartimentação do relevo -----	47
Figura 3	Unidades morfoesculturais do estado do Rio Grande do Sul -----	59
Figura 4	Fotos que mostram a devastação da mata ciliar em um afluente da BHAP-----	66
Figura 5	Mapa da cobertura vegetal original da BHAP-----	69
Figura 6	Mapa geológico da BHAP-----	71
Figura 7	Mapa de solos da BHAP-----	79
Figura 8	Mapa da rede hidrográfica da BHAP -----	87
Figura 9	Mapa hipsométrico da BHAP-----	91
Figura 10	Mapa clinográfico da BHAP-----	93
Figura 11	Mapa geomorfológico da BHAP-----	97
Figura 12	Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da BHAP-----	118
Figura 13	Mapa de fragilidade ambiental da BHAP-----	129

## LISTA DE FOTOS

Foto 1 Planalto Residual Canguçu -----	28
Foto 2 Planalto Rebaixado Marginal -----	28
Foto 3 Planície Costeira -----	29
Foto 4 Ponte destruída pelo forte volume de água no arroio do Ouro, afluente da BHAP em janeiro de 2009-----	67
Foto 5 Trecho do arroio Quilombo que foi abandonado em janeiro de 2009 decorrente das fortes chuvas registradas na região-----	67
Foto 6 Atividade de mineração na Suíte Intrusiva Pinheiro Machado -----	73
Foto 7 Depósitos Eólicos na Planície Costeira -----	75
Foto 8 Perfil de um Argissolo na BHAP -----	80
Foto 9 Perfil de um Cambissolo na BHAP-----	82
Foto 10 Ocorrência de Planossolo na BHAP -----	83
Foto 11 Afloramentos rochosos em topo de morro que estão sendo cortados e comercializados -----	84
Foto 12 Perfil de um Neossolo Litólico na BHAP -----	85
Foto 13 Principal curso d'água da bacia, o Arroio Pelotas -----	88
Foto 14 Arroio Pelotas no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense com fragmentos de rochas no leito -----	88
Foto 15 Afluente do Arroio Pelotas no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense com sedimentos grossos-----	88
Foto 16 Arroio Pelotas com alguns bancos de areia-----	89
Foto 17 Arroio Pelotas próximo a sua foz-----	89
Foto 18 Pomar de laranjeiras em relevo plano-----	92
Foto 19 Pomar de pessegueiros em relevo declivoso-----	92
Foto 20 Morros com topos convexos e vertentes suaves-----	99
Foto 21 Morro com topo convexo e vertentes íngremes-----	99
Foto 22 Morros com topos planos-----	100
Foto 23 Relevo em forma de colinas-----	101
Foto 24 Planície Fluvial do arroio Pelotas-----	102
Foto 25 Planície Lagunar com dunas e banhados-----	103
Foto 26 Planície Flúvio Lagunar na BHAP-----	103

Foto 27 Áreas Urbanizadas – Condomínio Residencial as margens do Arroio Pelotas-----	120
Foto 28 Uso Misto – Agricultura e pecuária-----	121
Foto 29 Áreas com Solo Exposto-----	122
Foto 30 Floresta Estacional Semidecidual na BHAP-----	123
Foto 31 Mata ciliar com Eucalipto e Pinus, as espécies exóticas se misturam com a mata nativa-----	123

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 Distribuição das classes de solos na BHAP-----	78
Gráfico 2 Distribuição das altitudes na área total da BHAP-----	90
Gráfico 3 Distribuição das classes de declividades-----	95
Gráfico 4 Distribuição das classes de declividades relacionadas aos graus de fragilidade-----	96
Gráfico 5 Distribuição dos padrões e formas de relevo na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	98
Gráfico 6 Distribuição das classes de cobertura vegetal e uso do solo em 2009-----	119
Gráfico 7 Distribuição das classes de Fragilidade Ambiental na BHAP-----	133

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial do Vale do Alto Uruguai-----	40
Quadro 2	Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente do Vale do Alto Uruguai-----	41
Quadro 3	Principais critérios utilizados na identificação de sistemas de relevo de degradação-----	50
Quadro 4	Grau de Fragilidade das classes de Declividade-----	56
Quadro 5	Grau de Fragilidade das classes de solos-----	56
Quadro 6	Grau de Proteção/Fragilidade das classes de cobertura vegetal e uso do solo-----	57
Quadro 7	Comparação entre as morfoestruturas e as morfoesculturas no Rio Grande do Sul-----	61
Quadro 8	Normais climatológicas do período de 1971/2000, mensais e anual-----	64
Quadro 9	Relação das classes de declividades e respectivas áreas ocupadas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	94
Quadro 10	Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	96
Quadro 11	Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município de Arroio do Padre, RS-----	109
Quadro 12	Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município de Morro Redondo, RS-----	110
Quadro 13	Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município Canguçu, RS-----	111
Quadro 14	Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município Pelotas, RS-----	112
Quadro 15	Produto Interno Bruto dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (2004)-----	113
Quadro 16	Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	114
Quadro 17	Classes referentes ao uso do solo e vegetação e áreas respectivas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	115

Quadro 18 Graus de Fragilidade das classes de declividade na BHAP e áreas ocupadas em hectares-----	126
Quadro 19 Graus de Fragilidade dos tipos de solos na BHAP e áreas ocupadas em hectares-----	127
Quadro 20 Graus de Fragilidade e Proteção da cobertura vegetal e do uso do solo na BHAP e áreas ocupadas em hectares-----	128

## LISTA DE SIGLAS

APP- Áreas de Preservação Permanente  
BCD – Base Cartográfica Digital  
BHAP – Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas  
COREDE – Conselho regional de desenvolvimento  
CPACT – Centro de Pesquisas Agropecuárias de Clima Temperado  
CPRM – Serviço Geológico do Brasil  
DEM – *Digital Elevation Model*  
DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro  
EMATER - Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
FEE – Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDH – Índice de Desenvolvimento Econômico  
INCRA – Instituto nacional de colonização e reforma agrária  
IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Changes*  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
MNT – Modelo numérico do terreno  
NEGEEA – Núcleo de estudos em geomorfologia estrutural, escultural e ambiental  
ONG – Organização não governamental  
PIB – Produto Interno Bruto  
SANEP – Serviço autônomo de saneamento de Pelotas  
SIG – Sistemas de informação geográfica  
TIN – *Tiangulated Irregular Network*  
UCPEL- Universidade Católica de Pelotas  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
UFPEL – Universidade Federal de Pelotas  
UTM – *Universal Transversa de Mercator*

## SUMÁRIO

### 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Tema da pesquisa -----	18
1.2 Objetivos e justificativas-----	23
1.3 Localização e Caracterização da área de estudo-----	26
1.4 Pressupostos teóricos e metodológicos-----	30
1.4.1 A Geografia e o conceito de Ambiente na análise da fragilidade---	30
1.4.2 Bacia hidrográfica como unidade de estudo-----	33
1.4.3 As dinâmicas naturais e as fragilidades dos ambientes-----	35
1.4.4 Geoprocessamento-----	42
1.5 Procedimentos metodológicos e operacionais-----	44
1.5.1 Materiais e métodos-----	44
1.5.2 Base Cartográfica Digital da BHAP-----	45
1.5.3 Análise e mapeamento geomorfológico-----	46
1.5.4 Análise e mapeamento geológico-----	51
1.5.5 Análise e mapeamento de solos-----	52
1.5.6 Análise e mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal-----	52
1.5.7 Mapa da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados-----	53

### 2- GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA REGIONAL

2.1 Caracterização Geológica e geomorfológica-----	58
2.2 Caracterização do Clima e vegetação-----	63
2.2.1 Fenômenos e Eventos Climáticos Extremos-----	64
2.2.2 Cobertura vegetal original da área de estudo-----	68

### 3 - ANÁLISE E MAPEAMENTO DOS ELEMENTOS DO MEIO FÍSICO E A FRAGILIDADE DOS AMBIENTES

3.1 Geologia-----	70
3.2 Solos-----	76
3.2.1 Tipos de solos encontrados na BHAP-----	78
3.2.1.1 Argissolos-----	80
3.2.1.2 Cambissolos-----	81
3.2.1.3 Planossolos e Gleissolos-----	82
3.2.1.4 Afloramentos Rochosos e Neossolos Litólicos-----	83

3.3 Hidrografia-----	86
3.4 Geomorfologia-----	90
<b>4 – CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DOS MUNICÍPIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PELOTAS E USO DOS SOLOS-----</b>	<b>105</b>
4.1 Caracterização Populacional e Socioeconômica dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	105
4.1.1 Caracterização Populacional e territorial dos municípios de Pelotas, Morro Redondo, Arroio do Padre e Canguçu-----	105
4.1.2 Caracterização Socioeconômica dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-----	108
4.2 Análise e mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo-----	114
<b>5 - FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PELOTAS-----</b>	<b>125</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS-----</b>	<b>135</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----</b>	<b>138</b>
<b>8. ANEXOS-----</b>	<b>142</b>

## **CAPÍTULO I - Introdução**

### **1.1 TEMA DA PESQUISA**

Os problemas ambientais surgiram no planeta a partir do uso e apropriação dos recursos naturais pelo homem. Desde o momento em que o ser humano passou a utilizar esses recursos para sua subsistência e evolução das sociedades, intensificaram-se os impactos no ambiente. No século XX, com a constante busca pelo progresso material, o homem transformou o ambiente, impactando os recursos naturais em grande escala.

O agravamento da degradação ambiental e dos recursos naturais aconteceu no período em que se iniciou a Revolução Industrial, onde a industrialização trouxe um significativo aumento na produção, transformando rapidamente os recursos naturais em matéria prima para a indústria e, conseqüentemente, para o uso destes materiais industrializados nas cidades e no campo.

Com a Revolução Industrial, iniciou-se a expansão das cidades, onde trabalhadores rurais passaram a migrar do campo em busca de emprego nas indústrias e de melhores condições de vida nas áreas urbanas. A intensificação da urbanização aumentou a degradação ambiental, poluindo rios com detritos domésticos e industriais; o ar foi poluído pelas chaminés das fábricas e pela queima de combustíveis fósseis e os solos passaram a acumular diversos resíduos produzidos pela população e pela indústria.

Após a década de 1950, a Revolução Industrial chega ao campo, intitulada Revolução Verde, levando suplementos agrícolas para aumentar a produção, tais como: máquinas agrícolas, agrotóxicos e, mais tarde, sementes transgênicas. Nesse momento histórico intensificam-se os impactos ambientais no meio rural; os leitos dos rios são poluídos por substâncias tóxicas, o impacto das máquinas no solo intensifica o processo de erosão e cresce o ritmo de desmatamento das florestas e matas ciliares, as quais são substituídas pela agricultura.

As preocupações sobre a temática do meio ambiente surgiram em meados dos anos 60 nos Estados Unidos, quando a humanidade percebeu que os recursos naturais não eram inesgotáveis, o que até então era compreendido (Basso, 2000). Em 1972, a questão da degradação ambiental tornou-se evidente com a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente em Estocolmo e, pela primeira vez, as

questões sobre degradação ambiental tornaram-se pauta em uma reunião internacional.

Vinte anos mais tarde a Rio92, na cidade do Rio de Janeiro, reuniu diversas autoridades de praticamente todas as nações do mundo. Segundo Oliveira e Machado (2007), essa conferência deu origem a diversos acordos fracos e inexpressivos, com poucos compromissos realmente significativos; porém esse encontro foi importante para o despertar da consciência ambiental global. De acordo com as autoras:

O debate mundial sobre o meio ambiente que adentrou no século XX foi iniciado na segunda metade do século passado, provocado pelo reconhecimento paulatino de uma degradação ambiental, que colocou as nações desde então em um estado de alerta. (p. 141)

A partir desse alerta sobre a questão ambiental, passaram a existir, então, diversas partes interessadas por esse assunto tão presente na mídia, desde políticos, técnicos, cientistas, comunidades, ONGs, até o presente momento muitos continuam na luta pela conscientização e na busca de medidas capazes de conter ou amenizar a crise ambiental. O conhecimento do potencial natural de cada região é de extrema importância para o benefício das comunidades locais para que, assim, os recursos naturais sejam utilizados de forma racional e que também estejam disponíveis para as gerações futuras (IPCC, 2007).

A degradação ambiental pode ser observada em diferentes níveis ou escalas, desde os problemas globais como a degradação da camada de ozônio, efeito estufa e o aquecimento global, até os problemas nacionais como o desmatamento da Amazônia. Além dos problemas ambientais de escala global e nacional existem aqueles de ordem regional como a degradação de bacias hidrográficas. Existem dois tipos de impactos ambientais, aqueles que acontecem no ambiente urbano e os que ocorrem principalmente nos ambientes rurais.

Os impactos urbanos são causados principalmente pela densidade de ocupação do solo urbano através da urbanização, onde uma série de problemas ambientais se concentra, desencadeando sérias consequências para as populações locais. A urbanização desenfreada e sem uma fiscalização adequada permite que pessoas ocupem as consideradas áreas de risco, como as encostas, com eventuais

deslizamentos de terra causados pela desestruturação do ambiente através da retirada de cobertura vegetal e intervenções feitas no solo de maneira inadequada, atingindo os moradores dessas áreas. Outra área ocupada pela população de maneira inadequada são as planícies de inundação dos rios, o que causa degradação nesses recursos hídricos, os quais, conseqüentemente, atingem as populações locais nos períodos de cheia.

As construções no solo urbano sem o devido planejamento acabam por impermeabilizar o solo, causando alagamentos. Outros sérios problemas ambientais fazem parte do ambiente urbano: a degradação das drenagens urbanas com dejetos domésticos e industriais e o acúmulo de lixo pela população, tanto de matéria orgânica como de materiais não biodegradáveis, o que tem mudado totalmente esses ambientes, interferindo diretamente na piora de qualidade de vida das populações que residem nesses locais.

Já os problemas ambientais que afetam o meio rural são causados principalmente pelo uso inadequado do solo, como a ocupação das áreas de preservação permanente e a retirada da cobertura vegetal e das matas ciliares. A retirada de cobertura vegetal implica no aumento do assoreamento dos cursos d'água, conseqüentemente diminuindo a profundidade e a vazão desses cursos. De acordo com Beltrame (1994):

A cobertura vegetal é um fator importante na manutenção dos recursos naturais renováveis. Além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protege o solo contra o impacto das gotas das chuvas, aumentando a porosidade e permeabilidade do solo através da ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, mantendo a umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica, etc. (p. 14)

Muitas vezes o tipo de uso que é feito do solo, principalmente a partir da retirada da cobertura vegetal, acarretam em processos erosivos, gerando uma grande quantidade de perda do solo (que se formou em milhares de anos) em um curto espaço de tempo. Da mesma forma como é observada no ambiente urbano, a degradação dos cursos d'água também acontecem nas áreas rurais, através do despejo de detritos domésticos e industriais nos leitos dos cursos d'água, sem nenhum tipo de tratamento prévio.

Além dos exemplos citados anteriormente, o acúmulo de lixo na área rural também é um problema sério, pois dificilmente há coleta de lixo nessas áreas, fazendo com que os moradores queimem o lixo ou então acabem jogando na mata ciliar ou córregos d'água.

A agricultura também é responsável pela degradação do ambiente rural, pois o inadequado manejo do solo e o uso de defensivos agrícolas nos cultivos têm provocado diversos impactos, como a perda de solo e a contaminação dos solos e dos cursos d'água.

Com a preocupação de entender a degradação ambiental e de minimizar os impactos antrópicos, diversos estudos integrando meio físico e sociedade já foram realizados. A geografia é uma ciência capaz de responder as questões referentes ao meio ambiente, pois estuda os aspectos naturais do ambiente e a forma de apropriação do ser humano sobre os recursos naturais.

Os estudos integrados são possíveis através da multidisciplinaridade e interdisciplinaridade, unindo os conhecimentos de diversas disciplinas para a compreensão holística do meio. De acordo com Nascimento e Sampaio (2005), no Brasil os estudos integrados se materializaram a partir da publicação do RADAM BRASIL (1981), sendo que estes trabalhos começaram a se desenvolver na década de 70. Dessa forma a geografia física ganhou mais campo dentro das áreas de ciências da terra; esses estudos tiveram a contribuição de Ab'Saber, Carlos A. F. Monteiro, Francisco Mendonça, Marcos José Nogueira de Souza, Jurandyr L. S. Ross, entre outros geógrafos.

Botelho e Silva (2007) trazem exemplos de situações no Brasil em bacias hidrográficas onde estudos integrados se fazem necessários, como é o caso das bacias dos rios Paraíba do Sul e Piracicaba em São Paulo. Os estudos acerca dos impactos ambientais, de forma integrada, permitem entender os aspectos da dinâmica natural dos ambientes (suas fragilidades e potencialidades), aliada às ações humanas, as quais implicam diferentes mudanças no meio, de acordo com sua gênese (meio natural) e intensidades das ações proporcionadas pelo ser humano. A bacia hidrográfica permite o estudo integrado dos diferentes elementos que compõem esta unidade.

De acordo com Botelho e Silva (2007) a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial na geografia desde o final dos anos 60, sendo incorporada nos estudos de geografia e das ciências ambientais. A bacia hidrográfica usada

como célula de análise, implica o conhecimento das diversas componentes, dos processos e interações que ocorrem nessa unidade. A visão sistêmica e integrada do ambiente se torna implícita na escolha de uma bacia hidrográfica como unidade espacial. Os autores afirmam que:

Ao distinguirmos o estado dos elementos que compõem o sistema hidrológico (solo, água, ar, vegetação, etc.) e os processos a eles relacionados (infiltração, escoamento, erosão, assoreamento, inundação, contaminação, etc.), somos capazes de avaliar o equilíbrio do sistema ou ainda a qualidade ambiental nele existente. (p. 153).

No Brasil, durante a década de 80, vários trabalhos foram publicados no sentido de avaliar as práticas de manejo e conservação do solo e planejamento do seu uso, considerando suas limitações e potencialidades (Botelho e Silva, 2007). Essa preocupação com o uso do solo refletiu-se na criação de normas e regulamentos para ordenação do território, como os planos diretores municipais e a instituição de programas conservacionistas, como o Projeto Nacional de Microbacias Hidrográficas.

A bacia hidrográfica é uma unidade espacial ideal para o estudo da fragilidade e potencialidade dos ambientes naturais e antropizados, pois, constitui um sistema aberto com constantes trocas de matéria e energia, onde os aspectos naturais do meio são constantemente modificados pelo uso antrópico.

Ross (1994) propõe a metodologia de avaliação da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados com o intuito de avaliar o grau de fragilidade de um sistema. Esse estudo é importante para entender as condições de equilíbrio dinâmico sobre os ambientes naturais e antropizados. Segundo o autor, Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial são os ambientes onde a interferência antrópica é restrita, prevalecendo a cobertura vegetal. Já as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente, são ambientes onde as condições de equilíbrio foram modificadas pela ação humana.

A área de estudo corresponde à Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas - RS, que apresenta duas paisagens distintas: a porção norte da bacia hidrográfica, no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e a porção sul, na Planície Costeira. É importante observar que, além de dinâmicas naturais distintas, a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas possui usos diferenciados nessas duas unidades

geomorfológicas; pois apresenta principalmente problemas relacionados ao ambiente rural, como o uso do solo em áreas de preservação permanente onde foi retirada a cobertura vegetal da mata ciliar, áreas onde se relacionam dinâmicas distintas de acordo com a gênese desses ambientes, as quais são intensificadas pelo uso antrópico.

Na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas propõe-se esta pesquisa para a avaliação e espacialização dos graus de fragilidade na área da bacia. Com os resultados deste estudo é possível mostrar para as autoridades interessadas o mapeamento das áreas de maior fragilidade e também das áreas de maior potencialidade para desenvolvimento das atividades socioeconômicas. O mapa de fragilidade ambiental pode ser utilizado pelas prefeituras e secretarias responsáveis pela temática ambiental como subsídio para tomada de decisões sobre o ordenamento territorial na bacia hidrográfica em estudo.

## **1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS**

O trabalho tem por objetivo principal analisar e mapear a fragilidade dos ambientes naturais e antropizados na bacia hidrográfica através da metodologia proposta por Ross (1994), onde serão analisadas as características naturais da bacia e as alterações ambientais ocorridas pelo uso do solo. Para alcançar o objetivo geral será necessária a realização de alguns objetivos específicos. Dentre os objetivos específicos do trabalho busca-se:

- Caracterizar a geologia regional e da área de estudo através dos mapeamentos existentes como os mapas do Projeto Radam (1986) e o mapa geológico da CPRM, adaptando os mapas para a área da bacia de acordo com a escala de trabalho.
- Mapear e caracterizar os tipos de solos que constituem a bacia através do mapeamento das manchas de solo feito pela EMBRAPA e adaptado por MEGIATO (2007), caracterizando as potencialidades agrícolas, bem como as limitações desses solos pela capacidade de uso agropecuário.
- Analisar dados climáticos como dados de precipitações e temperatura, os quais serão utilizados para a caracterização climática da área de estudo.

- Mapear os compartimentos do relevo na bacia hidrográfica de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994) tendo como resultado o mapa geomorfológico da BHAP.
- Mapear o uso e ocupação do solo e cobertura vegetal através das imagens de satélite LANDSAT, classificando em diferentes classes de uso do solo.
- Elaborar o mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, levando em consideração os processos erosivos que ocorrem nas áreas de encosta e os processos de inundação nas áreas agradacionais (predominantemente planas).

Os motivos que permeiam a proposta deste trabalho são principalmente pelo fato de inexistirem estudos dessa natureza na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas e pela importância da avaliação da fragilidade e potencialidade dos ambientes que compõem a área de estudo. Através do mapa de fragilidade, que é um mapa síntese resultante dos cruzamentos de outros mapeamentos específicos, serão apresentadas as considerações finais; mostrando os graus de fragilidade dos diversos ambientes, os quais poderão servir de apoio para o ordenamento territorial.

Um estudo sobre a fragilidade dos ambientes é de fundamental relevância na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas; já que o Arroio Pelotas, além de ter importância ambiental e econômica nos municípios de sua abrangência, é considerado patrimônio cultural do estado do RS pela Lei nº 11.895 de março de 2003 (SISTEMA LEGIS, 2007), devido a sua importância histórica no desenvolvimento do município de Pelotas.

Outro fator relevante é a crescente urbanização que se verifica principalmente no município de Pelotas, pois o conhecimento da fragilidade dos ambientes serve como auxílio para ordenar a ocupação territorial da área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Além do conhecimento das áreas mais sujeitas a fragilidade, tanto por causas naturais, quanto pelas causas antrópicas, pelo mapeamento da fragilidade é possível identificar as áreas de potencialidades na área de estudo, uma vez que a fragilidade e a potencialidade são grandezas inversamente proporcionais, quando analisadas para o uso e ocupação do solo.

O estudo da fragilidade ambiental permite conhecer quais são as áreas que estão sujeitas a sofrer uma mudança mais significativa, através do ritmo de exploração das atividades agrícolas, industriais e de urbanização; além de mostrar

as áreas que são frágeis pelas características do meio físico, como as áreas sujeitas aos processos de inundação. Por outro lado, é possível também identificar quais são as potencialidades desse meio, identificando áreas que poderão ser aproveitadas adequadamente pela agricultura e pelo desenvolvimento das atividades econômicas.

A cartografia é o instrumento ideal para representar esses compartimentos da bacia hidrográfica, mostrando o grau de fragilidade dos ambientes, explicando as características naturais agregadas às dinâmicas que ocorrem nesse ambiente. Portanto os mapas de fragilidade ambiental servem para auxiliar no ordenamento territorial da bacia hidrográfica, podendo ser visualizado seu planejamento, sem interferir no ambiente natural ou interferindo de forma adequada nas supostas áreas de maior fragilidade.

A ocupação do município de Pelotas deu-se às margens do Arroio Pelotas, primeiramente com a fundação das charqueadas. As águas do arroio eram usadas na produção e manuseio do charque e escoamento da produção, a qual era feita via Arroio Pelotas e Canal São Gonçalo. Sabe-se que desde o início de sua ocupação, esta tem sido de caráter exploratório, visando somente o uso dos recursos naturais na área. Esse trabalho permite uma análise do uso antrópico nos ambientes mais suscetíveis à degradação, ou seja, conhecer o grau de fragilidade desses ambientes frente ao uso e ocupação humana, bem como a fragilidade potencial dos ambientes na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

### 1.3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas localiza-se no estado do Rio Grande do Sul na Região Hidrográfica do Litoral, fazendo parte da bacia dos rios Piratini/São Gonçalo. A bacia em estudo situa-se entre as coordenadas geográficas 52° 10' e 52° 50' W e 31° 20' e 31° 50' S com uma área de aproximadamente 910 km<sup>2</sup> que abrange os municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre (figura 1).

A maior porção da bacia encontra-se dentro dos limites do município de Pelotas, onde o Arroio Pelotas, deságua no canal São Gonçalo. No contexto do meio físico, a bacia encontra-se sobre duas províncias geomorfológicas, na porção norte sobre o Planalto Sul-rio-grandense e na porção sul, sobre a Planície Costeira.

O fato de encontrar-se sobre duas províncias geomorfológicas distintas possibilita que haja diferentes dinâmicas do meio físico na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas; o que se observa na densidade de cursos d'água que vai diminuindo consideravelmente à medida que se aproxima do exutório, no canal São Gonçalo. Na área da bacia encontram-se diversos afluentes com diferentes morfologias, desde canais intermitentes que variam de 500 m a 2 km de extensão, até canais perenes, que variam de 500 m a 99 km, que é a extensão do principal curso d'água dentro da bacia hidrográfica, o Arroio Pelotas.

As principais vias de acesso para chegar à Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas são a BR 116, que corta o Arroio Pelotas no município de Pelotas e a BR 392 que liga o município de Pelotas aos municípios de Morro Redondo e Canguçu.

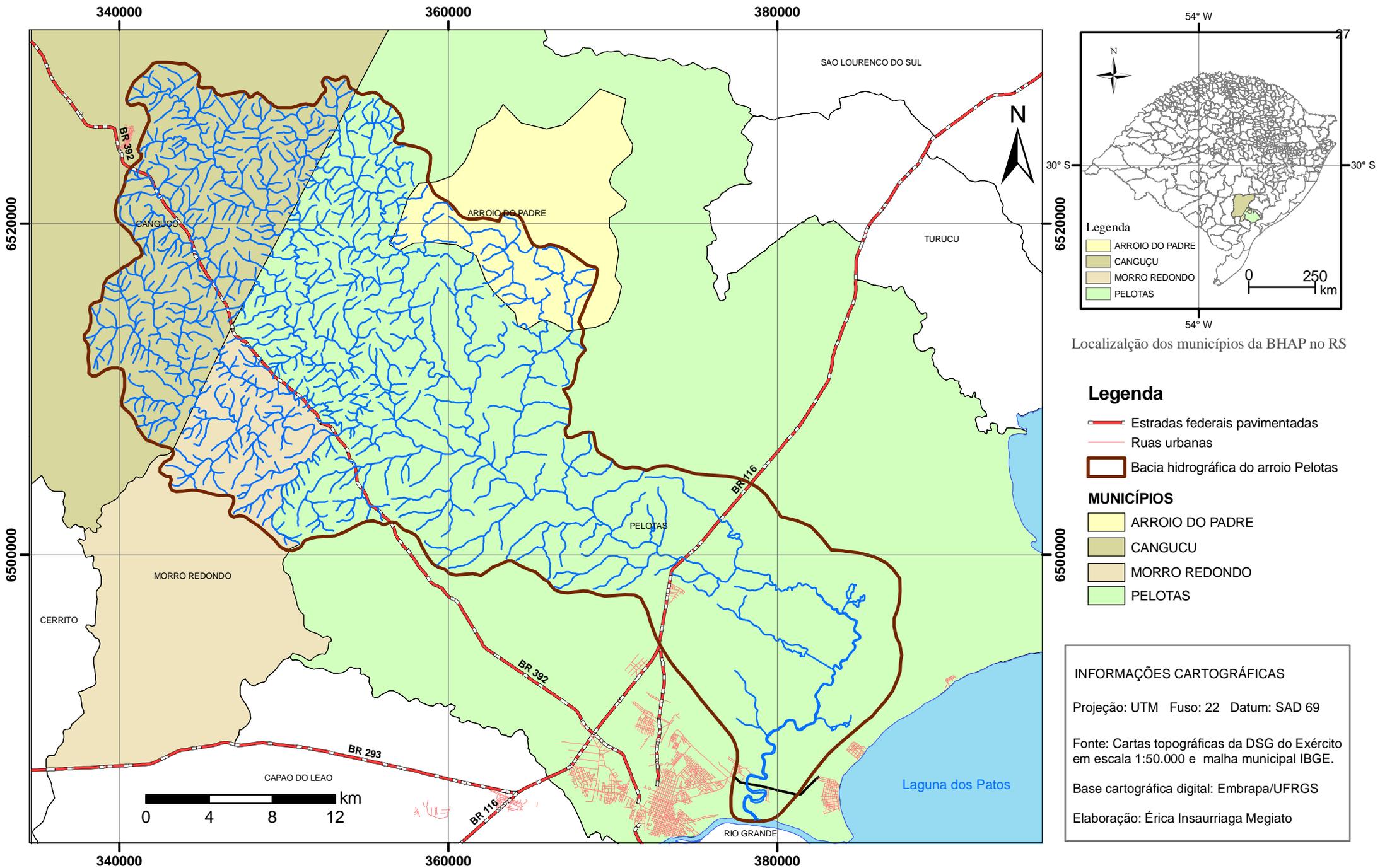
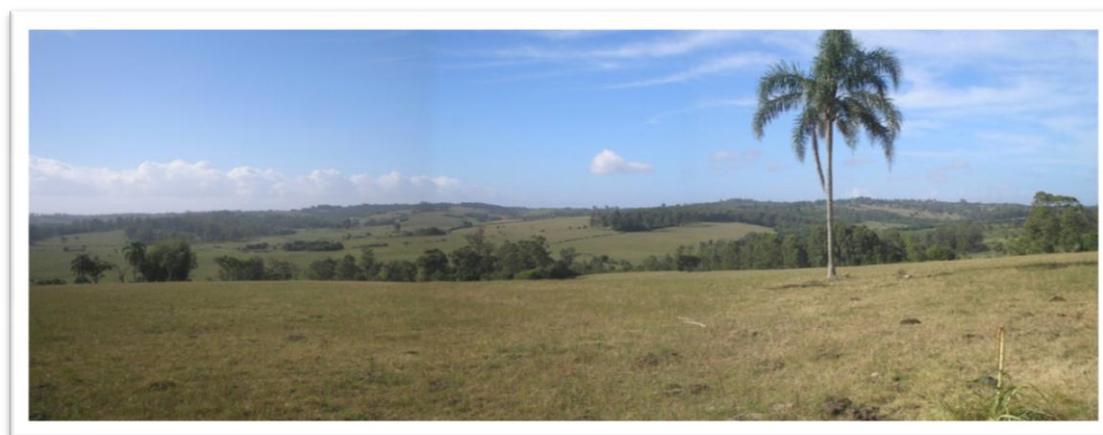


Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas nos municípios e no Rio Grande do Sul

As altitudes na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas variam do nível do mar no município de Pelotas na Planície Costeira, até aproximadamente os 500 metros no município de Canguçu no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Segundo IBGE (1986) a área de estudo divide-se em quatro unidades geomorfológicas distintas, o Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, que subdivide-se em: Planalto Residual Canguçu (foto 1) e o Planalto Residual Marginal (foto 2). A Planície Costeira (foto 3) apresenta duas unidades geomorfológicas de acordo com o tipo de formação: a fluvial, Planície Aluvio Coluvionar e a de formação lagunar denominada Planície Lagunar.



**Foto 1** – Planalto Residual Canguçu – Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Autora: Érica Megiato (2007).



**Foto 2** – Planalto Rebaixado Marginal – Encosta do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Autora: Érica Megiato (2007).



**Foto 3** – Planície de inundação do Arroio Pelotas, próximo a sua foz na Planície Costeira. Autora: Érica Megiato (2007).

## **1.4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS**

Este capítulo pretende fazer uma breve revisão sobre os conceitos relevantes para a compreensão da metodologia proposta no trabalho, sobre os estudos em bacias hidrográficas, sobre as ferramentas de geoprocessamento, importantes para a realização dos mapeamentos na área de estudo e a respeito da metodologia da análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.

### **1.4.1 A Geografia e o conceito de Ambiente na análise da Fragilidade Ambiental.**

O principal conceito geográfico abordado na análise da fragilidade ambiental da BHAP é o de ambiente. Este pode ser entendido como o conjunto de elementos atuantes em um determinado local, numa escala de análise desejada, no caso deste estudo, a bacia hidrográfica. No âmbito de uma bacia hidrográfica ocorrem entradas e saídas de fluxos energéticos através de fenômenos e dinâmicas naturais, sendo que estes podem ser influenciados e alterados através da dinâmica de ocupação e uso do solo pelas sociedades humanas, transformando assim o ambiente natural de uma bacia hidrográfica.

O conceito de ambiente passa a ser evidenciado a partir da preocupação com a temática ambiental que teve início por volta dos anos 60, onde a percepção da degradação do ambiente fez com que os grupos sociais se voltassem para esta questão. A partir de então, várias ciências passaram a trabalhar com a temática ambiental, sendo que a geografia também passou a desenvolver cada vez mais estudos abordando o conceito de ambiente.

Nesse contexto, cabe analisar o significado de ambiente para a geografia. Alguns autores já trataram do conceito de ambiente como sendo algo natural, ou seja, a natureza sem a interferência humana, sendo analisada apenas no entendimento das dinâmicas e processos dos sistemas naturais. Essa concepção de ambiente é derivada da Ecologia e Biologia, ciências consideradas naturais. Já para a geografia, apesar de existirem estudos que contemplem mais os aspectos físicos e naturais do ambiente e outros que evidenciem mais as dinâmicas da sociedade e a natureza humana, é importante analisar os resultados dessa integração: sociedade e ambiente natural.

Ross (2009), citando Grigoriev (1968) afirma não existir geografia sem sociedade, utilizando a citação do geógrafo russo que diz ser “impossível estudar o todo sem compreender suas partes”. Sendo assim, o ambiente na geografia é analisado numa perspectiva integrada, composta pelos elementos do meio físico e pela ação da sociedade. De acordo com Ross (2009):

“É no âmbito da geografia física aplicada dos russos que também se encontra uma preocupação crescente de arrolar no contexto das abordagens analítico-integradas a relação sociedade-natureza trabalhada na geografia”. (p. 14)

Segundo Suertegaray (2000) pode-se afirmar que a geografia pensa o ambiente de forma diferente das ciências naturais, pois “nele o homem se inclui não como ser naturalizado, mas como um ser social produto e produtor de várias tensões ambientais”.

Ainda sobre o papel da geografia nos estudos ambientais Ross (2009) salienta que:

“...a Geografia contemporânea encontra-se preparada, mais do que outras ciências, para os estudos ambientais, pois dispõe dos métodos necessários, com um imenso volume de dados e informações científicas sobre o meio natural e seus recursos, bem como sobre o grau e as formas de sua proteção e aproveitamento econômico”. (p. 16)

Analisando a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, o ambiente pode ser estudado, levando em consideração as características naturais de determinados ambientes bem como as influências do homem nestes ambientes, como também as interferências das dinâmicas e processos ambientais nos atores sociais que se inserem neste contexto.

É possível no contexto de uma bacia hidrográfica, a identificação de ambientes que são diferenciados pela própria dinâmica natural, através dos elementos morfoestruturais e morfoesculturais do relevo, ambientes estes que são geneticamente diferenciados pelos seus tipos de solo, tipos de vegetação, morfologia hidrográfica e que acabam sendo utilizados pelas sociedades de acordo com suas características naturais, tornando-se ambientes caracterizados pelos diferentes tipos de uso do solo e ocupação humana.

No estudo da fragilidade ambiental evidencia-se a fragilidade potencial, que é o grau de fragilidade natural ou genético dos ambientes, dados pela estrutura geológica, pelos tipos de solo, pelos graus de declividade do terreno e pelas diferentes formas que se constituíram ao longo do tempo geológico. Para a análise da fragilidade potencial, o ambiente é visto como um ambiente natural, ou seja, sem as alterações causadas pela ação humana.

Ainda para o estudo da fragilidade ambiental deve-se destacar a análise da fragilidade emergente, a qual representa os ambientes que sofreram alterações e mudanças na dinâmica natural pelo uso do solo e ocupação humana no tempo histórico. É importante ressaltar que na área de estudo praticamente não existem áreas que não sofreram alguma influência da ação humana, portanto a fragilidade ambiental na BHAP é o resultado da análise da fragilidade potencial e emergente dos ambientes.

Tendo em vista que este trabalho é uma análise de cunho geográfica, o ambiente na avaliação da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas consiste na análise da integração de diversos elementos, tanto aqueles considerados naturais quanto aqueles que foram transformados ou influenciados pela ação dos atores sociais que compõe este sistema físico-ambiental.

Portanto o ambiente neste estudo representa a junção das dinâmicas naturais com o uso que o ser humano faz dessas áreas. Em uma bacia hidrográfica de escala regional, como é o caso da área de estudo, pode ser identificado, no mínimo, dois ambientes distintos: o ambiente urbano e o ambiente rural, esses ambientes apresentam dinâmicas diferentes pela situação em províncias geológico-geomorfológicas distintas e pelos tipos de uso do solo que são feitos dessas áreas.

#### **1.4.2 Bacia Hidrográfica como unidade de estudo**

Para a análise das características ambientais onde se possam fazer considerações a respeito do meio físico e antrópico, a bacia hidrográfica é um recorte espacial apropriado. Através desse recorte espacial, é possível analisar de forma integrada os aspectos físicos, bem como as modificações antrópicas causadas pelos atores sociais que fazem parte do contexto desse ambiente.

Segundo Botelho & Silva (2004), desde o fim dos anos 1960, bacia hidrográfica é entendida como célula básica de análise ambiental. Isto se deve ao fato de que, através do estudo de uma bacia hidrográfica, é possível analisar os diferentes fatores e processos que interagem nesse meio. É possível avaliar ainda a qualidade ambiental ou equilíbrio do sistema estudado, analisando a qualidade da água, do solo, dos recursos naturais e a influência antrópica nesse sistema.

Existem três possíveis dimensões de análise espacial de uma bacia hidrográfica: representativa, bacia ou microbacia estratégica e bacias experimentais. A representativa inclui o estudo de uma porção significativa do território; a bacia ou microbacia estratégica é estudada de acordo com as características específicas de certa região, ou seja, de acordo com certos problemas de urgência para o local de estudo; já as bacias experimentais são aquelas com área menor de 20 km<sup>2</sup>, onde pode ser implantado algum tipo de projeto específico para experimentação na área.

No caso do presente estudo, a escala de trabalho utilizada é representativa, pois, a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas possui uma área que abrange quatro municípios da região sul do Rio Grande do Sul, com uma área significativa de aproximadamente 910 km<sup>2</sup>.

Segundo Cunha e Guerra (2000), bacia hidrográfica é a unidade integradora dos setores naturais e sociais; por isso, qualquer mudança em um destes setores, pode gerar impactos à jusante e nos fluxos energéticos de saída de uma bacia hidrográfica. Os autores afirmam que mudanças no interior de uma bacia hidrográfica podem ser o resultado da dinâmica natural do ambiente; porém, as atividades humanas agem como acelerador dos processos modificadores, gerando o desequilíbrio da paisagem. De acordo com os autores:

As bacias de drenagem recebem energia fornecida pela atuação do clima e da tectônica locais, eliminando fluxos energéticos pela saída da água, sedimentos e solúveis. Internamente verificam-se constantes ajustes nos elementos das formas e nos processos associados, em função das mudanças de entrada e saída de energia. (p. 353).

As atividades humanas em uma bacia hidrográfica podem interferir para o aumento de sedimentos na calha fluvial, fazendo com que os cursos d'água percam profundidade e, em compensação, alarguem o canal através da erosão das

margens. Sendo assim, a erosão é o principal fator de perda de solo em uma bacia hidrográfica.

Para a estimativa da quantidade de perda de solo em uma bacia hidrográfica, podem ser usadas ferramentas de geoprocessamento para avaliar as quantidades do mesmo, perdidas pela erosão hídrica. É possível ainda, através do mapeamento de uso do solo, determinar quais são as classes potenciais para perda de solo na bacia e os fatores que influenciam para maior fragilidade.

A erosão dos solos é intensificada pelos fatores naturais, como: clima, substrato litológico e também por chuvas concentradas e fortes declividades. Porém, as práticas de uso do solo, como desmatamento e agricultura podem acelerar os processos de erosão. Para tanto, Cunha e Guerra (2000), afirmam que:

As chuvas concentradas, encostas desprovidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedologia, encostas íngremes, são ainda, algumas condições naturais que podem acelerar os processos de degradação nas encostas de bacias hidrográficas. (p. 343)

As taxas de erosão são controladas por fatores como erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, aferida por suas propriedades, natureza da cobertura vegetal e características das encostas. O estudo detalhado desses fatores fornece informações de como, onde e por que a erosão ocorre.

Para Beltrame (1994), são considerados quatro fatores de importância para a avaliação da degradação do meio físico em uma bacia hidrográfica: a cobertura vegetal, pelo fator de proteção que a vegetação proporciona; o clima, na análise da erosividade das chuvas e balanço hídrico dos setores de uma bacia hidrográfica; as características geológicas e pedológicas, para avaliação da suscetibilidade à erosão e densidade de drenagem e o último fator de igual importância que são as características do relevo, como hipsometria e geomorfologia.

Devido à integração dos diversos elementos que fazem parte de uma bacia hidrográfica e de suas respectivas dinâmicas, esta unidade se torna tão importante nos estudos de planejamento e de avaliação dos impactos ambientais. Torna-se necessário, portanto, estudar as dinâmicas naturais e a possível fragilidade potencial do meio, bem como, avaliar as atividades humanas que contribuem para a aceleração da degradação ambiental na bacia hidrográfica.

Atualmente há no Brasil e no mundo, interessados em estudos de gestão e gerenciamento de bacias hidrográficas. Segundo Cunha e Guerra (2000):

O fortalecimento do critério de gestão para bacias hidrográficas brasileiras teve início com a criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH, 1978), cujos objetivos são realizar estudos integrados de bacias hidrográficas, monitorar os usos da água, classificar seus cursos e coordenar as diversas instituições envolvidas. (p. 366).

Os estudos de degradação e impactos ambientais nas bacias hidrográficas possuem geralmente o caráter de avaliar as condições em que se encontram o meio físico na área de estudo. São avaliados índices de qualidade da água, erosão e outros fatores, relacionados com o desequilíbrio natural do ambiente. Porém, esses resultados por si só não são integradores, caso não sejam considerados os atores sociais que utilizam esses recursos naturais.

O estudo da fragilidade dos ambientes naturais e antrópicos privilegia as duas escalas de análise possível no âmbito da geografia: o contexto do meio físico e a extensão dos aspectos humanos. Assim, é possível visualizar o ambiente com suas próprias dinâmicas e as influências das atividades antrópicas nos ambientes naturais.

#### **1.4.3 As dinâmicas naturais e a fragilidade dos ambientes.**

O avanço da exploração dos recursos naturais tem aumentado à medida que o desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades se intensifica. A crescente industrialização, a mecanização da agricultura, os sistemas de monocultura, a agropecuária, a exploração de recursos energéticos como o carvão, o petróleo e os recursos hídricos, têm alterado o estado de equilíbrio dinâmico da natureza. Esse estado de equilíbrio dinâmico pode se manter alterado por muito tempo e até mesmo ser perdido para sempre, devido a intensidade dessas mudanças no ambiente.

O grau de equilíbrio dos ambientes pode ser avaliado através da análise empírica da fragilidade ambiental, que está baseada principalmente na intensidade da morfodinâmica do relevo (ROSS, 1994). Essa análise é possível através do

cruzamento de várias informações sobre o ambiente natural e o uso e ocupação da terra nessas áreas. 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.

A ocupação humana e a apropriação dos recursos naturais causam uma mudança significativa no ambiente natural de uma bacia hidrográfica, tornando praticamente impossível encontrar locais que não sofreram alguma modificação direta ou indiretamente causada pela ação antrópica. Muitas vezes o tempo em que o homem modifica o ambiente é mais intenso que o tempo natural de mudanças no sistema. Sendo assim, alguns recursos naturais considerados renováveis não têm tempo suficiente para a regeneração, tornando cada vez mais escassos e suscetíveis à degradação.

A alteração da dinâmica natural dos ambientes implica uma série de conseqüências que poderão ser sentidas no meio social, uma vez que essas mudanças podem alterar o curso natural dos sistemas de chuvas, de escoamento e de infiltração da água. Estas alterações do ambiente natural podem causar deslizamentos, escorregamentos de terra, alagamentos, inundações, causando inúmeros problemas para as populações que vivem nesses ambientes.

Para o estudo integrado de uma bacia hidrográfica é necessário o entendimento da dinâmica do meio natural, ou seja, de como esse ambiente se comporta independente das ações humanas e de como as atividades antrópicas modificam o sistema natural da bacia hidrográfica. Segundo Ross (1994), a elaboração de uma análise da fragilidade ambiental deve partir de uma metodologia que englobe a compreensão das características e dinâmicas naturais e do meio sócio econômico do território em estudo.

De acordo com Ross (2003), a geomorfologia possui caráter integrador, pois, busca entender a evolução espaço-temporal dos processos, sendo estes analisados antes e depois da intervenção humana no ambiente em estudo. Na análise da fragilidade ambiental, os estudos geomorfológicos são indispensáveis, pois o mapeamento e a análise geomorfológica refletem as dinâmicas naturais do ambiente e o grau de intervenção antrópico no modelado terrestre. Com base na morfodinâmica, o nível de intervenção humana pode ser analisado através do grau de instabilidade do ambiente.

Ainda sobre o caráter integrador, Ross (2009) afirma que os métodos e análises da ciência geográfica possibilitam o planejamento e gestão ambiental com grande eficiência, integrando os estudos do meio físico e socioambiental. Com relação à geografia, o autor afirma:

A base teórico-metodológica está calcada nos princípios da análise sistêmica e no tratamento de informações referentes à natureza e à sociedade no contexto da integração de dados, combinados e inter-relacionados, de forma que possibilite alcançar a concepção socioambiental de um determinado lugar, propiciando uma perspectiva holística da interação sociedade-natureza. (p. 198)

De acordo com o autor, a fragilidade dos ambientes naturais deve ser avaliada quando pretende-se aplicá-la ao planejamento territorial e ambiental. Essa metodologia é analisada sob o prisma da Teoria de Sistemas, a qual parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria acontecem por meio de relações em equilíbrio dinâmico.

As ações humanas causam constantemente diferentes estados de desequilíbrio na natureza. Segundo Bertalanffy (2009), um dos propósitos da Teoria Geral dos Sistemas é integrar os conhecimentos de várias ciências, naturais e sociais, permitindo assim uma análise da totalidade do objeto de estudo.

A metodologia da fragilidade empírica baseia-se nos conceitos de Tricart (1977), que fala da Ecodinâmica dos ambientes:

“A ótica dinâmica impõe-se em matéria de organização do espaço. Com efeito, esta não consiste na intervenção em um meio inerte, que leva em consideração dados imutáveis, definidos uma vez por todas...”. A ação humana é exercida em uma natureza mutante, as quais evoluem segundo leis próprias, das quais percebemos, de mais a mais, a complexidade. (p. 35)

De acordo com o autor, a análise da dinâmica dos ambientes deve ser o ponto de partida para a avaliação e classificação dos diferentes meios morfodinâmicos. Em sua classificação, apresenta três tipos de meios em função da intensidade dos processos: os meios instáveis, os meios intergrades e os meios fortemente instáveis.

Os meios estáveis são, segundo o autor, os que se aplicam ao modelado e à interface atmosfera-litofera. O modelado evolui lentamente, geralmente de forma imperceptível. Para que existam meios estáveis é preciso que exista uma série de

condições, tais como: cobertura vegetal fechada, dissecação moderada, vertentes de lenta evolução e ausência de atividades vulcânicas.

Os meios intergrades são considerados os meios de transição. De acordo com Tricart (1977):

“...asseguram a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis.” O que caracteriza esses meios é a interferência permanente de morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço”.(p. 47)

Nos meios fortemente instáveis, de acordo com a classificação do autor, a morfogênese é o elemento que predomina nas dinâmicas naturais desses ambientes, além de determinar no sistema natural a dinâmica de outros elementos. Como exemplo desses meios o autor cita a geodinâmica interna, pois, como consequência de uma erupção vulcânica, o relevo natural será comprometido, alterando suas características naturais.

Ross (1994) utilizou os conceitos de Tricart (1977) para formular novos critérios e definir as Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente. De acordo com Ross (2000):

As unidades Ecodinâmicas Instáveis foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções humanas modificaram intensamente os ambientes naturais, através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas, enquanto as Unidades Ecodinâmicas Estáveis são aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural, como por exemplo, um bosque de vegetação natural. (p. 317).

Para a avaliação da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados são observadas as condições de equilíbrio do meio natural, sob a ótica da dinâmica natural dos ambientes e levando em conta as alterações causadas pelas atividades antrópicas. Nesse sentido, as sociedades humanas são vistas como parte do ecossistema, integrando a dinâmica do ambiente. Segundo Ross (1994), as alterações que o homem tem causado nos componentes naturais do ambiente afetam a funcionalidade desse sistema, causando graves processos de degradação ambiental.

Como subsídio para o planejamento ambiental, Ross (1994) estabeleceu graus para a Instabilidade Emergente: Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte, mostrando a intensidade de intervenção antrópica nessas áreas. Para a Instabilidade Potencial, o autor definiu os mesmos graus de fragilidade. As Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial ou Unidades Ecodinâmicas Estáveis são aquelas que apresentam equilíbrio dinâmico, de acordo com as características naturais do ambiente, mas que podem ser alteradas através da inserção antrópica.

Para a avaliação da fragilidade ambiental é preciso que se faça uma série de estudos básicos: das classes de relevo, da geologia da área, dos tipos de solo, das classes de uso do solo e do clima da região, quantificando e avaliando a intensidade das chuvas para conhecimento da erosão dos solos. A partir de trabalhos de campo e dos mapeamentos é possível a elaboração de mapas temáticos como de geomorfologia, geologia, solos, climatologia e uso do solo. No estudo da fragilidade esses mapeamentos servem para compor um produto final: o mapa de fragilidade.

O mapeamento de solos serve para a avaliação da potencialidade agrícola na área e também para a avaliação da fragilidade desses tipos de solo em face da intervenção antrópica através da agropecuária. O mapa de geologia permite a interpretação sobre a estrutura geológica do substrato rochoso, que está relacionada diretamente com os tipos de solo e relevo. As informações sobre intensidade e erosividade das chuvas servem para análise da potencialidade agrícola, bem como para a avaliação da fragilidade natural dos ambientes, rugosidade do relevo, declividades e uso do solo. Estes fatores permitem hierarquizar as categorias de fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.

Ross (2003), em trabalho sobre o vale do Alto Uruguai, traz exemplos de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente e de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial. A Instabilidade Potencial foi classificada como Fraca, Média, Forte e Muito Forte. Esta classificação foi feita quando a interferência antrópica na área foi mínima, prevalecendo a cobertura vegetal natural (quadro 1).

**Quadro 1:** Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial do Vale do Alto Uruguai.

Segmentos de Vertente	Solos Dominantes	Uso do Solo Cobertura Vegetal	Classes de Instabilidade
1) Topos Aplanados (Tp) e Patamares Aplanados (Pp)	Terra Bruna Estruturada intermediária para Terra Roxa Estruturada eutrófica (T-BRe) Cambissolo distrófico (Ce)	Vegetação Arbórea	Fraca
2) Patamares em Rampa (Pr)	Cambissolo eutrófico (Ce) Terra Bruna Estruturada intermediária para Terra Roxa Estruturada eutrófica (T-BRe)	Vegetação Arbórea	Média
3) Topos Convexizados (Tc) e Vertentes Côncavo-Convexas (Vc)	Cambissolo eutrófico (Ce)	Vegetação Arbórea	Forte
4) Vertentes Retilíneas (Vr)	Cambissolo eutrófico (Ce)	Vegetação Arbórea	Muito Forte

Fonte: Ross (2003)

A Instabilidade Emergente foi classificada igualmente como Fraca, Média, Forte e Muito forte. Neste caso as atividades antrópicas alteraram o ambiente natural através de práticas agrícolas, pecuária, industriais, urbanização e sistema viário (quadro 2).

**Quadro 2** – Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente do Vale do Alto Uruguai.

Segmentos de Vertente	Solos Dominantes	Uso do Solo Cobertura Vegetal	Classes de Instabilidade
1) Topos Aplanados (Tp) e Patamares Aplanados (Pp)	Terra Bruna Estruturada intermediária para Terra Roxa estruturada eutrófica Cambissolo distrófico	Pastagem, Áreas agricultadas, Ca-poeiras baixas	Fraca
2) Patamares em Rampa (Pr)	Cambissolo eutrófico Terra Bruna Estruturada intermediária para Terra Roxa estruturada eutrófica	Pastagem, Áreas agricultadas, Ca-poeiras baixas	Média
3) Topos Convexizados (Tc) e Vertentes Côncavo-Convexas (Vc)	Cambissolo eutrófico	Pastagem, Áreas agricultadas, Ca-poeiras baixas	Forte
4) Vertentes Retilíneas (Vr)	Cambissolo eutrófico (Ce)	Pastagem, Áreas agricultadas, Ca-poeiras baixas	Muito Forte

Fonte: Ross (2003).

Na avaliação da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas foi considerada a fragilidade potencial e a fragilidade emergente dos ambientes, tendo como resultado um mapa síntese que integra os aspectos do meio físico e os aspectos referentes ao uso e ocupação do solo na área de estudo.

O conhecimento das fragilidades e potencialidade dos recursos naturais de um determinado sistema compreende o estudo de todas as componentes do estrato geográfico, incluindo os estudos do meio físico como os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de vegetação e também os elementos que compõem o meio social, avaliando o uso dos recursos naturais do sistema pelas populações locais. A análise da fragilidade consiste no estudo dessas variáveis de forma integrada.

O mapa de fragilidade é o produto síntese, adquirido a partir do cruzamento das diversas variáveis analisadas no estudo. Esse produto permite a identificação de manchas ou áreas com diferentes graus de fragilidade dentro da área de estudo.

Com esse produto, derivado das diversas análises, pode-se partir para o planejamento e gerenciamento das áreas de maior instabilidade, tanto potencial, quanto emergente.

A fim de minimizar os impactos ambientais causados no sistema natural, torna-se importante o conhecimento tanto das fragilidades naturais, quanto das potencialidades que o ambiente apresenta para ocupação e exploração dos seus recursos. Dessa forma é possível planejar o ambiente de maneira que o potencial natural seja aproveitado, sem causar impactos ao ambiente. Sob essa ótica é importante a avaliação das fragilidades e potencialidades dos meios que compõem a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas com o intuito de facilitar o ordenamento territorial e a gestão dos recursos naturais, visando respeitar o equilíbrio dinâmico do ambiente.

#### **1.4.4 Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica**

O uso de tecnologias de geoprocessamento tem se tornado cada vez mais frequente para os estudos de impacto e planejamento ambiental. O termo geoprocessamento pode ser definido como: um conjunto de tecnologias utilizadas para a coleta e tratamento das informações espaciais. As ferramentas do geoprocessamento permitem integrar diferentes dados e processá-los, cruzando estes dados, através dos planos de informações (*layers*), com estruturas vetoriais e matriciais (ASSAD & SANO, 1998).

Segundo Assad & Sano (1998), o geoprocessamento é uma área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o manuseio de informações geográficas. Os programas de geoprocessamento, denominados Sistemas de Informação Geográfica (SIG), armazenam dados espaciais nos bancos de dados geográficos que permitem fazer uma relação do fenômeno com a localização espacial através das coordenadas geográficas.

Os instrumentos computacionais, ou seja, o conjunto de *softwares* e *hardwares* do geoprocessamento que integra os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite fazer uma série de análises, integrando dados de diversas fontes e criando bancos de dados georreferenciados de uma determinada área (BONHAM-CARTER, 1994).

Através das ferramentas de geoprocessamento é possível fazer análises e mapear os elementos do meio físico e humano. Com diversos planos de informações (PI) retirados da cartografia pela vetorização, podem ser criados modelos e realizados diversos cruzamentos de informações, os quais irão representar a bacia hidrográfica em estudo. Através da representação cartográfica, mostrando as áreas de fragilidade ambiental é possível chegar aos responsáveis pelas medidas mitigadoras e compensadoras do ambiente.

As tecnologias de geoprocessamento podem ser utilizadas para diversos mapeamentos em áreas distintas, como: cartografia, análise espacial de recursos naturais, planejamento urbano e regional, geologia, engenharias, arquitetura, bem como nos estudos de bacias hidrográficas.

O geoprocessamento possibilita a obtenção de dados de uma bacia hidrográfica referente ao meio físico e ao uso que o homem tem feito dos recursos naturais neste sistema. É uma ferramenta útil para a avaliação de impactos ambientais, bem como para a elaboração de zoneamentos e planejamentos dos ambientes. A cartografia digital é utilizada como base de dados para elaboração de mapas temáticos nos programas de geoprocessamento.

No estudo da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, as ferramentas de geoprocessamento se fazem indispensáveis. Essas ferramentas são utilizadas na elaboração de um banco de dados da área de estudo, bem como na elaboração dos mapeamentos temáticos de relevo, solos, geologia, uso e ocupação do solo até chegar ao resultado final, através da elaboração da carta de fragilidade da bacia hidrográfica.

O geoprocessamento e os sistemas de informações geográficas permitem a manipulação desses dados de uma maneira prática, agregando diversos planos de informações em um único projeto, permitindo a visualização, a consulta de dados e a elaboração de produtos cartográficos resultantes da integração desses dados.

Atualmente, com a evolução de computadores e de softwares para operar em geoprocessamento, torna-se cada vez mais fácil a execução e manipulação dos dados geográficos através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Um SIG é capaz de atender as demandas de trabalhos com mapeamentos, pois é capaz de armazenar, manipular e permitir a saída desses dados. O banco de dados de um SIG pode armazenar, além de informações alfa-numéricas, dados referentes à localização espacial da área de estudo, facilitando também os trabalhos de campo,

agregando pontos coletados com GPS aos mapas oriundos das análises do meio físico e socioambiental da área de estudo.

### **1.5. Procedimentos metodológicos e operacionais**

Este subcapítulo descreve os procedimentos metodológicos e operacionais que foram realizados para atingir os objetivos específicos deste trabalho e chegar ao resultado final da pesquisa. Estes procedimentos se dividiram em três etapas importantes no decorrer do trabalho. Primeiramente foi feito um levantamento bibliográfico visando à fundamentação teórica do tema em estudo. Posteriormente foram realizados trabalhos de campo com o intuito de conhecer a área de estudo, bem como, coletar informações para subsidiar e complementar o trabalho. A terceira etapa da pesquisa consistiu na geração de mapeamentos e análises dos resultados obtidos através das etapas anteriores em laboratório.

#### **1.5.1 Materiais e métodos**

A metodologia utilizada no trabalho é baseada na caracterização da fragilidade empírica dos ambientes naturais e antropizados, proposta por Ross (1994). De acordo com o autor, essa metodologia baseia-se nos princípios de Tricart (1977), das Unidades Ecodinâmicas.

Para os mapas básicos utilizados na composição do mapa de fragilidade ambiental da BHAP, foi utilizada a base cartográfica na escala 1: 50.000 da DSG do exército e IBGE. O mapa geológico foi adaptado a partir dos mapas da CPRM em escala 1:1.000.0000 e 1:250.000; o mapa de solos foi elaborado a partir do mapeamento de solos para o Rio Grande do Sul, realizado pela Embrapa CPACT em escala 1:250.000.

A elaboração dos mapeamentos básicos e a confecção dos mapas de fragilidade da bacia do Arroio Pelotas foram realizados no laboratório de geoprocessamento do Centro de Ecologia UFRGS, contando também com o apoio do NEGEEA da UFPEL para os cruzamentos finais através da metodologia de álgebra de mapas. Abaixo, serão descritos os procedimentos utilizados na

elaboração da base cartográfica digital e na confecção dos mapas e análises que compõem o trabalho.

### **1.5.2 Base cartográfica Digital da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas**

A Base Cartográfica Digital (BCD) é o conjunto das cartas topográficas em escala 1:50.000, que envolvem a área de estudo. A base utilizada nesta pesquisa é um produto de trabalho anterior, onde foi composta a Base Cartográfica Digital do COREDE Sul, realizada junto a Embrapa Clima Temperado de Pelotas e posteriormente, publicado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul com o título Base Contínua do RS em escala 1:50.000.

A metodologia de elaboração da Base Cartográfica Digital (BCD) consistiu no armazenamento de dados espaciais nas formas matricial (*raster*) e vetorial (*vector*), utilizando as cartas topográficas do exército em escala 1:50.000.

Para o mapeamento da área de estudo utilizou-se um retângulo formado com nove cartas topográficas em escala 1:50.000: SH 22 3010-4 - Canguçu, SH 22 3011-3 - Santa Silvânia, SH 22 3011-4 - Boqueirão, SH 22 3019-2 - Passo das Pedras de Cima, SH 22 3020-1 - Monte Bonito, SH 22 3020-2 - Lagoa Pequena, SH 22 3019-4 - Capão do Leão, SH 22 3020-3 - Pelotas e SH 22 3020-4 - Ilha da Torotama.

Para a forma matricial, fez-se uma rasterização em scanner A3, estabelecendo uma resolução de 300 dpi, armazenando as partes da carta em formato tif. Logo após, foi feito o georreferenciamento desses arquivos, utilizando todos os pontos de intersecção da grade UTM, referenciando assim cada parte da carta rasterizada, para compor o mosaico final. O produto final foram as cartas topográficas mosaicadas em um sistema de referência em formato digital (*raster*).

Para a etapa de vetorização (vetorial), foi utilizado um SIG, onde se inseriu a carta digital como plano de fundo. Os temas (hidrografia, topografia, rede viária) foram extraídos, compondo arquivos digitais nos formatos ponto, linha e polígono, de acordo com a característica da feição vetorizada. Associadas aos arquivos digitalizados foram inseridas informações alfa-numéricas no banco de dados do SIG.

A BCD foi importante para a confecção dos diversos mapas temáticos, os quais fazem parte dos objetivos específicos para a composição dos mapas de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. As informações

básicas, utilizadas nos mapeamentos aqui apresentados, são os arquivos de hidrografia, topografia e rede viária.

### **1.5. 3 Análise e Mapeamento Geomorfológico**

A etapa de análise e mapeamento geomorfológico consistiu na elaboração do mapa das feições geomorfológicas a partir da topografia da base cartográfica digital em escala 1:50.000. Após a elaboração do mapa geomorfológico, contendo as feições morfoesculturais da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, foi feita uma caracterização deste mapa, descrevendo individualmente cada classe encontrada na área de estudo.

Para o mapa de geomorfologia foi utilizada a metodologia proposta por Ross (1992), da compartimentação do relevo, onde a unidade de estudo foi dividida em táxons, como mostra a figura 2.

De acordo com a classificação de Ross (1992), os táxons ou categorias de relevo representam:

1º táxon: No exemplo da figura 2, representado pela Bacia Sedimentar do Paraná, o presente táxon está relacionado às grandes unidades de relevo, representa a morfoestrutura, sendo esta a representação das características estruturais genéticas que constituem o relevo.

2º táxon: Este táxon representa as unidades morfoesculturais que são unidades menores, geradas pelas ações climáticas subseqüentes no tempo geológico sobre a morfoestrutura, imprimindo diferentes formas nessa estrutura.

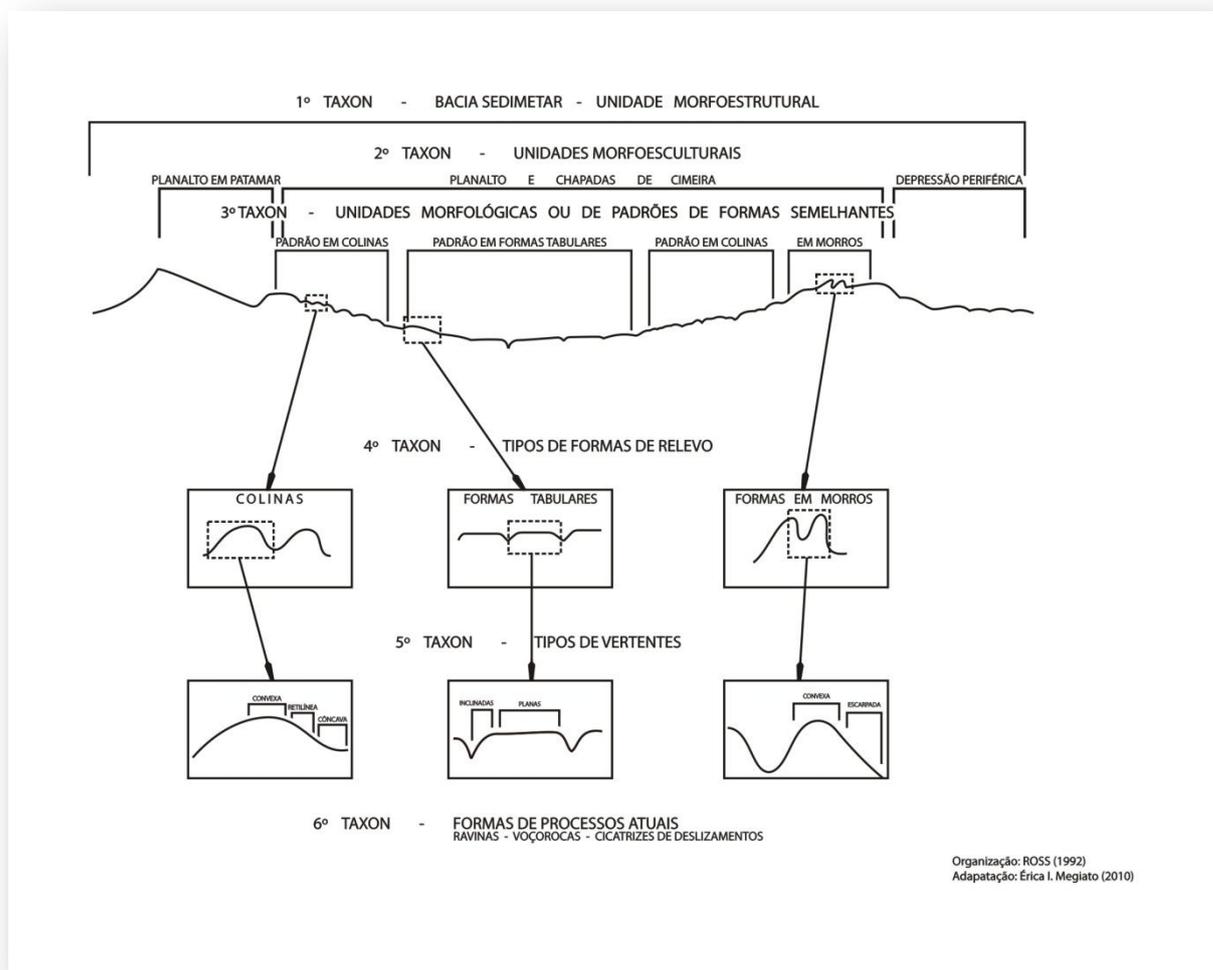
3º táxon: Possui dimensão inferior ao segundo táxon, representando as Unidades dos Padrões de Formas Semelhantes do Relevo ou os Padrões de Tipos de Relevo. Nestas unidades os processos climáticos atuais são facilmente notados, constituindo conjuntos de formas menores de relevo, que apresentam diferenças em função da rugosidade ou dos índices de dissecação, bem como no formato de topos, vertentes e vales.

4º táxon: Constituem formas de relevo individualizadas dentro do 3º táxon e podem ser formas de agradação como: as planícies fluviais, terraços fluviais ou marinhos, planícies marinhas, planícies lacustres. Podem ser ainda formas de

denudação, resultantes do desgaste da erosão como: colinas, morros, cristas, topos planos, aguçados ou convexos.

5º táxon: Representa as vertentes ou os setores das vertentes existentes em cada uma das formas de relevo individualizadas.

6º táxon: Corresponde às menores formas produzidas por processos erosivos atuais, como as voçorocas, ravinas, cicatrizes de deslizamentos, bancos de sedimentação atual, assoreamento, terracetes de pisoteio, resultados de processos morfogenéticos atuais, quase sempre induzidos pelo homem.



**Figura 2** – Esquema mostrando a taxonomia na compartimentação do relevo. Fonte: Ross (1992).

No presente trabalho foi utilizada a metodologia proposta por Ross (1992) para o mapeamento geomorfológico, porém devido à escala de trabalho, não foi

possível a identificação dos seis táxons, pois o mapeamento geomorfológico para a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas compreende apenas os três primeiros táxons.

Para obtenção dos resultados propostos, como a identificação dos padrões de formas na bacia hidrográfica em estudo utilizou-se também como base, os mapas geológicos da área de estudo elaborados pela CPRM e também os mapas geológicos e geomorfológicos elaborados pelo RADAM Brasil.

Para a confecção do mapa geomorfológico foi utilizada a base cartográfica digital em escala 1:50.000, usando-se as curvas de níveis e os pontos cotados extraídos das cartas topográficas e, a partir dessas informações, foi elaborado no programa Arcgis 9 um modelo numérico de elevação do terreno (MNT) para a área de estudo.

O MNT serviu como subsídio para o mapa geomorfológico, auxiliando na interpretação dos padrões de relevo existentes na BHAP. Juntamente com esse arquivo foi utilizado um modelo de sombreamento do relevo (VALERIANO, 2008), o qual permitiu observar com mais detalhes os padrões de formas existentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. A partir do MNT, foi elaborado o mapa clinográfico da área de estudo, dividindo-o em classes de acordo com a proposta de Ross (1994) na avaliação da fragilidade ambiental.

O modelo digital de elevação (MDE) pode ser definido como uma representação matemática da distribuição espacial de características vinculadas a uma superfície real (SPRING, 2007), sendo chamado também de Modelo Numérico do Terreno (MNT). O MDE possibilitou o cálculo de áreas, declividades, geração de imagens com sombreamento em níveis de cinza, classificações através dos intervalos desejados e mostrar perspectivas tridimensionais do relevo.

O modelo digital de elevação (MDE), do inglês DEM (*Digital Elevation Model*), apresentado neste trabalho, utiliza o interpolador TIN (do inglês "*Triangular Irregular Network*"), que é uma estrutura do tipo vetorial com topologia tipo nó-arco, que representa a superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas (ASSAD & SANO, 1998). Essa metodologia utiliza a formação de triângulos a partir dos valores de altitude do terreno; para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z. O TIN é uma estrutura vetorial que compõe tipos de vetor nó e arco, ou seja, ponto e linha.

Os SIG's que possuem pacotes para MNT, os algoritmos para geração de grade triangular baseiam-se na triangulação de Delaunay com restrição de região. Quanto mais equiláteras forem as faces triangulares, maior a exatidão com que se descreve a superfície. O valor de elevação, em qualquer ponto dentro da superfície pode ser estimado a partir das faces triangulares, utilizando-se interpoladores. (CÂMARA & MEDEIROS, 1998, p. 25)

Para o modelo de elevação do terreno (MDE) foram utilizados os valores das linhas das curvas de níveis, vetorizadas com valores de 20 em 20 metros e os valores dos pontos cotados das cartas topográficas contidos na BCD, os quais foram armazenados com vetores do tipo ponto. Este arquivo vetorial foi inserido no programa ArcGis 9, onde foram gerados o MDE. Este produto foi classificado, separando com as cores hipsométricas os valores de terreno, formando um degradê de cores correspondentes a menor elevação até o ponto mais alto do terreno, os quais foram divididos de 20 em 20 metros.

A partir do modelo de elevação do terreno foi possível aplicar um modelo de sombreamento em níveis de cinza, mostrando, o MDE com transparência de 50% sobreposto ao sombreamento. A sobreposição do MDE ao sombreamento facilitou a visualização do terreno em três dimensões, possibilitando a identificação dos divisores de água e da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas com maior detalhamento.

O mapa clinográfico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas foi gerado a partir do modelo de elevação do terreno. Com o MDE da área de estudo inserido no programa ArcGis 9, na função *slope*, obteve-se o modelo de declividades. Primeiramente, o modelo foi classificado em 6 classes de declividades, seguindo a metodologia proposta por Flores *et al.* (2007), que define o tipo de relevo, de acordo com as porcentagens de declividades. Posteriormente o mapa de declividades foi classificado de acordo com a proposta de Ross (1994), que define as classes de fragilidade quanto ao grau de declividade do terreno.

As manchas de diferentes padrões de relevo foram obtidas a partir do cruzamento num sistema de informações geográficas, das seguintes variáveis: as classes de declividades e a amplitude topográfica, considerando a taxonomia do relevo proposta por Ross (1992). A elaboração do mapa geomorfológico partiu também da proposta do IPT (1981), citada por Florenzano (2008), que apresenta

uma metodologia utilizada para os padrões de relevo em áreas de degradação, conforme apresenta o quadro 3, sendo adaptada a nomenclatura, conforme metodologia de Ross (1992).

**Quadro 3** - Principais critérios utilizados na identificação de sistemas de relevo de degradação

Conjuntos de Sistemas de Relevo	Declividade dominante das vertentes	Amplitudes Locais
Relevo Colinoso	0 a 15%	<100 m
Relevo de morros com vertentes suavizadas	0 a 15%	100 m a 300 m
Relevo de morrotes	>15%	< 100 m
Relevo de morros	>15%	100 m a 300 m
Relevo montanhoso	>15%	>300 m

Fonte: IPT (1981) apud Florenzano (2008)

Com as informações apresentadas no quadro 3, elaborou-se uma álgebra de mapas, fazendo-se assim os cruzamentos necessários para a obtenção das classes de relevo na área de estudo, para a parte que se encontra no Planalto Uruguaio Sul-río-grandense. Pelo fato da área de estudo estar dividida em duas províncias morfoesculturais, o mapa geomorfológico foi feito a partir de metodologias diferentes para as duas áreas.

Para a área da Planície Costeira o mapeamento geomorfológico foi elaborado a partir do mapa geológico da CPRM e com base no mapa geomorfológico do RADAM Brasil, ainda contou-se com o mapeamento geológico geomorfológico de Pelotas, elaborado pelo NET (Núcleo de Estudos da Terra) da UFPEL (MARTH *et al*, 2008), para atualização de informações na porção sul da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

Com a identificação dos padrões morfoesculturais da área de estudo, pode-se chegar ao terceiro táxon proposto por Ross a partir das declividades predominantes em cada padrão encontrado. Para concluir o mapa geomorfológico, foram realizadas

interpretações em imagens de satélite do tipo Landsat, a fim de atualizar informações sobre o relevo. Também foi realizado trabalho de campo para se confirmar as informações obtidas através dos mapeamentos em sistemas de informação geográfica.

#### **1.5.4 Análise e Mapeamento Geológico**

O mapeamento geológico consistiu na delimitação e caracterização dos diferentes tipos de substrato geológico existentes na área de estudo. A análise da geologia da BHAP serviu para a interpretação das relações existentes entre relevo/solo e substrato rochoso na área de estudo.

Para o mapeamento de geologia da área de estudo, foram utilizados os mapas da CPRM e o do RADAMBRASIL, caracterizando aspectos geológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. No mapa, foram identificadas as principais feições geológicas, mostrando o substrato rochoso e suas características. As características geológicas da área de estudo são importantes, pois consistem em base para identificação da fragilidade ambiental.

No trabalho de CPRM e do RADAMBRASIL, o mapeamento das unidades geológicas do Rio Grande do Sul foi realizado na escala 1:1.000.000, servindo de base para diversos estudos detalhados que se seguiram como a folha Pedro Osório em escala 1:250.000 (RAMGRAB & WILDNER, 2000 ). A folha 1:250.00 foi utilizada para a análise e atualização dos mapas existentes e também para a composição de um mapa geológico da área de estudo.

Através do mapeamento geológico, a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas foi dividida em dois compartimentos distintos, separando as duas importantes províncias geológico-geomorfológicas que constituem a unidade de estudo. A partir dessa divisão, foram aplicadas metodologias diferentes para avaliação da fragilidade ambiental, considerando a importância dos processos erosivos para a área do Escudo Sul-rio-grandense e considerando os graus de fragilidade relacionados aos processos de inundação para a área da Planície Costeira (DIAS *et al*, 2009).

### **1.5.5 Análise e mapeamento de Solos**

O mapeamento de solos da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, representa os diferentes tipos de solos existentes na área de estudo. Para mapeamento e análise foi utilizado o mapa de solos da Embrapa Clima Temperado, o qual foi adaptado por Megiato (2007) para a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Os tipos de solos encontrados nesta bacia hidrográfica foram classificados de acordo com as características físicas de cada classe.

A partir do mapa de solos foram generalizadas algumas classes, de acordo com a metodologia da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994). Para cada uma dessas classes resultantes, foram atribuídos códigos numéricos caracterizando os graus de fragilidade de cada tipo de solo, com o intuito de conhecer as potencialidades e limitações para uso antrópico na unidade de estudo.

De acordo com Ross (1994), os estudos dos tipos de solos são utilizados para a avaliação da potencialidade agrícola (aptidão agrícola ou capacidade de uso) e também subsidia a análise da fragilidade ambiental frente às ações humanas ligadas à agropecuária.

### **1.5.6 Análise e mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal**

Nesta etapa do trabalho, foi elaborado o mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Para tal, foi realizada uma interpretação visual a partir de composições coloridas ou composições falsa-cor (CROSTA, 1993), resultantes de técnicas de processamento de imagens em sensoriamento remoto, que facilitam a interpretação dos diferentes usos do solo.

O mapa de uso e ocupação do solo foi classificado, identificando na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas manchas ou feições: de mata nativa; de água; de agricultura, dividindo-se em uso misto (agropecuária) e arroz; de solo exposto; de áreas urbanizadas adensadas e áreas urbanizadas pouco adensadas; de vegetação arbustiva ou secundária; de campo (campo seco com pecuária) e campo úmido (banhado). As classes de uso do solo identificadas neste mapeamento foram

baseadas na interpretação do uso do solo dos assentamentos rurais do INCRA (convênio UFRGS/INCRA).

Em seguida foi feita uma caracterização das classes de uso do solo e cobertura vegetal, relacionando o tipo de uso do solo com as demais informações como: geomorfologia, geologia, declividade, hipsometria e os tipos de solo que compõem a unidade de estudo. Desta forma, foram integradas informações referentes às dinâmicas naturais dos ambientes com as práticas agrícolas e econômicas que se relacionam na área de estudo.

Para a caracterização das atividades socioeconômicas que ocupam os solos da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, obteve-se dados sobre a produção agrícola dos municípios que compõem a área de estudo. Essas informações foram obtidas junto aos órgãos responsáveis pelas estatísticas e publicação de dados socioeconômicos como o IBGE e a FEE (Fundação de Estatística e Economia do RS); também foram obtidos dados importantes junto às prefeituras de cada município.

Para a averiguação das classes obtidas no mapeamento do uso do solo e cobertura do solo a partir da interpretação de dados das imagens de satélite, foram feitos diversos trabalhos de campo na área de estudo. A partir desse levantamento em campo pôde ser identificadas e comprovadas características relacionadas ao uso e ocupação das áreas da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Foram feitos também levantamentos fotográficos para ilustrar algumas classes de uso do solo na referida área. Através do trabalho de campo foi possível identificar características das práticas relacionadas ao manejo agrícola e uso do solo.

#### **1.5.7 Mapa da Fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.**

O mapeamento da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados da área de estudo delimitou os diversos compartimentos da bacia hidrográfica, identificando o grau de fragilidade a partir da sobreposição dos demais mapeamentos temáticos anteriormente descritos.

Para cada mapeamento específico foram atribuídos pesos para cada situação das variáveis analisadas, ao invés de atribuir valores qualitativos como forte, fraco, médio, atribuem-se valores numéricos de 1 a 5 para cada uma das variáveis. De acordo com Ross (1994), esse produto cartográfico final sintetiza através de

números, a soma das variáveis: relevo, litologia/solo, vegetação/uso da terra e pluviosidade/temperatura, da seguinte maneira:

- Índices de Dissecação do Relevo: peso ou nota 1 para menor índice de dissecação ou declividade e peso ou nota 5 para maior índice de dissecação ou declividade.
- Litologia/solos: Gradação do menos suscetível à erosão com valor 1 ao mais suscetível com nota 5.
- Vegetação/uso da terra: O menor valor (1) para os tipos de uso que oferecem maior proteção ao solo em relação às águas pluviais e valor 5 para o tipo de uso que oferece menor proteção, como por exemplo agricultura temporária.
- Clima (pluviosidade/temperatura): Essa variável depende da extensão da área de estudo ou das características do relevo, de acordo com a variação altimétrica a distribuição de chuvas e temperaturas pode variar. Deve-se atribuir valor de acordo com a menor ou maior intensidade do efeito pluviométrico ou temperatura.

O grau de instabilidade morfodinâmica será dado pela gradação do menor valor possível, no caso 4 (soma de 4 valores 1), o resultado será baixo grau de instabilidade e o maior valor possível, no caso 20 (soma de 4 valores 5) o resultado será o mais alto grau de instabilidade.

Portanto, o produto final ou o mapa de fragilidade ambiental, gerado a partir dos mapeamentos básicos, podem conter diferentes combinações entre as variáveis. Após a identificação dos pesos, foi feita a soma desses atributos através de uma operação no programa SPRING denominada álgebra de mapas (anexo 1).

Para a avaliação dos graus de fragilidade dos ambientes na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas utilizou-se dois cruzamentos distintos, resultando em dois produtos finais contendo informações sobre a fragilidade dos ambientes de acordo com a geologia e geomorfologia da área.

Para a área do Escudo Sul-rio-grandense, foram cruzados os mapas de declividades, tipos de solos e uso do solo, sendo o principal determinante da fragilidade ambiental os graus de fragilidade relacionados à declividade do terreno, uma vez que a metodologia proposta por Ross (1994) baseia-se principalmente nos processos geomórficos e na taxonomia do relevo, atentando para os processos erosivos.

No mapeamento da fragilidade ambiental do compartimento referente à Planície costeira foram considerados aspectos físicos que podem contribuir para o acontecimento de enchentes e inundações em eventos climáticos extremos. Para tanto, se considerou principalmente os tipos de solos, visto que praticamente toda área apresenta relevo plano, foram observadas características de drenagem dos solos que compõem o compartimento da Planície Costeira, além das formações geológicas da área (Fujimoto, 2001). Também foram consideradas para atribuição dos graus de fragilidade, as características geomorfológicas, como a planície fluvial do Arroio Pelotas, as formações lagunares e as formações de barreiras.

A fragilidade dos ambientes antropizados e naturais foi determinada pela sobreposição dos mapas e dos pesos mais altos obtidos para cada feição mapeada dentro da bacia hidrográfica. Após a definição dos graus de fragilidade para cada compartimento geológico-geomorfológico, as informações foram integradas, tendo como resultado um único mapa síntese da área: o mapa de fragilidade ambiental da bacia em estudo.

O mapa de fragilidade ambiental permite a visualização das áreas de maior fragilidade na área de estudo, possibilitando um planejamento territorial adequado para a BHAP e também mostra as áreas de potencialidades, que podem ser usadas para um melhor desenvolvimento das atividades agrícolas na área, bem como para proteção dos mananciais hídricos e recursos naturais na área de estudo. Os graus de fragilidade para cada classe dos mapeamentos de declividades, tipos de solo e uso do solo e cobertura vegetal foram atribuídos de acordo com as classes de fragilidade definidas por Ross (1994), exemplificadas nos quadros 4, 5 e 6, considerando também as peculiaridades da área de estudo. As classes de solos apresentadas no quadro 5 são correspondentes a antiga nomenclatura utilizada na classificação dos solos, essa nomenclatura foi atualizada no presente trabalho a partir do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999).

**Quadro 4 - Grau de Fragilidade das Classes de Declividade**

<b>Fragilidade</b>	<b>Declividade</b>
1 Muito Fraca	< 6%
2 Fraca	6% a 12%
3 Média	12% a 20%
4 Forte	20% a 30%
5 Muito Forte	>30%

Fonte: Ross (1994).

**Quadro 5 – Grau de Fragilidade das classes de solos**

<b>Fragilidade</b>	<b>Tipos de solos</b>
1 Muito Fraca	Latossolo roxo, Latossolo vermelho – escuro e vermelho-amarelo com textura argilosa
2 Fraca	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo com textura média argilosa
3 Média	Latossolo vermelho-amarelo; terra roxa, terra bruna; podzólico vermelho-amarelo com textura média/argilosa
4 Forte	Podzólico vermelho-amarelo com textura média/arenosa; cambissolos
5 Muito Forte	Podzolizados com cascalhos; litólicos e areias quartzozas

Fonte: Ross (1994).

**Quadro 6** – Grau de Proteção/Fragilidade das classes de cobertura vegetal e uso do solo

<b>Grau de Proteção/ Fragilidade</b>	<b>Cobertura vegetal e uso do solo</b>
1 Muito Alta/ Muito Fraca	Florestas, matas nativas, florestas cultivadas com biodiversidade
2 Alta/ Fraca	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa), mata homogênea de pinus densa, pastagens, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo e ciclo longo (como o cacau)
3 Média/ Média	Cultivo de ciclo longo em curva de nível/ terraceamento (como café, laranja com forrageiras entre ruas), pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas
4 Muito Baixa/ Muito Forte	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja) com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/terraceamento
5 Baixa a Nula/ Muito Forte	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Fonte: Ross (1994)

## **Capítulo II – Geologia e geomorfologia regional**

### **2.1 Caracterização geológica e geomorfológica do contexto regional**

Para o entendimento das dinâmicas naturais e antrópicas e avaliação das fragilidades que acontecem no âmbito de uma bacia hidrográfica é necessário que se tenha além de outros estudos, conhecimento acerca das características do substrato geológico da área em estudo.

Através da caracterização da geologia regional e local podem-se obter conhecimentos preliminares para a avaliação da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. De acordo com Ross (1994) o estudo da geologia é a base para o entendimento das dinâmicas naturais e antrópicas dos ambientes.

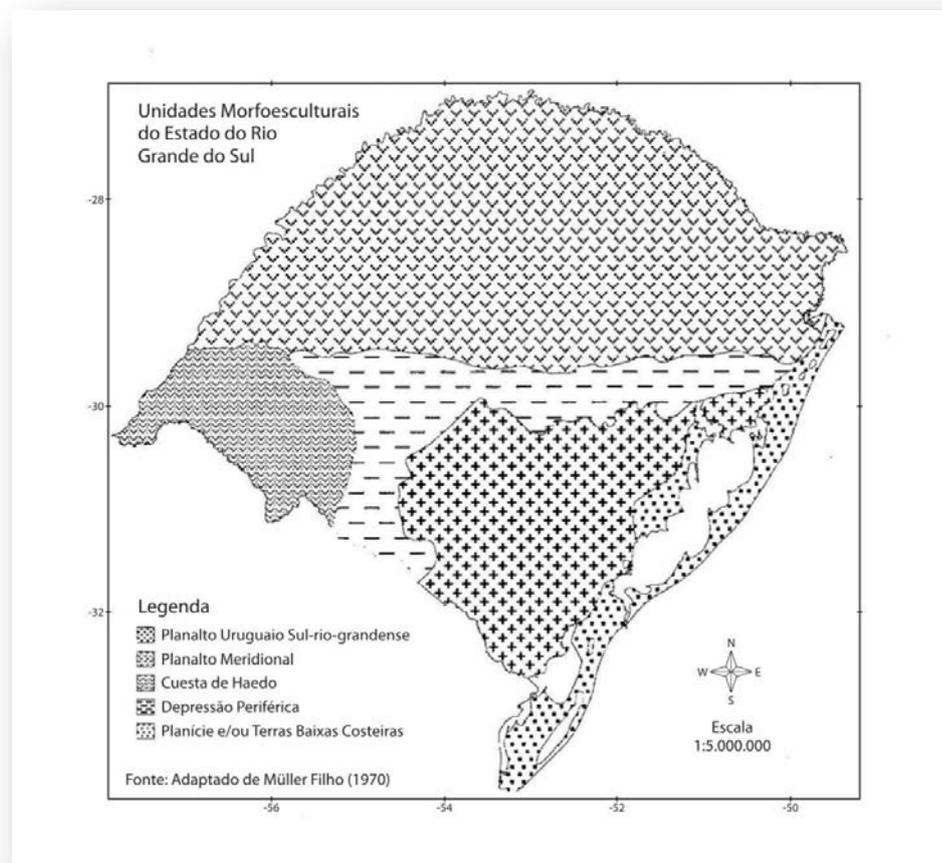
O presente capítulo apresenta uma caracterização regional da geologia e geomorfologia da área de estudo através de trabalhos de autores que já estudaram a região e através de informações obtidas de mapeamentos, como do RADAMBRASIL (IBGE, 1986) e da CPRM (2000). O Rio Grande do Sul divide-se em cinco importantes unidades morfoesculturais de acordo com Suertegaray e Fujimoto (2004): Planalto Meridional, que compreende a porção norte do estado, Depressão Periférica, localizada no centro do estado, Planície e/ou Terras baixas Costeiras, que se estende em toda a porção litorânea do estado, Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, que compreende a área mais antiga do RS e a Cuesta do Haedo, localizada na porção oeste do estado (figura 3).

A bacia hidrográfica em estudo compreende duas províncias geológico-geomorfológicas, a porção norte da bacia situa-se sobre o Escudo Sul-rio-Grandense e a porção sul localiza-se na Planície Costeira, sendo suas águas direcionadas para canal São Gonçalo, o qual faz ligação entre a laguna dos Patos e Lagoa Mirim. A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas faz parte da região hidrográfica do Litoral situando-se na bacia dos rios Piratini/São Gonçalo. Sua localização dividida entre essas duas províncias geológico-geomorfológicas resultam em processos e dinâmicas caracterizados pelo meio físico, as quais influenciam diretamente os tipos de ocupação e uso do solo existentes nessas duas unidades.

Esse capítulo pretende caracterizar em escala regional os aspectos físicos dessas duas importantes províncias geológico-geomorfológicas do Rio Grande do

Sul, as quais são responsáveis pelas dinâmicas do meio físico e do desenvolvimento socioeconômico na área de estudo. Se o mapa da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas for analisado, percebe-se que a bacia do Arroio Pelotas está situada cerca de 75% de sua área total no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, enquanto na Planície Costeira restam aproximadamente 25% da área total da unidade de estudo

Para a elaboração da carta de fragilidade da BHAP é importante que essas duas províncias sejam analisadas separadamente, pois a base teórica conceitual da metodologia de análise da fragilidade baseia-se principalmente nas dinâmicas e processos erosivos, que praticamente não acontecem na Planície Costeira. Porém é interessante observar que a fragilidade ambiental existe sim na área da Planície Costeira e que o principal fator, que torna esse ambiente frágil é derivado das baixas altitudes, áreas que podem sofrer através de processos de inundação decorrentes de fenômenos e eventos climáticos extremos.



**Figura 3** - Unidades Morfoesculturais do Rio Grande do Sul. Fonte: Suertegaray e Fujimoto (2004).

A formação do relevo é resultante dos processos derivados de ações de forças endógenas através da tectônica de placas e das forças exógenas que esculpem as formas de relevo através do intemperismo e da erosão. Da ação das forças internas da terra resultam a morfoestrutura do relevo. A resultante da ação constante, das forças externas sobre o relevo nas diferentes morfoestruturas, são os elementos morfoesculturais. De acordo com Suertegaray e Fujimoto (2004) “o conceito de morfoescultura relaciona-se às feições do relevo produzidas na Terra pela ação dos climas atuais e pretéritos ao longo do tempo geológico na morfoestrutura”.

Quanto às unidades morfoestruturais ou províncias geológicas, o Rio Grande do Sul apresenta desde litologias mais antigas como o Cráton Rio de La Plata e Cinturão Dom Feliciano, que são as rochas ígneas, metamórficas e sedimentares do Escudo Sul-rio-grandense, que datam do período Pré-cambriano, até as litologias da Bacia Sedimentar de Pelotas na Planície Costeira, que datam do período Cenozóico. São essas duas estruturas que representam a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas e são importantes para o entendimento das dinâmicas do meio físico na área de estudo (quadro 7).

Nesse trabalho são importantes a caracterização das morfoestruturas Escudo Sul-rio-grandense e Bacia sedimentar de Pelotas. No que diz respeito as morfoesculturas encontradas no Rio Grande do Sul esse trabalho apresenta informações sobre o Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. A área de estudo abriga as formações mais antigas caracterizadas pelo Escudo Sul-rio-grandense e as mais recentes caracterizadas pela Bacia Sedimentar de Pelotas no estado.

**Quadro 7** - Comparação entre as morfoestruturas e as morfoesculturas no Rio Grande do Sul

<b>Morfoestruturas Litologias</b>	<b>Morfoesculturas</b>	<b>Idade geológica</b>
1. Cráton Rio de La Plata e Cinturão Dom Feliciano (ígneas e metamórficas)	Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense	Pré-cambriano
2. Bacia Sedimentar do Paraná (sedimentares e efusivas)	Depressão Periférica Planalto Meridional Cuesta do Haedo	Paleozóica Mesozóica Mesozóica
3. Bacia Sedimentar de Pelotas (sedimentares)	Planície e Terras Baixas Costeiras	Cenozóico

**Fonte:** Suertegaray e Fujimoto (2004).

De acordo com Chemale Jr. (2000) o Escudo Sul-rio-grandense, que representa uma área de aproximadamente 65.000 km<sup>2</sup> se destaca em termos de geologia do Pré Cambriano no Brasil pela grande variedade de associações petroectônicas. Essa feição morfoestrutural formada pelos crátons Rio de La Plata e Cinturão Dom Feliciano divide-se em diversas unidades geotectônicas, cada uma delas contendo características específicas relacionadas à sua formação. Essa divisão em unidades geotectônicas de acordo com o autor, apresenta denominações diferentes em diversos estudos realizados por uma variedade de autores que já estudaram o Escudo Sul-rio-grandense.

Conforme estudo realizado por Philipp, *et al.* (2000), na porção leste do Escudo Sul-rio-grandense, abrangendo os municípios que fazem parte da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, como os municípios de Canguçu, Morro Redondo, Arroio do Padre e a zona rural do município de Pelotas localiza-se a unidade geotectônica denominada Batólito Pelotas. Essa unidade constitui-se em seis suítes granitóides, além de incluir a presença de rochas ígneas básicas e rochas metamórficas.

A unidade morfoescultural que se forma a partir dessa morfoestrutura denominada Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense de acordo com Suertegaray e Fujimoto (2004), apresenta na área de estudos unidades morfoesculturais ou padrões e tipos de forma de relevo que podem ser classificadas como Morros, desde aqueles que apresentam vertentes suaves com topos aplainados até aqueles com

declividades acentuadas e topos convexos. No contato entre a unidade morfoescultural denominada Planície Costeira com o Planalto Uruguaio Sul-riograndense surgem as morfoesculturas em forma de colinas, caracterizando um relevo suave-ondulado.

Sobre a Bacia Sedimentar de Pelotas, Tomazelli e Villwock (1995, 2000) afirmam que essa província geológico-geomorfológica é muito importante para o entendimento das áreas sedimentares, visto que preserva de maneira completa os registros do período Cenozóico.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul possui de acordo com os autores uma área de aproximadamente 33.000 km<sup>2</sup>, sendo a mais ampla planície litorânea do Brasil. De acordo com Tomazelli e Vilwock (2000), a Planície Costeira originou-se com os eventos geotectônicos que a partir do período Cretáceo fragmentaram o continente de Gondwana, formando o oceano Atlântico. Conforme os autores:

Durante o Cretáceo e, principalmente durante o Cenozóico, os sedimentos erodidos das terras altas adjacentes acumularam-se nessa bacia marginal, em sistemas deposicionais continentais, transicionais e marinhos. (p. 378).

Os sedimentos que constituem a Bacia Sedimentar de Pelotas, caracterizando a Planície Costeira são provenientes dos processos denudacionais de duas áreas importantes, as rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-riograndense, datadas do Pré-cambriano e as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, datadas do paleozóico e mezozóico.

Segundo Tomazelli e Vilwock (2000), os sistemas deposicionais que constituem a Planície Costeira do Rio Grande do Sul se dividem em: sistemas de Leques Aluviais, com os sedimentos dos corpos d'água das terras altas e os sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira, originados a partir das transgressões e regressões marinhas. Quanto a morfoescultura, a Planície Costeira do Rio Grande do Sul caracteriza-se pelas terras baixas com relevo plano. Encontram-se nessas áreas diversos corpos d'água de formação lagunar.

## 2.2 Caracterização regional do clima e vegetação

O clima do Brasil é dividido em cinco tipos principais, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005). Na região Sul, onde se insere a área de estudo, especificamente no estado do Rio Grande do Sul, ocorre o Clima Temperado, ou Subtropical Úmido, com influência da massa Polar Atlântica e massa Tropical Marítima nas porções orientais do estado. O Clima é super úmido com uma precipitação média anual em torno dos 1.200 mm, com médias térmicas variando dos 16°C aos 18°C.

De acordo com Ross (1994), para a análise da fragilidade dos ambientes, deve-se levar em consideração o clima, principalmente os dados referentes à temperatura e pluviosidade. É importante mencionar que esse tipo de análise se faz necessária quando se trata de uma área com variações climáticas notáveis. Na área de estudo especificamente, apesar de existir dois compartimentos de relevos bem distintos, não existe de fato uma variação significativa no regime pluvial e nas temperaturas.

O tópico que se segue tem o intuito de caracterizar o clima na região, bem como na bacia hidrográfica, através dos dados obtidos de estações meteorológicas localizadas no entorno da área de estudo.

O Rio Grande do Sul, de acordo com Fitz (1999), pela classificação de Koppen, apresenta o tipo climático Cf (Clima chuvoso temperado), com dois subtipos climáticos: o Cfb (Mesotérmico médio) que ocorre principalmente no nordeste do estado, no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense com a média das temperaturas máximas abaixo dos 22°C, e o tipo Cfa clima subtropical com média das temperaturas máximas acima dos 22°C.

Os dados de temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e direção predominante do vento do quadro 8, foram obtidos a partir das normais climatológicas registradas pela Estação Agroclimatológica de Pelotas. Analisando os respectivos dados, observa-se que a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas possui temperatura média anual de 17,8°C. Nos dados referentes à umidade relativa do ar, observa-se que a média anual fica acima dos 80% caracterizando um clima bastante úmido. A média anual do período com relação à precipitação pluviométrica ultrapassa 1350mm (anexo 2) e os ventos que sopram na região são predominantemente na direção leste.

Observa-se através do quadro abaixo que os meses mais frios são os meses de junho e julho, enquanto os mais quentes são janeiro e fevereiro. As precipitações pluviométricas se concentram no mês de fevereiro, no verão, e no mês de julho no inverno, sendo que a umidade relativa do ar também se concentra no mês de julho.

**Quadro 8** – Normais climatológicas do período de 1971/2000, mensais e anual

Meses	Temperatura Média °C	Precipitação Pluviométrica mm	Umidade Relativa do ar %	Direção Predominante do vento
Janeiro	23,2	119,1	77,4	NE
Fevereiro	23	153,3	79,9	E
Março	21,7	97,4	80,5	E
Abril	18,5	100,3	82,3	SW
Maio	15,1	100,7	83,6	SW
Junho	12,4	105,7	84	SW
Julho	12,3	146	84,9	NE
Agosto	13,4	117,4	83,2	NE
Setembro	14,9	123,7	81,8	NE
Outubro	17,5	100,7	79,5	E
Novembro	19,6	99,5	76	E
Dezembro	22	103,2	75,5	E
<b>Anual</b>	<b>17,8</b>	<b>1366,9</b>	<b>80,7</b>	<b>E</b>

Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas (EMBRAPA/ETB, 2009)

Elaboração: Érica I. Megiato, (2010).

### 2.2.1 Fenômenos e Eventos Climáticos Extremos

Alguns fenômenos climáticos podem fazer com que os ambientes naturais e antrópicos se tornem mais frágeis do que seriam com as condições climáticas locais ocorrendo dentro dos limites da normalidade, mudando rapidamente a paisagem e os ambientes de determinadas áreas.

Os fenômenos climáticos mais conhecidos e comentados na atualidade são o fenômeno El Niño, decorrente do aquecimento das águas do oceano Pacífico, que causa chuvas fortes e enchentes na região Sul do Brasil. Outro fenômeno conhecido que ocorre aproximadamente a cada quatro anos é o fenômeno La Niña, ao contrário do fenômeno El Niño, este é causado pelo resfriamento das águas do oceano Pacífico, trazendo estiagens para a região sul do país.

Além desses fenômenos, de escala global, que podem ser sentidos em diversas regiões do planeta, podem ocorrer outros fenômenos ou eventos climáticos localizados, influenciados ou não por esses fenômenos maiores e de ordem global.

Eventualmente nos municípios que abrangem a área de estudo, acontece algum evento climático fora da normalidade, causando situações de fragilidade ambiental e atingindo os atores sociais que fazem uso da área de estudo.

O município de Pelotas, o qual tem em seu território a maior porção da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, possui um histórico de enchentes que já causaram danos materiais e até mesmo perda de vidas. A cidade de Pelotas se localiza em uma região de relevo plano, sendo que algumas áreas se encontram no nível do mar, a cidade é cercada por diversos cursos d'água e pela Laguna dos Patos. Sabe-se que a falta de estrutura e planejamento de uma cidade resulta em situações de degradação ambiental e de danos sociais para os seus moradores.

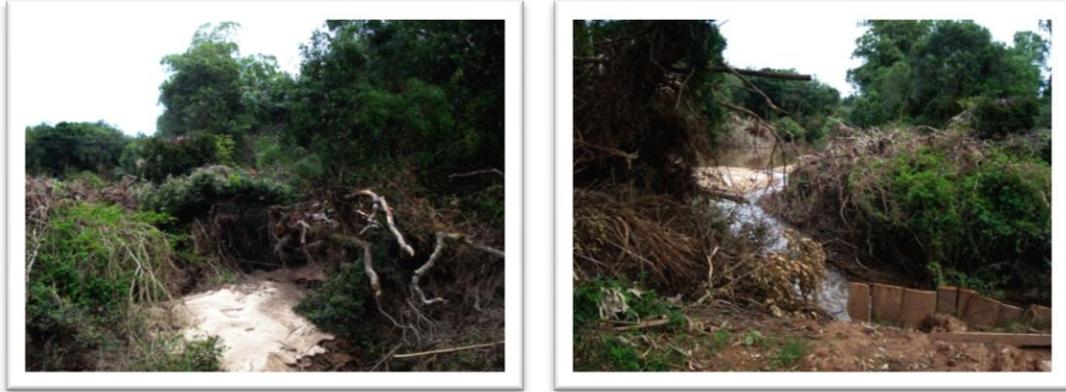
Pretende-se nesse subcapítulo apresentar algumas situações de fragilidade ambiental causadas por eventos climáticos extremos e pela falta de planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

No ano de 2009, mais especificamente no dia 29 de janeiro de 2009 os moradores dos municípios que envolvem a BHAP presenciaram situações catastróficas causadas pelo grande volume de chuvas ocorrido naquela data. Algumas estações meteorológicas da zona rural do município de Pelotas chegaram a registrar cerca de 600 mm naquele dia. A BHAP no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense possui uma grande ramificação de cursos d'água, os quais se encontram e aumentam o volume de água e energia para os principais afluentes da bacia, como o Arroio Quilombo, Arroio do Ouro, Arroio Cadeia, os quais abastecem o curso principal da bacia do Arroio Pelotas.

Com o excessivo volume de chuvas ocorridos em janeiro de 2009, até mesmo a zona rural do município de Pelotas não escapou de situações de emergência, sendo registradas em vários pontos, no município e na bacia hidrográfica em estudo, enxurradas violentas. Essas enxurradas devastaram a mata ciliar em diversos pontos, destruindo pontes, cavando o leito de alguns cursos d'água que antes eram apenas pequenos cursos d'água sem expressão, como se pode observar nas figuras que seguem explicadas abaixo.

Na figura 4 observa-se o que era um pequeno afluente da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas que foi erodido, ficando mais largo e profundo. Observa-se

também que foi devastada a mata ciliar que ali existia, deixando a maioria das árvores com as raízes a mostra.



**Figura 4** – Fotos que mostram a devastação da mata ciliar em um curso d'água, afluente da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, causada pelas fortes chuvas do dia 29/01/09. Autora: Érica I. Megiato (2009).

Na foto 4, em decorrência das fortes chuvas na região na mesma data mencionada observa-se uma antiga ponte que foi derrubada e arrastada pelo volume de água. A quantidade de afluentes na bacia do Arroio Pelotas na porção do Escudo Sul-rio-grandense concentraram uma grande quantidade de água e sedimentos com muita energia, destruindo e arrastando os obstáculos encontrados no percurso. As árvores da mata ciliar que foram arrancadas com a enxurrada causaram um efeito dominó, agregando mais força e causando mais destruição dado o volume de água e árvores transportadas pelo fluxo d'água.



**Foto 4** – Ponte destruída pelo forte volume de água no arroio do Ouro, afluente da BHAP em janeiro de 2009. Na foto observa-se a quantidade de sedimentos que foram transportados para o leito do arroio. Autora: Érica I. Megiato (2009).

Por fim, a foto 5 mostra como os eventos climáticos podem modificar os ambientes, na foto observa-se o leito do arroio Quilombo seco, o curso d'água mudou a direção, deixando esse trecho do arroio abandonado.



**Foto 5** – Trecho do arroio Quilombo que foi abandonado em janeiro de 2009, decorrente das fortes chuvas registradas na região. O curso d'água mudou a direção, abandonando seu antigo curso. Autora: Érica I. Megiato, (2009).

### 2.2.2 Cobertura vegetal original da área de estudo

A vegetação original da área de estudo divide-se em duas formações principais (figura 5): na Planície Costeira, a vegetação original é representada pelas Formações Pioneiras e na porção do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, pela Floresta Estacional Semidecidual de acordo com trabalho do PROBIO (HASENACK & CORDEIRO, 2006).

Na área das Formações Pioneiras ocorre, de acordo com IBGE (1986), uma vegetação típica de solos de áreas planas, como os Planossolos aluviais, hidromórficos e de solos arenosos, os quais foram constantemente cobertos por sedimentos aluviais e marinhos durante o período Quaternário.

Nessas áreas são encontradas espécies herbáceas e arbóreas com diferentes morfologias biológicas de acordo com as condições edáficas existente no local que ocupam. Por receberem influência marinha e fluvial essa vegetação se divide em Áreas de Influência Marinha (Restinga) e Áreas de Influência Fluvial.

No Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense de acordo com o IBGE (1986), a vegetação caracteriza-se pela formação denominada Floresta Estacional Semidecidual, formação vegetal característica de condições climáticas com temperaturas médias mensais durante o inverno abaixo de 15°C, essas condições permitem a estacionalidade fisiológica das plantas que constituem essa formação.

As mesmas condições ocorrem na Floresta Decidual, porém o que diferencia a Floresta Semidecidual é que ela apresenta de 20% a 50% de árvores caducifólias no conjunto da floresta. O fato de ser Semidecidual se deve a ausência de uma espécie na área, a *Apuleia Leiocarpa* (Grápia) que é a responsável pela fitofisionomia da Floresta Estacional Decidual.

A Floresta Estacional Semidecidual na área de estudo se divide em quatro formações, baseadas praticamente nos critérios de altitudes: Floresta Aluvial (ao longo dos cursos d'água), Floresta das Terras Baixas (até 30m), Floresta Submontana (de 30 a 400 m) e Floresta Montana (400 a 1000m).

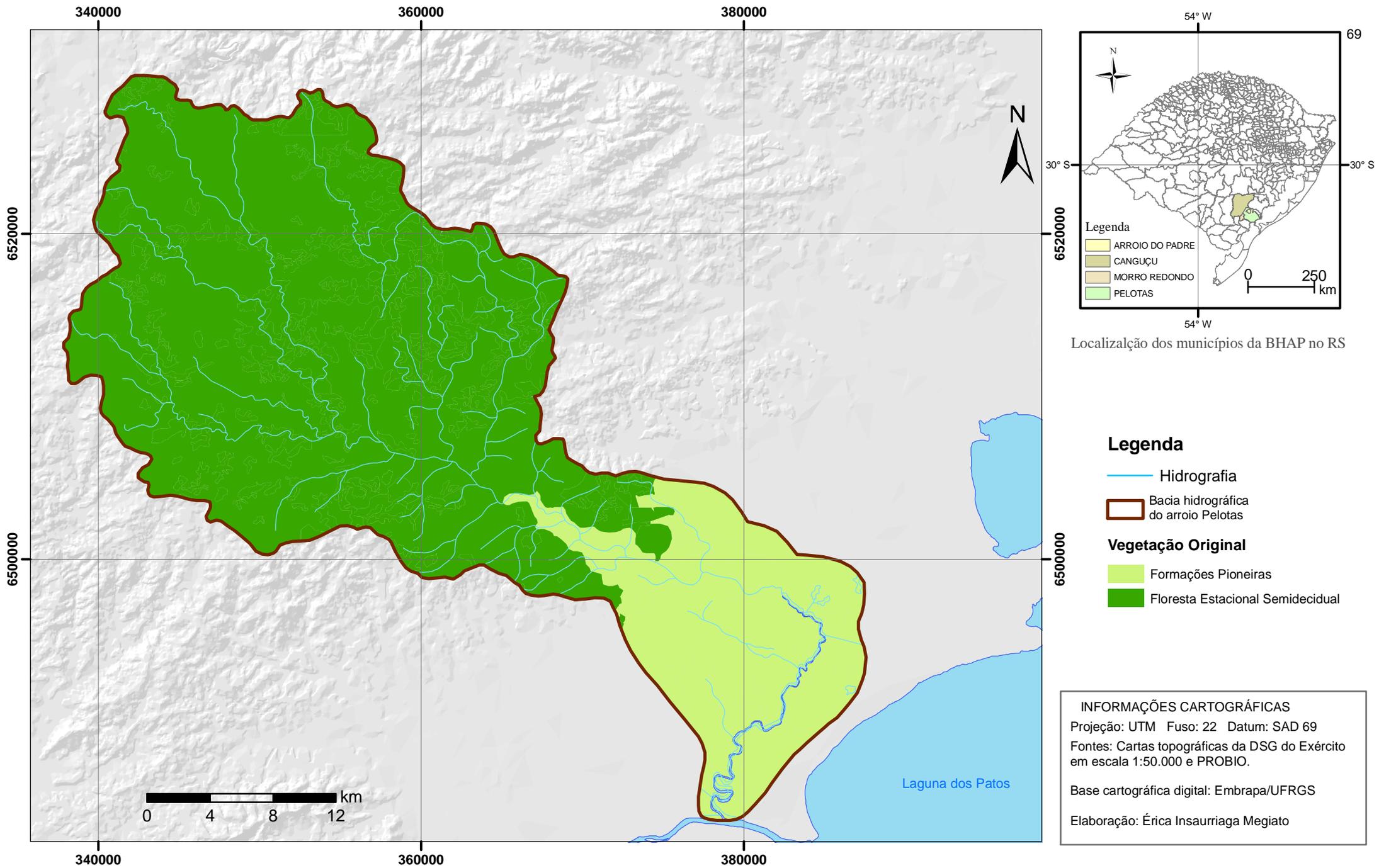


Figura 5 - Mapa da cobertura vegetal original da BHAP

### **Capítulo 3 – Análise e mapeamento dos elementos do meio físico e a fragilidade dos ambientes**

O presente capítulo pretende mostrar alguns resultados da pesquisa através dos mapeamentos e das análises realizadas, a fim de obter informações sobre os aspectos do meio físico da área de estudo e subsidiar o mapa de fragilidade ambiental da bacia do Arroio Pelotas. Serão consideradas, nesse capítulo, as características do meio físico da bacia hidrográfica em estudo, bem como todo tipo de mapeamento realizado para a atribuição dos graus de fragilidade ambiental e que são mapas básicos importantes para a realização do objetivo principal desse trabalho. Os itens ou subtítulos apresentados nesse capítulo seguem a ordem de importância para o cruzamento final e análise das informações.

#### **3.1 Mapeamento e caracterização da geologia da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas**

A geologia da área que compreende a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (figura 6) se caracteriza pela existência de duas morfoestruturas principais, que se diferenciam pela sua origem e dinâmicas do meio físico. Ao norte da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, essa morfoestrutura é o Escudo Sul-rio-grandense; ao sul a morfoestrutura que dá origem as unidades geológicas na área estão inseridas na morfoestrutura da Bacia Sedimentar de Pelotas.

O Escudo Sul-rio-grandense ocupa uma porção de 65.000 km<sup>2</sup> e sua origem remonta ao período Pré-cambriano. Na área de estudo, essa unidade morfoestrutural ocupa aproximadamente 70.000 ha, ou seja, 78% da área total da bacia, tendo como unidade geotectônica o Batólito Pelotas (PHILIPP *et al*, 2000). Na Bacia Sedimentar de Pelotas, na área de estudo, localiza-se de acordo com Tomazelli e Villwock (2000), a porção mais superficial dessa unidade morfoestrutural, a Planície Costeira, que representa uma área de 33.000 km<sup>2</sup>. Na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, a Planície Costeira ocupa uma área de aproximadamente 21.000 ha, cerca de 20% da área de estudo.

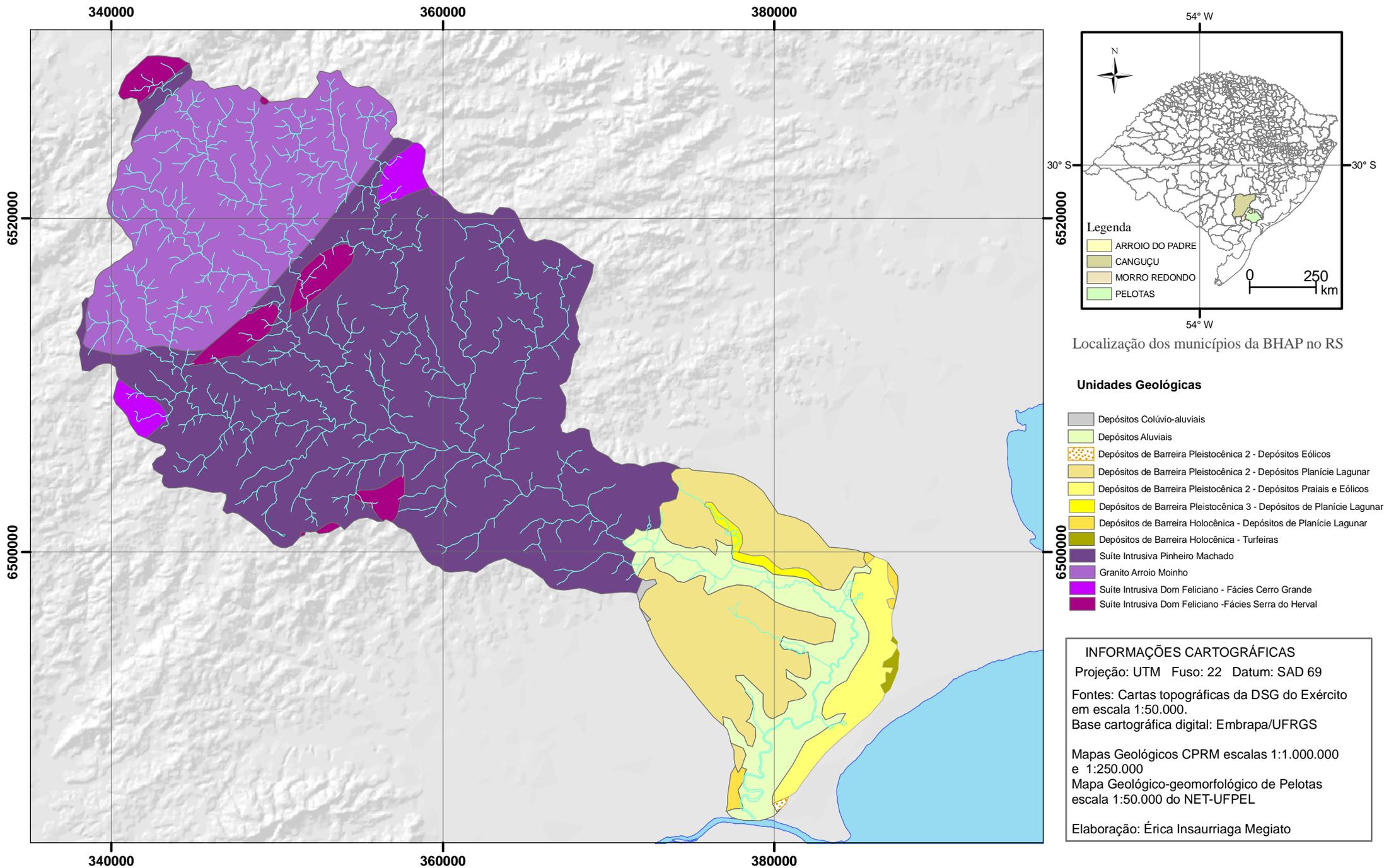


Figura 6 - Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

O mapa geológico da área de estudo foi elaborado a partir dos trabalhos de CPRM (2000, 2004), contando também como base para a descrição das classes e caracterização dos aspectos geológicos, o mapa geológico-geomorfológico (MARTH *et al*, 2007) produzido pelo Núcleo de Estudos da Terra (NET) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) e mapas do projeto RADAM Brasil (IBGE, 1986). No trabalho da CPRM e do RADAMBRASIL, o mapeamento das unidades geológicas do Rio Grande do Sul foi realizado na escala 1:1.000.000, servindo de base para diversos estudos detalhados que se seguiram, como a folha Pedro Osório em escala 1:250.000 (RAMGRAB & WILDNER, 2000).

No Escudo Sul-rio-grandense, as unidades geológicas dividem-se em quatro classes distintas de acordo com a classificação do CPRM (2000, 2004), quais sejam: Complexo Granito-Gnaíssico Pinheiro Machado ou como alguns autores sugerem Suíte Intrusiva Pinheiro Machado (PHILIPP, 1998), Granito Arroio Moinho, Suíte Intrusiva Dom Feliciano Fácies Serra do Herval e Suíte Intrusiva Dom Feliciano Fácies Cerro Grande. No contato do Escudo Sul-rio-grandense com a Planície Costeira ocorrem os depósitos colúvio-aluvionais, formados por sedimentos grosseiros que se depositam pela ação da erosão e intemperismo das áreas adjacentes.

A unidade denominada Suíte Intrusiva Pinheiro Machado constitui-se por um extenso e complexo grupo heterogêneo de rochas magmáticas e metamórficas com a fácies anfibolito predominante e granulito localizada, englobando grandes quantidades de granitóides co-genéticos. Ocorrem nessa área rochas migmatíticas, representadas principalmente por granitóides porfiroblásticos de extrema variação estrutural, textural e composicional.

Nesta unidade são encontradas rochas ígneas deformadas, de composição dominante granodioríticas. São rochas cinzentas, com idades de cristalização de cerca de 630 Ma, apresentando xenólitos de rochas metamórficas relacionadas ao embasamento Pré-Cambriano. De acordo com Fernandes *et al*. (1995) e Phillip *et al* (1998) essa unidade geológica é a mais antiga da área de estudo, sendo o substrato rochoso (foto 6) predominante nos municípios de Morro Redondo, Arroio do Padre e Pelotas.



**Foto 6** – Atividade de mineração na Suíte Intrusiva Pinheiro Machado. Autora: Érica I. Megiato (2010).

As rochas da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado são intrudidas por rochas ígneas mais jovens, como o Granito Arroio Moinho (595 Ma), com predomínio de granodioritos porfiríticos cinza-esbranquiçados e trama associada a zonas de cisalhamento e pelos granitóides da Suíte Intrusiva Dom Feliciano (575 Ma) com predomínio de granitóides rosados, em geral isótropos. Essa formação é constituída por granitos cinza-claro e róseos, equigranulares grossos a médios, localmente porfiríticos. Com posicionamento controlado por grandes zonas rúpteis, apresentam características acusando idade (Rb-Sr) ao redor de 550 Ma.

Na Planície Costeira (TOMAZELLI & VILLWOCK *et al.*, 2000) o substrato é caracterizado por material inconsolidado. São depósitos sedimentares relacionados a transgressões e regressões do nível do mar nos últimos 400.000 anos (Período Quaternário), que formaram um sistema de lagunas/barreiras ao longo da costa do Rio Grande do Sul. De acordo com os autores, a Planície Costeira divide-se em dois tipos de sistemas deposicionais, a oeste em contato com as terras altas adjacentes tem-se o sistema deposicional formado por leques aluviais, e a leste o sistema deposicional do tipo laguna-barreira.

O sistema laguna-barreira da Planície Costeira consiste em quatro eventos de transgressões e regressões marinhas, sendo que o sistema laguna-barreira I é o

mais antigo e o que se encontra mais ao interior do continente, enquanto o sistema laguna barreira IV é o mais recente sendo o mais externo dos sistemas. Na área de estudo, a geologia da planície costeira apresenta depósitos de planície lagunar e eólicos relacionados aos sistemas laguna barreira II, III, do Pleistoceno e ao sistema laguna-barreira IV do Holoceno, além de apresentar depósitos formados por leques aluviais.

De acordo com Aires (2008), cada Sistema Laguna-Barreira do Pleistoceno, consiste em um conjunto de depósitos que foram formados em período interglacial e em período glacial; onde se formaram uma barreira e um complexo lagunar.

Os depósitos de barreira Pleistocênica I, caracterizam-se pela presença de arenitos arcoseanos com fácies siltico-argilosa e areno-conglomerática fracamente consolidados, apresentando cores que variam entre vermelho, amarelo e cinza, constituindo depósitos de leques aluviais. Esta classe não é encontrada na área da bacia hidrográfica em estudo.

Os depósitos de barreira Pleistocênica II são predominantes na área da BHAP, sendo depósitos de planície lagunar e depósitos praias e eólicos. Os depósitos de planície lagunar são constituídos por areias siltico-argilosas, mal selecionadas com laminação do tipo plano-paralela incipiente, além de apresentar em sua composição concreções carbonáticas e ferromanganesíferas (CPRM, 2004).

Os depósitos Eólicos (foto 7) constituem pequena porção na área de estudo, ao sul da bacia, com areias quartzosas de granulação fina a média, siltico-argilosas, com grãos bem arredondados, de elevado índice de esfericidade e superfície predominantemente fosca. Representam depósitos eólicos subatuais, com cores variando entre amarelo, castanho e vermelho, tendo, como estruturas primárias, estratificação paralela e cruzada, obliteradas por posterior impregnação de óxidos de ferro. Todos esses depósitos caracterizam-se pela presença predominância de material arenoso sobre material siltico/argiloso, com sedimentos arredondados e bem selecionados, cujo principal mineral é o quartzo, e ocorrem, em geral, feldspatos, micas, argilas e óxidos (IBGE, 1986).



**Foto 7** – Depósitos Eólicos na Planície Costeira. Autora: Érica I. Megiato (2007).

Os depósitos de barreira Pleistocênica III foram formados por areias quartzosas médias a finas, bem selecionadas, pouco siltico-argilosas, algo ferruginosas, com grãos arredondados e subesféricos de superfície polida e lisa; areias quartzosas siltico-argilosas, com coloração que oscila entre o vermelho-claro e amarelo-esverdeado, com marcante laminação plano-paralela (IBGE, 1986; CPRM, 2004). Os sedimentos dessa unidade depositaram-se em ambientes marinhos rasos e lacustres, na área de estudo são representados pela classe Depósitos de Planície Lagunar III.

Os depósitos de barreira holocênica, na área de estudo dividem-se em Depósitos de Planície Lagunar e Turfeiras. Os Depósitos de Planície Lagunar são formados por areias siltico-argilosas, com amostra mal selecionada e laminação plano-paralela incipiente. As Turfeiras são locais de acúmulo de matéria orgânica por saturação da água, na BHAP são heterogêneas, intercaladas ou misturadas com areia, silte e argila plástica (CPRM, 2004).

Por fim nas classes do mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, apresenta-se a classe Depósitos Aluviais. Esses depósitos são formados por areias grossas a finas e sedimentos do tipo siltico-argilosos. Esse tipo de material é encontrado nas calhas dos cursos d'água e planícies de inundação dos mesmos.

### 3.2 Mapeamento e caracterização dos tipos de solos

O conceito de solo pode ser definido como: material inconsolidado sobre a superfície da terra que serve como meio natural para as plantas (*Soil Science Society of América*, 1973, apud SCHUMACHER & HOPPE, 1999). Esse material resulta da ação dos fatores químicos, físicos e biológicos que atuam sobre a rocha matriz desintegrando-a. O potencial de cada tipo de solo definido por essas diferentes ações e substrato geológico irá delimitar a ocorrência dos diferentes tipos de vegetação sobre cada unidade de solos, bem como irá caracterizar a fragilidade potencial de cada classe de solo.

Os solos possuem um papel fundamental para os ecossistemas, para qualquer tipo de vegetação, o solo é responsável pelo abastecimento de água e de nutrientes. Os aspectos físicos de cada tipo de solo bem como a capacidade agrícola desses estão diretamente relacionados com o clima, o relevo, os processos físicos que ocorrem no solo, a matéria orgânica disponível, os microorganismos existentes e com a composição química dos minerais presentes no substrato geológico.

Portanto, o solo é uma mistura de substâncias minerais que resultam da decomposição do material de origem (rocha matriz), que sofre intemperismo causados pelos processos químicos e físicos e da decomposição de matéria orgânica de origem vegetal e animal (SCHUMACHER & HOPPE, 1999). O conhecimento das características físicas, químicas e ambientais de cada tipo de solo é importante para a avaliação da fragilidade quanto aos processos de erosão e degradação desses solos.

A degradação dos solos pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais dos nossos dias. No Brasil a maioria dos solos está sofrendo algum tipo de degradação, como pode ser observado nas regiões onde existem áreas que apresentam degradação ambiental, decorrentes das fragilidades do meio físico e do uso do solo.

Os processos de degradação do solo estão diretamente relacionados com as propriedades do mesmo: textura, densidade aparente, porosidade, matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo (GUERRA & CUNHA, 1999). Esses

processos podem ser acentuados, devido aos solos serem altamente arenosos, ter baixa coesão entre partículas, baixa fertilidade natural e uma vegetação rala e esparsa fazendo com que estas regiões apresentem solos com altas taxas de erosão hídrica e eólica, deixando estes entre os mais suscetíveis a degradação, chegando a apresentar peculiaridades de deserto, com vastas áreas com quase nenhuma vegetação (WENDELING *et al.*, 2009).

Dentre os solos encontrados no Brasil, os mais propensos a processos de degradação segundo Guerra & Botelho (2006) são: os Podzólicos, que mesmo apresentando características de agregação e boa estrutura, apresentam suscetibilidade à medida que aumenta as descontinuidades texturais e estruturais ao longo do perfil; Terra Roxa Estruturada, solos com baixo gradiente textural entre os horizontes A e B e alta porosidade, possibilitando boa drenagem, que em casos de drenagem moderada ou imperfeita em terrenos declivosos eleva a suscetibilidade à erosão; Planossolos, pelo motivo de o horizonte A ou E ser extremamente lavado e arenoso. A transição abrupta entre esses horizontes e o horizonte B, em função dos contrastes texturais e estruturais, faz com que seja altamente suscetível a erosão.

Os Cambissolos apresentam grau de suscetibilidade variável dependendo da profundidade, sendo os mais rasos mais suscetíveis, além das condições de declividade do terreno, do teor de silte e do gradiente textural; os Vertissolos, que pela variação da drenabilidade ao longo do perfil variar de moderada a imperfeita, e a permeabilidade de lenta a muito lenta, devido a baixa porosidade do horizonte C vértico, é responsável pela alta erodibilidade; Solo Litólico, que devido a pequena espessura entra em contato com a rocha, assim, o fluxo d'água no interior é interrompido, facilitando o escoamento superficial; Regossolos, que têm textura arenosa são os mais suscetíveis à erosão, principalmente em terrenos declivosos, pois devido a infiltração rápida da água, este satura, permitindo o escoamento superficial; Areias Quartzosas, principalmente quando encontram-se desprovidas de cobertura vegetal, diminuindo os teores de materiais agregadores, como a argila e a matéria orgânica.

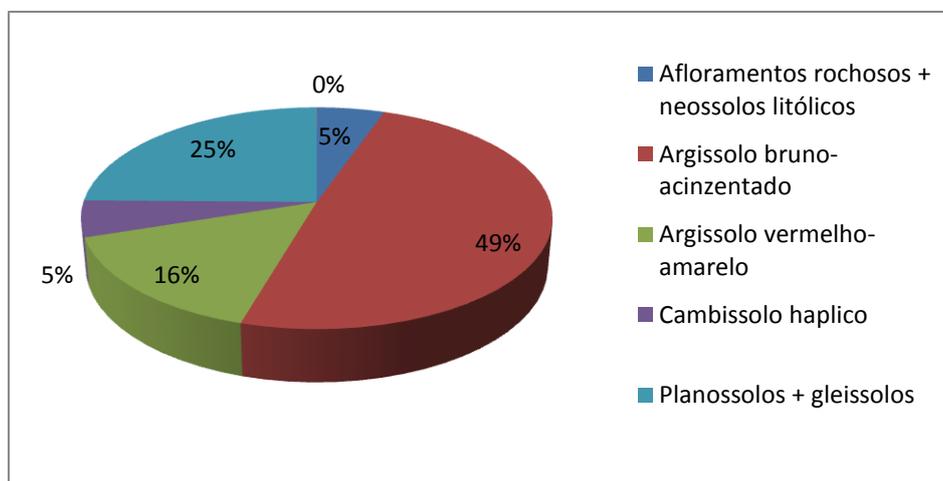
Ross (1994) na avaliação da fragilidade dos ambientes considera a fragilidade dos solos em relação aos processos erosivos que ocorrem nas áreas de agradação, classificando os Argissolos com graus de fragilidade de Média a Muito Forte, de acordo com as diferentes texturas que esses solos podem apresentar. Os Podzólicos citados por Guerra e Botelho (2006) são os Argissolos na atual

nomenclatura utilizada pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999).

### 3.2.1 Tipos de solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

Segundo a classificação de Cunha et al. (1996), Cunha & Silveira (1996) e Cunha *et al.* (1997), os tipos de solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (figura 7) são os Argissolos, os Cambissolos, os Planossolos, os Gleissolos e os Neossolos.

Os Argissolos são predominantes na área de estudo (gráfico 1), sendo encontrados no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e na Planície Costeira, esses solos são do tipo Argissolo Bruno-acinzentado e Argissolo Vermelho-amarelo. Os Cambissolos na BHAP se encontram em altitudes acima dos 200 metros, esse tipo de solo na área de estudo é o Cambissolo Háplico. Na Planície Costeira, os tipos de solos predominantes são os Planossolos e os Gleissolos. Os Neossolos encontram-se na BHAP no Escudo Sul-rio-grandense nas áreas com altitudes acima dos 160 metros. Por serem solos em processo de formação, apresentam diversos afloramentos rochosos em sua área de abrangência.



**Gráfico 1** – Distribuição das classes de solos na BHAP. Elaboração: Érica I. Megiato.

A descrição apresentada a seguir, sobre os tipos de solos que ocorrem na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, foram sugerida por Streck *et al.* (2008), apresentando resumidamente alguns aspectos de cada tipo de solo da área da bacia, bem como o potencial de uso agrícola de cada, além das características desses tipos de solo na BHAP.

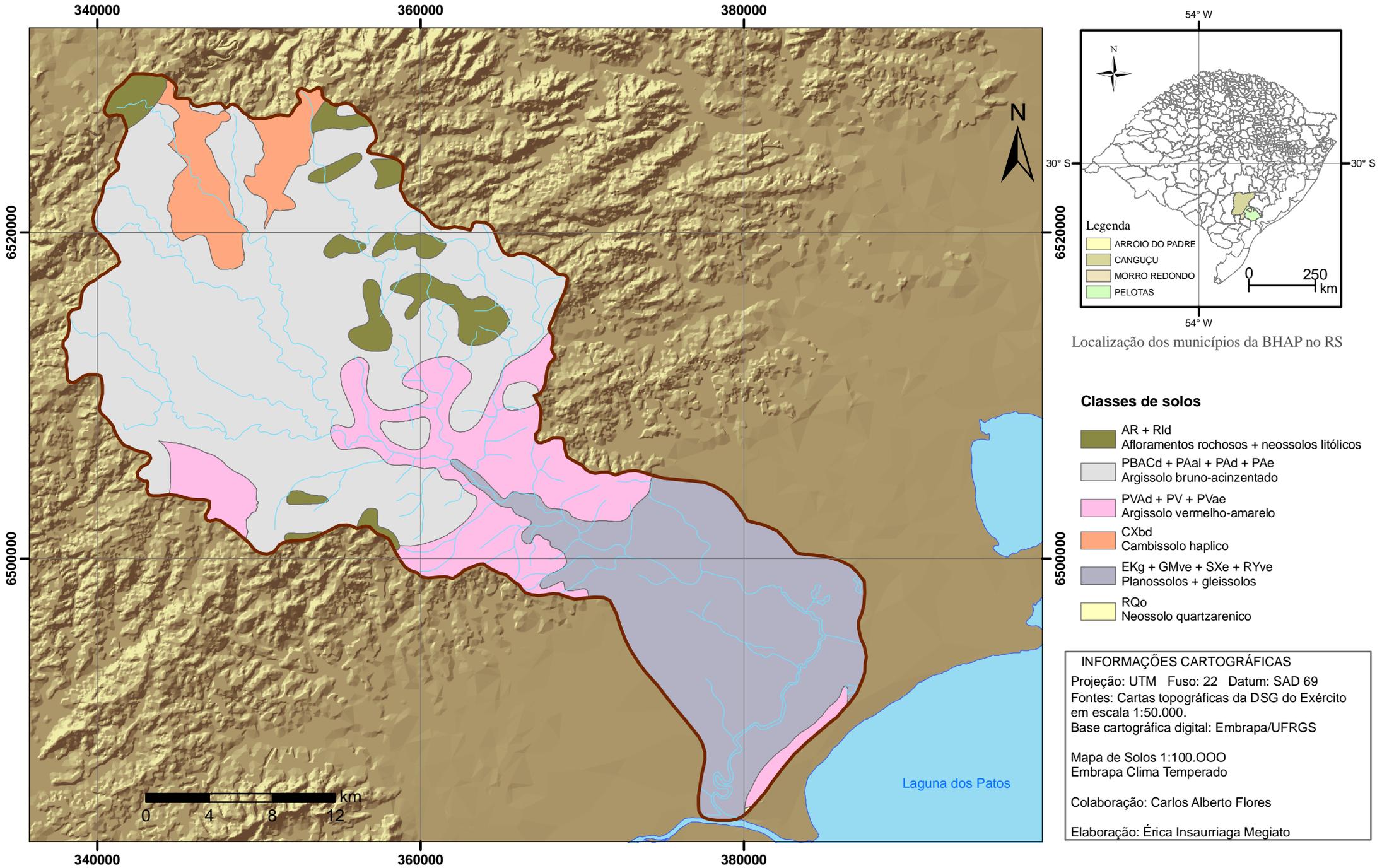


Figura 7 - Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

### 3. 2. 1.1 Argissolos

O termo Argissolo se refere à presença de um horizonte sub superficial mais argiloso no perfil. Os Argissolos geralmente são profundos a muito profundos, possuem o horizonte Bt do tipo B textural. Nesses solos o horizonte B é mais argiloso quando comparado aos horizontes A + E. Podem se originar de variados tipos de rochas, tais como os basaltos, granitos, arenitos e sedimentos. Na área de estudo esses solos (foto 8), originam-se principalmente do granito.



**Foto 8** – Perfil de um argissolo na BHAP. Autora: Érica I. Megiato (2007)

Os Argissolos, por vezes, apresentam limitações químicas por possuírem baixa fertilidade natural (distróficos), fortes acidez e alta saturação por alumínio (alumínicos). A toxidez por alumínio em profundidade é de difícil correção. Os Argissolos também possuem limitações físicas que se referem à textura, espessura da camada arenosa com mudança abrupta (arênicos e espessânicos), mudança textural abrupta (abrupticos) e declividade que determinam a suscetibilidade à erosão hídrica e potencial de uso.

Esse tipo de solo na BHAP se caracteriza por apresentar textura que varia de argilosa a média, são solos bem drenados encontrados em relevos variados.

Predominantemente estão associados a relevo Ondulado a Forte Ondulado com declividades acima de 8%. Apresentam fertilidade baixa a média, no geral variam de pouco profundos a profundos.

### **3.2.1.2 Cambissolos**

Os Cambissolos são solos em processo de formação, geralmente são rasos a profundos, com perfil de horizontes A-Bi-C ou O-A-Bi-C, sendo o horizonte Bi do tipo B incipiente. As drenagens desses solos podem variar de bem drenados à imperfeitamente drenados, de acordo com a geomorfologia da paisagem em que se encontram. São solos que estão em processo de formação, portanto tem características insuficientes para ser um solo bem desenvolvido. Frequentemente possuem a presença de fragmentos de rochas no perfil, demonstrando pouca intemperização no material de origem.

Os Cambissolos Líticos, que ocorrem em regiões de maior altitude, apresentam condições climáticas críticas como a geada e baixa insolação, apresentam como alternativa o cultivo de pastagens nativas e silvicultura. Já os Cambissolos Húmicos encontrados nos Campos de Cima da Serra, pelas limitações climáticas possuem aptidão restrita para culturas de verão e possuem melhores condições para o desenvolvimento da fruticultura de clima temperado e silvicultura. Por se apresentarem em áreas de relevo acidentado, com forte acidez e poucos nutrientes, o uso desse solo deve ser feito com a aplicação de elevados níveis de corretivos e fertilizantes. Os Cambissolos Háplicos devem ser analisados caso a caso, pois se encontram em condições variadas de relevo.

Especificamente na área de estudo ocorrem os Cambissolos do tipo Háplico (foto 9), esses solos encontram-se em relevo Forte Ondulado, com declividades acima de 25%. São solos bem drenados, rasos, com textura média. Estão associados a Neossolos Litólicos e apresentam baixa fertilidade. Devido as condições de relevo com altas declividades o uso desses solos deve ser feito de acordo com a capacidade de uso dos mesmos, deve-se utilizar práticas conservacionistas e de controle à erosão.



**Foto 9** – Perfil de um Cambissolo na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas – Autor: Alcides Severo (2010).

### **3. 2 .1.3 Planossolos e Gleissolos**

Os Planossolos são solos que ocorrem em áreas planas. Esses tipos de solos são imperfeitamente ou mal drenados, pois são encontrados em áreas de várzea, com relevo plano a suave ondulado. Seus perfis apresentam seqüência de horizontes A-E-Bt-C. Geralmente apresentam o horizonte A de cor escura e os horizontes E de cor clara (tipo E álbico), ambos com textura arenosa, apresentando mudança súbita para o horizonte Bt (B plânico) com mais argila de cor cinzenta com ou sem mosqueados vermelhos/amarelos.

Já os Gleissolos são solos que sofreram processo de gleização (redução do ferro) em ambientes alagadiços. São solos rasos, mal drenados que possuem cor acinzentada ou preta e apresentam um perfil com seqüência de horizontes A-Cg ou A-Bg-Cg ou HCg onde os horizontes Bg e Cg são do tipo glei.

Os Gleissolos são aptos para o cultivo de arroz irrigado e quando drenados devidamente podem ser aproveitados para as culturas anuais como o milho, soja, feijão e pastagens.

Os Planossolos são geralmente aptos para o cultivo de arroz irrigado, com sistemas de drenagem eficientes pode se cultivar milho, soja e pastagens. O fundo dos canais deve coincidir com o horizonte B mais argiloso para evitar o solapamento das paredes. Os Planossolos Nátricos (foto 10) apresentam limitações pelos elevados teores de sódio, principalmente quando drenados.



**Foto 10** – Ocorrência de Planossolo na BHAP – Autora: Érica I. Megiato (2010).

Na BHAP os Planossolos são encontrados na Planície Costeira, variam de pouco profundos a profundos e de moderadamente drenado a mal drenado. São do tipo Planossolos Háplico e Planossolos Nátricos. Esses solos estão associados aos Argissolos Acinzentados e aos Gleissolos Melânicos. Apresentam-se em relevo plano com textura média a argilosa, possuem fertilidade de média a alta.

#### **3.2.1.4 Afloramentos Rochosos e Neossolos Litólicos**

Essa associação encontra-se na área de estudo em condições de relevo forte ondulado, nas maiores altitudes e declividades da bacia hidrográfica. Os Afloramentos Rochosos (foto 11) são encontrados em topos de morros e os Neossolos Litólicos são os solos rasos que estão em formação e ocorrem também nas condições de relevo citadas anteriormente. Os Neossolos Litólicos são

geralmente solos rasos, pouco desenvolvidos. Podem ser rasos ou profundos, com um perfil de horizontes AR ou A-C-R ou O-R ou H-C.

Os Neossolos Litólicos (foto 12) possuem o horizonte A assentado sobre a rocha, os Neossolos Flúvicos apresentam horizonte A sobre sedimentos fluviais estratificados e os Neossolos Quartzarênicos quando o horizonte A está sobre sedimentos arenosos. Devido a pequena espessura e por estarem associados aos relevos fortemente ondulados e montanhosos, com pedregosidade e afloramentos rochosos na maioria das vezes e, por estarem expostos a perda de solo pela erosão hídrica, apresentam restrições ao uso para culturas anuais.



**Foto 11** – No fundo vê-se Afloramentos Rochosos no topo do morro que estão sendo cortados e comercializados. Autora: Érica I. Megiato (2010).



**Foto12** – Perfil de um Neossolo Litólico na BHAP – Autor: Alcides Severo (2010).

### 3.3 Mapeamento e caracterização da hidrografia na bacia do Arroio Pelotas

O Rio Grande do Sul é dividido em duas grandes bacias hidrográficas: a bacia do Uruguai e a Bacia do Atlântico Sul (Basso, 2004). A Bacia do Atlântico Sul, onde se insere a área de estudo, pode ser dividida em outras duas sub bacias: a do Guaíba (sistema Jacuí-Guaíba) e a Litorânea (sistema lagunar) (Menegat & Kirchheim, 1998).

Para fim de localização da área de estudo, no contexto da bacia Litorânea se insere outra sub-bacia, a Bacia Mirim São-Gonçalo, um complexo hídrico binacional em território brasileiro e uruguaio (MMA, 2006) e (FEPAM, 2007). A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é um sub-bacia da bacia hidrográfica Mirim São-Gonçalo (figura 8). As nascentes do Arroio Pelotas, principal curso d'água da bacia, estão localizadas na sua maioria no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Nessa porção do relevo os canais são ligeiramente retilíneos, possuem alta energia e baixo transporte de carga em suspensão.

Na Planície Costeira, a morfologia dos canais fluviais da BHAP se torna diferente, ao diminuir a declividade, os cursos d'água diminuem sua energia e em consequência aumentam a capacidade de transporte de carga em suspensão, e os canais se apresentam com a forma meandrante (CUNHA, 1998; 2003).

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas possui uma área de aproximadamente 91.000 ha. Em sua área encontram-se diferentes tipos e formas de cursos d'água, ocorrem canais intermitentes que variam de 500 m a 2 km de extensão, até canais perenes, que variam de 500 m até 99 km, que é a extensão do principal curso d'água dentro da bacia hidrográfica, o Arroio Pelotas (foto 13).

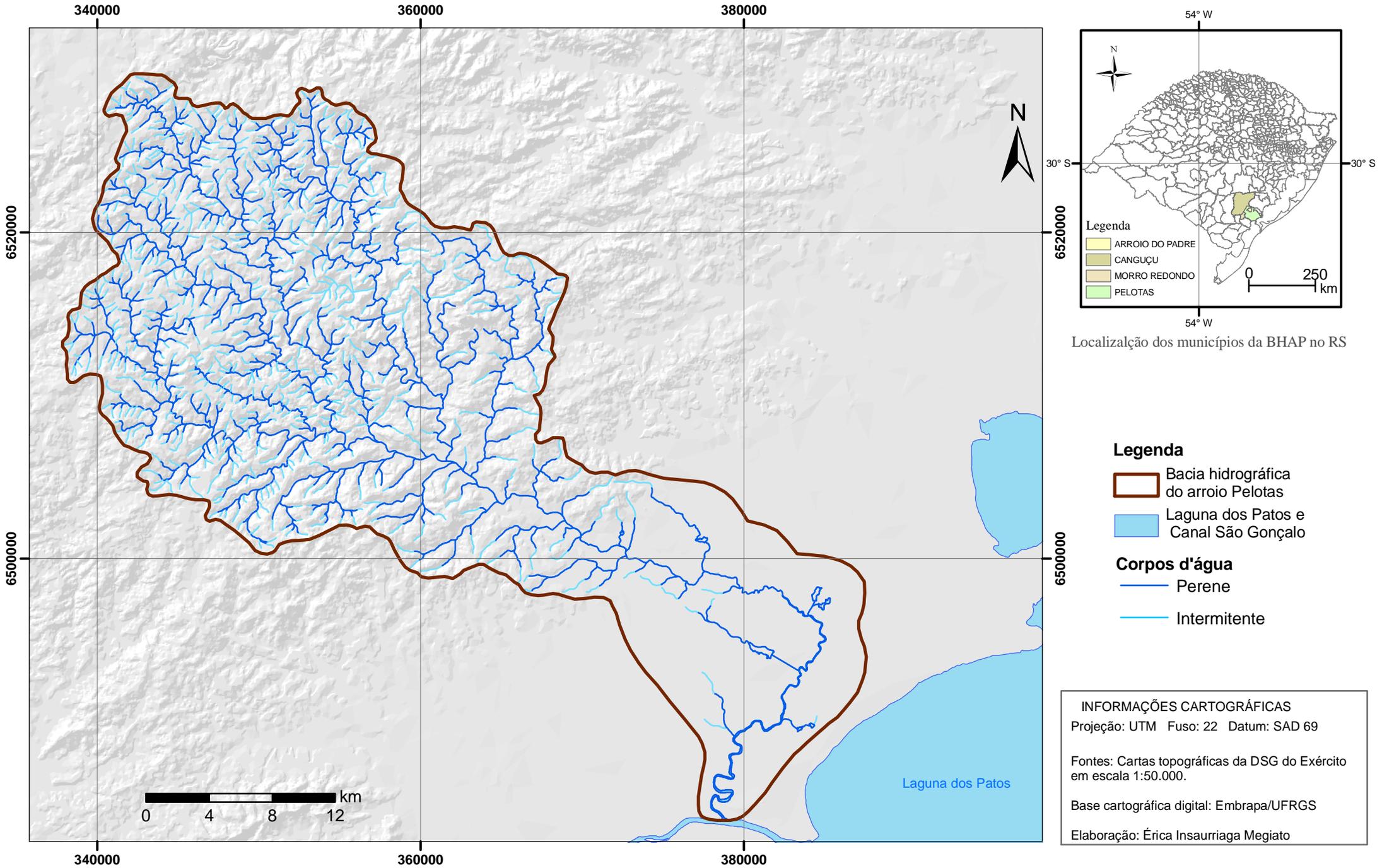


Figura 8 - Mapa da rede de drenagem da BHAP



**Foto 13** – principal curso d’água da bacia, o Arroio Pelotas. Autora: Érica I. Megiato (2007).

Os cursos d’água que se encontram no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense (fotos 14 e 15), se localizam em áreas de declividades mais acentuadas, sendo esses canais com largura inferior a 10 m, com alta energia, transportando materiais grossos. Nessas áreas a erosão hídrica é mais intensa devido à declividade, transportando materiais que vão se depositar em áreas de menor altitude.



**Fotos 14 e 15** - foto 14 (esquerda) Arroio Pelotas no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense com fragmentos de rochas no leito. Foto 15, um afluente do Arroio Pelotas no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, com sedimentos grossos. Autora: Érica I. Megiato (2007).

Na Planície, os canais são mais largos, chegando a medir mais de 100 m de largura. Nessas áreas o transporte de sedimento é mais selecionado, transportando partículas finas em suspensão, pois nesses locais o relevo é plano, com pouca

declividade e em conseqüência os cursos d'água possuem baixa energia. Próximo à sua foz, o Arroio Pelotas é navegável, fazendo ligação com o Canal São Gonçalo. A BHAP possui aproximadamente 620 canais, com alta densidade de drenagem no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense.



**Fotos 16 e 17** – foto 16 (esquerda) Arroio Pelotas com alguns bancos de areia, foto 17 Arroio Pelotas próximo a sua foz.

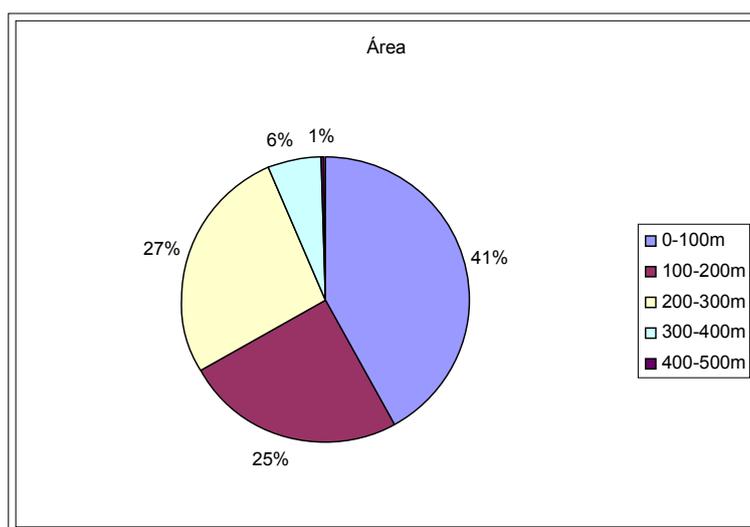
Os sedimentos encontrados na BHAP possuem granulometria e formas variadas, no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, os sedimentos encontrados nos leitos dos cursos d'água são amostras mal selecionadas, com partículas de formas angulares, variando de 3 mm a 2 cm, contendo principalmente partículas de quartzo, feldspato, mica e fragmentos de rochas (MEGIATO, 2007). Esses sedimentos grossos são transportados por correntes fortes a moderadamente fortes, transportando cascalhos, seixos e também areias, nesses locais a corrente flui velozmente comportando-se de acordo com o relevo acidentado e declivoso, onde a erosão é mais intensa (PRESS *et al.*, 2006).

Na Planície Costeira, os sedimentos encontrados são de granulometria fina com formas mais arredondadas, com tamanho de grão inferior 3 mm, contendo principalmente quartzo, feldspato e mica. Nessas áreas de relevo plano, a corrente é de moderadamente forte a fraca, com capacidade de transportar areias e lama.

### 3.4 Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Arroio Pelotas

O mapeamento do relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas foi elaborado a partir de técnicas de geoprocessamento e trabalho de campo. Os cruzamentos para a obtenção das classes dos padrões e formas de relevo baseados na proposta de Ross (1992) foram realizados a partir de uma adaptação da metodologia proposta pelo IPT, utilizando-se o modelo numérico do terreno (MNT) e o modelo de declividades, compondo, assim, o mapa de geomorfologia com os padrões e tipos de formas do relevo.

Através do MNT foram cauculadas as áreas respectivas para cada classe, conforme o intervalo estabelecido de 20 em 20 metros (figura 9). No gráfico 2 pode-se observar a distribuição das altitudes do relevo na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, as áreas foram somadas, compondo cinco classes diferentes, com intervalos de 100 em 100 metros. O gráfico mostra que 45% da área total da BHAP, possui altimetria que varia do nível do mar até os 100 metros, e que apenas 1% da área total possui valores altimétricos que variam dos 400 aos 500 metros de altitude. O mapa hipsométrico serviu como base para a elaboração do mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas e para elaboração do mapa clinográfico a partir do MNT.



**Gráfico 2** – Distribuição das altitudes na área total da BHAP, onde 41% da área total corresponde aos valores altimétricos que variam do nível do mar até os 100 metros, apenas 1% da área total corresponde as altitudes que variam de 400 a 500 metros. Elaboração: Érica I. Megiato.

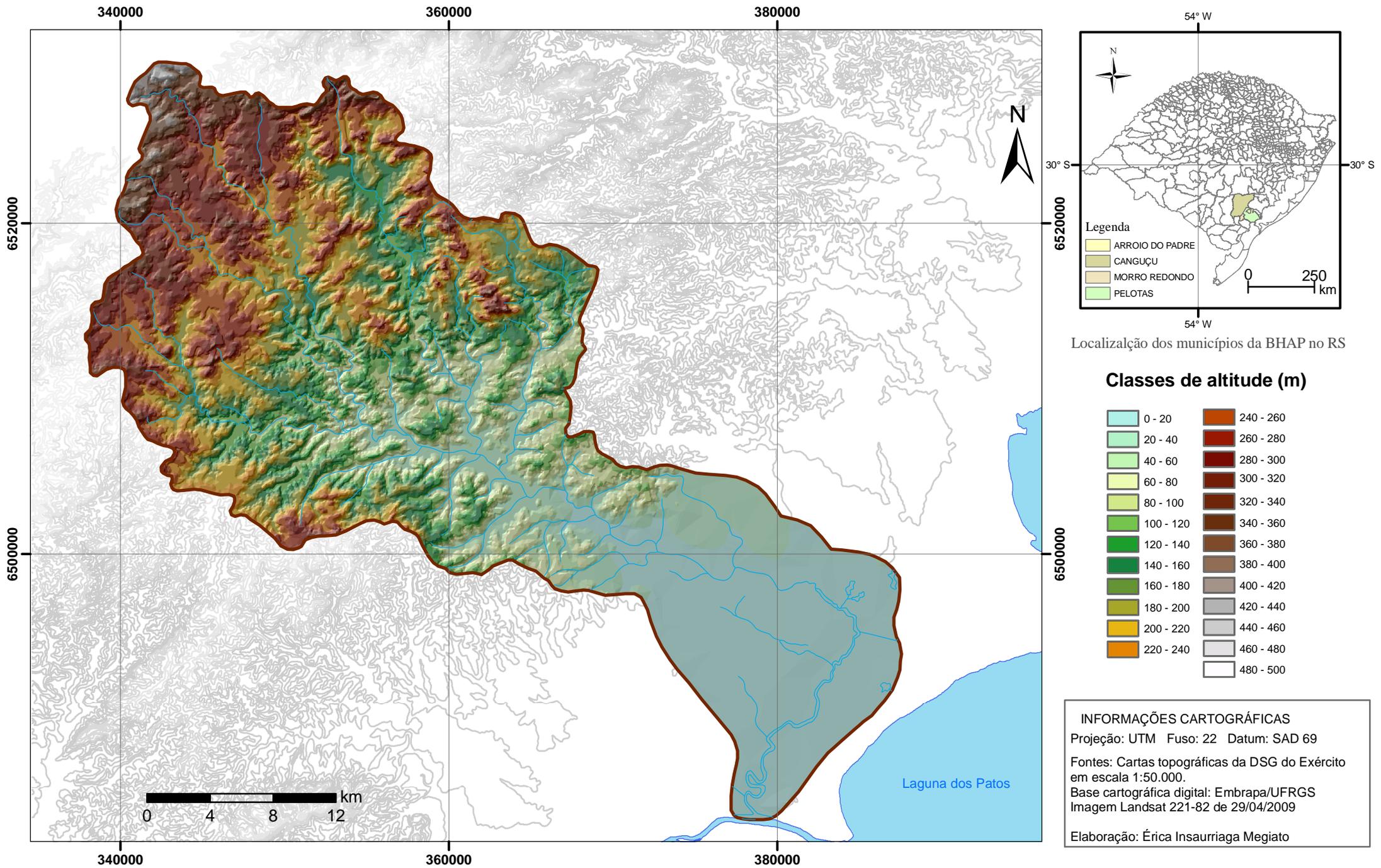


Figura 9 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do arroio Pelotas

Segundo Bertoni e Lombardi (1990) *apud* Silva *et. al*, (2003), o tamanho e a quantidade de materiais em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade de escoamento que está diretamente relacionada ao grau de declividade do terreno. Segundo os autores, a declividade é o fator mais importante na condição de gênese e evolução dos processos de erosivos.

As declividades são as medida de inclinação da superfície do solo em relação à horizontal, quanto maior o valor da porcentagem, maior é o grau de inclinação que se encontra o terreno. Os modelos de declividades permitem a avaliação dos riscos de erosão, do potencial de uso dos solos para a agricultura e mecanização, além de contribuir para a elaboração dos mapas de fragilidade ambiental.

As fotos 18 e 19 mostram exemplos de fruticultura em diferentes declividades na BHAP, onde se observa um pomar de laranjeiras cultivado em relevo plano com baixas declividades (foto 18) e um pomar de pessegueiros plantado em relevo com altas declividades (foto 19).



**Fotos 18 e 19** – foto 18 (esquerda) pomar de laranjeiras em relevo plano e foto 19, pomar de pessegueiros em relevo declivoso. Autora: Érica I. Megiato (2007).

O mapa clinográfico (figura 10) da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas foi elaborado a partir do modelo de elevação do terreno. Primeiramente o modelo foi classificado em 6 classes de declividades, seguindo a metodologia proposta por Flores *et al.* (2007), que define o tipo de relevo de acordo com as porcentagens de declividades (quadro 9).

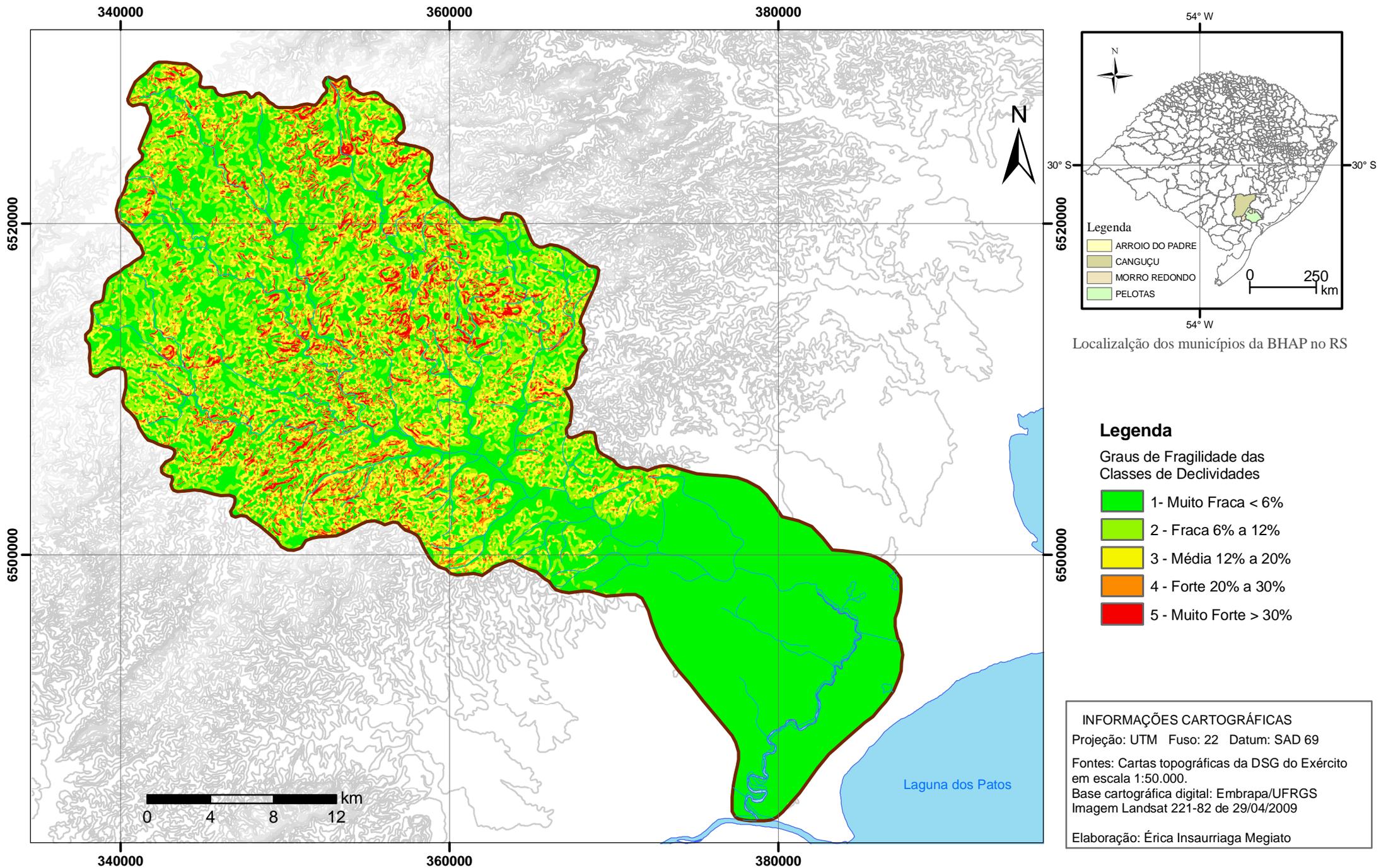


Figura 10 - Mapa clinográfico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

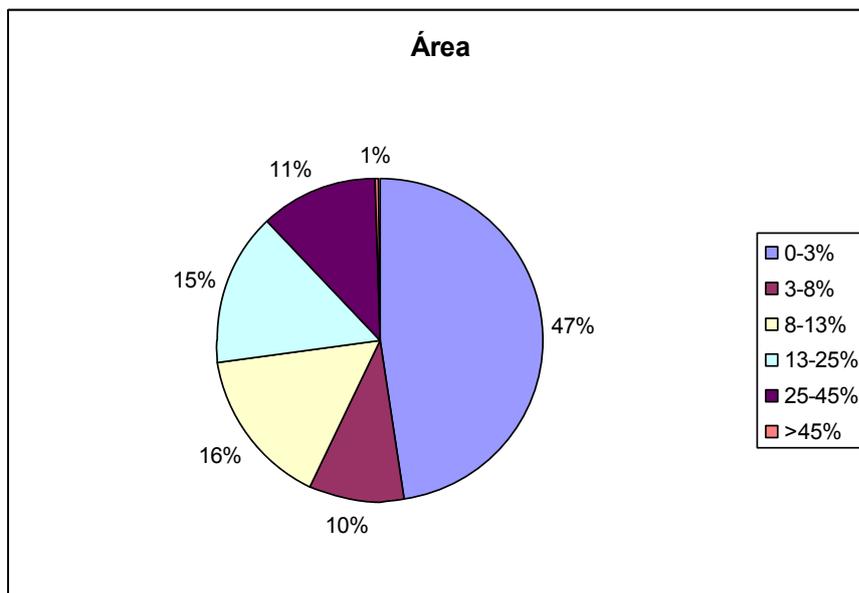
**Quadro 9** - Relação das classes de declividades e respectivas áreas ocupadas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

<b>Declividades (%)</b>	<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>
0 - 3	Plano	43255,8
3 – 8	Suave ondulado	8713,5
8 – 13	Ondulado	14404,5
13 – 25	Moderadamente ondulado	13829,5
25 – 45	Forte ondulado	10288,9
> 45	Montanhoso	583,6

Nos terrenos que possuem declividades superiores a 20%, observa-se que os tipos de solos que se apresentam nessas áreas são os Neossolos Litólicos, os Cambissolos e os Argilossolos amarelo e bruno-acinzentado. Conforme Silva *et al.* (2003), pode-se constatar que a classificação desses solos quanto à erosão pode ser definida como forte a muito forte, que, segundo o autor são as classificações atribuídas aos solos fortemente suscetíveis à erosão, os quais são encontrados em classes de relevo forte e ondulado com declividades superiores à 20% para as áreas com forte suscetibilidade à erosão. As áreas com declividades superiores à 45% são consideradas muito forte, quanto a suscetibilidade à erosão, essas áreas representam 1% do total da BHAP, sendo 583,6 ha.

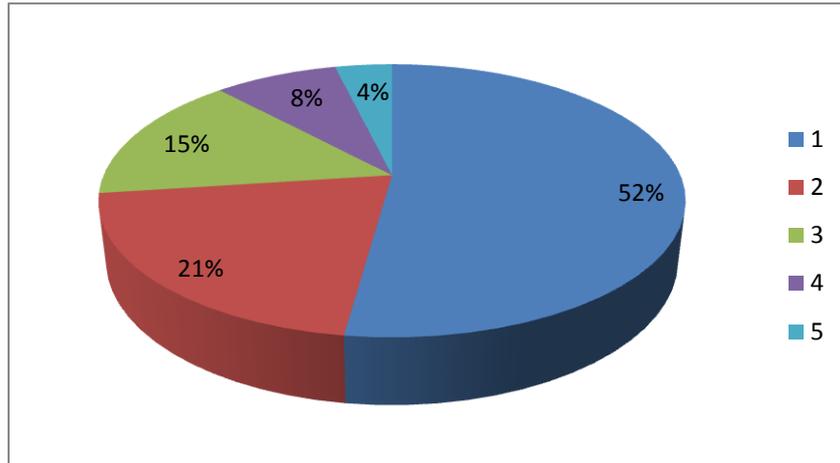
No quadro 9 e gráfico 3 percebe-se que praticamente 60% da área da BHAP, possui relevo plano à suave ondulado, de acordo com a classificação de Flores *et al.* (2007), sendo cultivadas nessas áreas principalmente culturas cíclicas como o arroz irrigado e a soja. Essas áreas de relevo plano são próprias para a agricultura, pois por apresentam menor suscetibilidade à erosão.

Os outros 40% da área da BHAP, possuem declividades que classificam o terreno de ondulado a montanhoso, sendo áreas restritas para certos tipos de cultivos, como o arroz irrigado. Essas áreas são indicadas principalmente para a fruticultura e reflorestamento. De acordo com a declividade, essas classes são as mais suscetíveis à erosão dos solos na BHAP e necessitam de práticas conservacionistas para proteção dos solos frente aos processos erosivos.



**Gráfico 3** - Distribuição das classes de declividades em relação à área total, onde 47% da área da BHAP apresentam relevo plano e apenas 1% da área possui relevo fortemente ondulado. Elaboração: Érica I. Megiato.

Para os cruzamentos do mapa de fragilidade ambiental da bacia do Arroio Pelotas, o modelo de declividade foi classificado de acordo com as classes de fragilidade definidas por Ross (1994). Essa classificação consiste em cinco classes com diferentes graus de fragilidade, que são: 1 – Muito Fraca – 0 a 6%, 2- Fraca- 6% a 12%, 3 - Média – 12% a 20%, 4- Forte – 20% a 30% e 5 - Muito Forte – acima dos 30%. O gráfico 4 representa a distribuição das classes de fragilidade das declividades na área de estudo, sendo que 52% da área apresenta fragilidade Muito Fraca com relação as declividades e 4% da área é classificada como fragilidade Muito Forte de acordo com as declividades.



**Gráfico 4** – Distribuição das classes de declividades relacionadas aos graus de fragilidade, segundo metodologia proposta por Ross (1994), onde a classe 1 corresponde a Fragilidade Muito Fraca com 52% da área de estudo, enquanto a classe 4 representa a Fragilidade Forte, totalizando 8% da área de estudo. Elaboração: Érica I. Megiato.

Quanto aos padrões e tipos de formas de relevo, o mapa geomorfológico (figura 11) foi classificado em oito classes distintas, sendo que cinco delas insere na unidade morfoestrutural Escudo Sul-rio-grandense que corresponde a morfoescultura do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar de Pelotas que tem como morfoescultura a Planície e Terras Baixas Costeira, foram identificados três padrões de formas de relevo (quadro 10).

**Quadro 10** – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

Morfoestrutura	Morfoescultura	Padrões e formas de relevo
Escudo Sul-rio-grandense	Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense	Morros com topos planos
		Morros com topos convexos e vertentes suaves
		Morros com topos convexos e vertentes íngremes
		Colinas com topos convexos
		Planície fluvio-coluvial
Bacia Sedimentar de Pelotas	Planície e Terras Baixas Costeiras	Planície lagunar
		Planície lagunar com dunas e banhados
		Planície flúvio lagunar

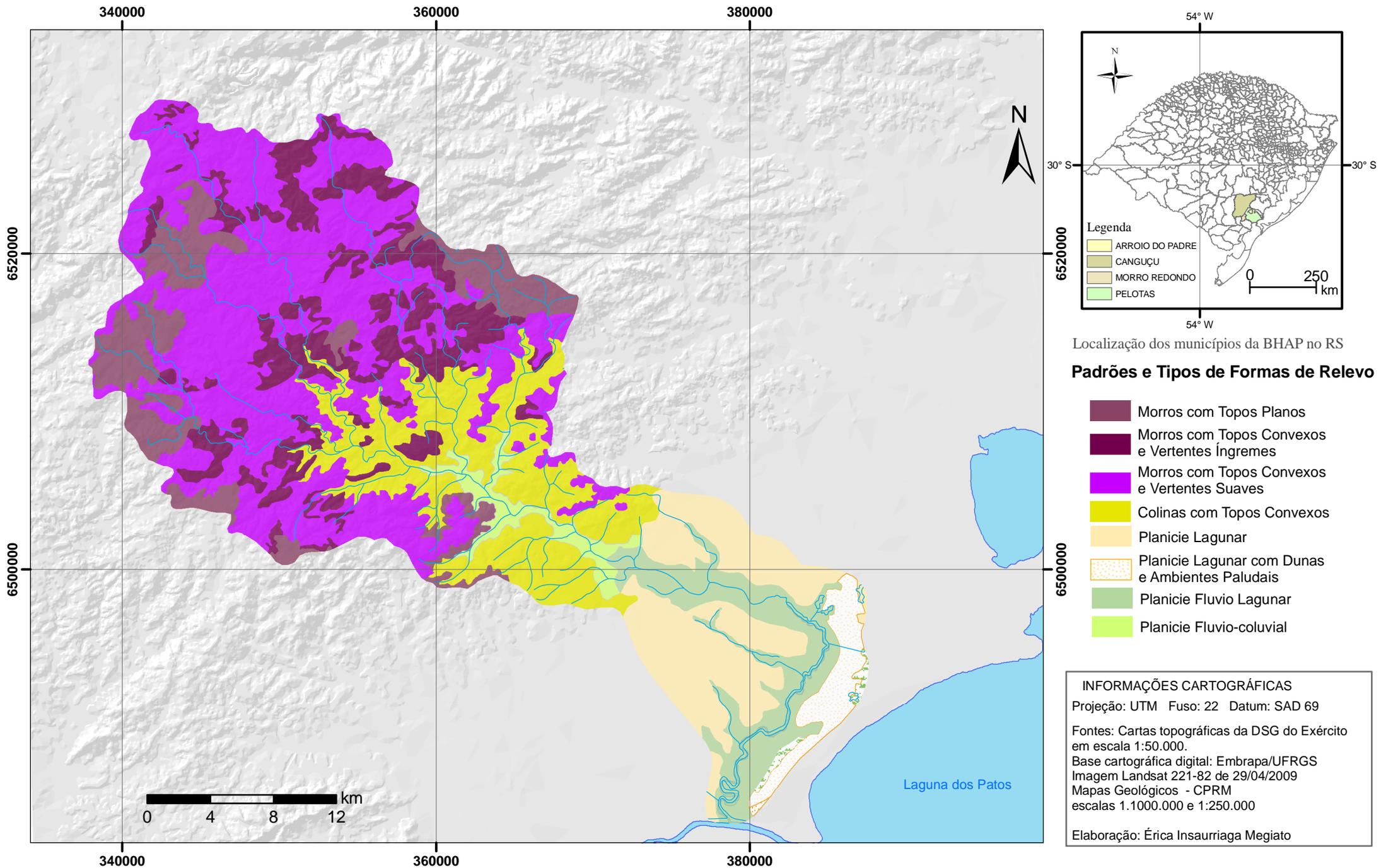
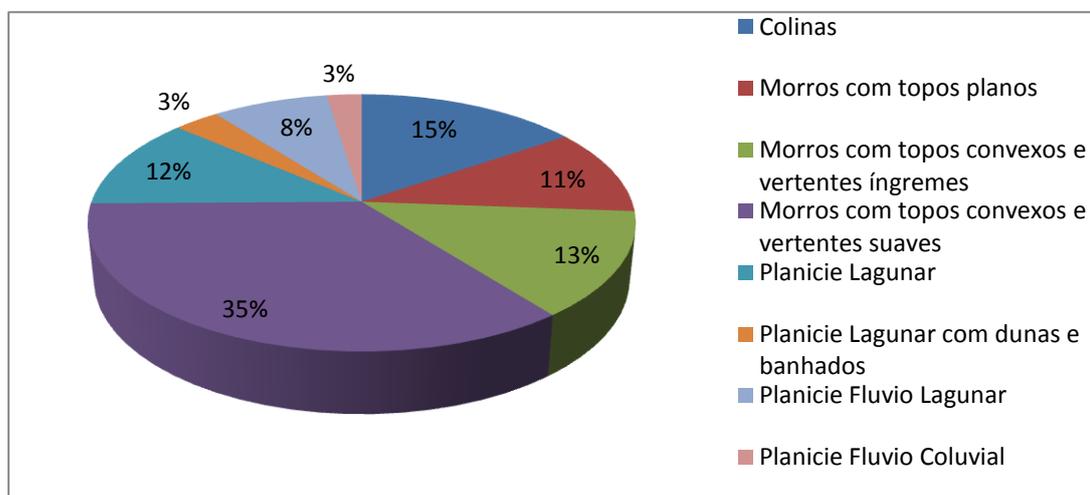


Figura 11 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do arroio Pelotas

Como pode ser observado no gráfico 5, a maior porção da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas foi classificada de acordo com os padrões e formas de relevos como morros com topos convexos e vertentes suaves, totalizando 35% da área da bacia. Esse tipo de feição geomorfológica (foto 20) se caracteriza por apresentar vertentes suaves com topos convexos, são formas que foram arredondadas e suavizadas pelo desgaste erosivo e ação dos agentes do intemperismo. Esse padrão geomorfológico é encontrado na área de estudo em altitudes acima dos 120 metros com declividades que variam de fraca a forte. Os tipos de solos predominantes são os Argissolos Bruno-acinzentado e os Argissolos Vermelho-amarelos.



**Gráfico 5** – Distribuição dos padrões e formas de relevo na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Os Morros com topos convexos e vertentes suaves ocupam 35% da área de estudo, enquanto as áreas de Planície Flúvio Lagunar correspondem a 8% da área da BHAP. Elaboração: Érica I. Megiato.



**Foto 20** – Morros com topos convexos e vertentes suaves. Autora: Érica I. Megiato (2010).

A classe morros com topos convexos e vertentes íngremes (foto 21) ocupa 13% da área total da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Essas feições geomorfológicas são encontradas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas a partir dos 140 metros de altitude, as declividades que predominam nessas áreas são acima dos 20%, consideradas forte e muito fortes. Os tipos de solos nessa classe são os Argissolos Bruno-acinzentados, os Cambissolos e os Neossolos associados a Afloramentos Rochosos.



**Foto 21** – Morro com topo convexo e vertentes íngremes. Autora: Érica I. Megiato (2007).

Os Morros com topos planos (foto 22) ocupam uma porção de 11% na área de estudo, localizando-se principalmente nos divisores de água da bacia do Arroio Pelotas. Esse tipo de padrão e forma de relevo é encontrado na BHAP acima dos 180 metros de altitude, com declividades predominantemente de média a forte. Os tipos de solos que estão associados a essas formas de relevo são os Argissolos Bruno-acinzentado, os Argissolos Vermelho-amarelo, os Cambissolos e os Neossolos Litólicos com Afloramentos Rochosos.



**Foto 22** – Morros com topos planos. Autora: Érica I. Megiato (2007).

O relevo em forma de colinas (foto 23) ocorre na área de estudo em uma porção de 15% em relação à área total. Caracteriza-se pelas feições suavemente onduladas a onduladas, com vertentes suaves. Essa classe de relevo é encontrada na BHAP acima dos 20 metros de altitude com classe de declividades predominantemente de Muito Fraca à Média. Os tipos de solos que ocorrem nessas áreas são os Argissolos Vermelho-amarelo.



**Foto 23** – Relevo em forma de colinas. Autora: Érica I. Megiato (2010).

Ainda na morfoestrutura do Escudo Sul-rio-grandense, a classe Planície Fluvio-coluvial (foto 24) ocupa uma porção de 3% da área de estudo. Esse padrão de forma de relevo é encontrado nas planícies dos cursos d'água da BHAP. Devido à escala de trabalho regional no presente estudo, essa classe resume-se à planície de inundação do curso principal da bacia, o Arroio Pelotas, são áreas onde se depositam sedimentos oriundos das áreas mais elevadas adjacentes (colúvio) e sedimentos retrabalhados pela ação fluvial. As altitudes nessas áreas são inferiores a 20 metros, com declividades muito fracas. Os tipos de solos que recobrem essas áreas são os Planossolos e os Gleissolos.



**Foto 24** – Planície Fluvial do Arroio Pelotas. Autora: Érica I. Megiato (2007).

Na morfoestrutura da Bacia Sedimentar de Pelotas, o mapa geomorfológico foi dividido em três padrões de formas de relevo distintas: Planície Lagunar, Planície Lagunar com Dunas e Banhados (foto 25) e Planície Flúvio Lagunar. A Planície Lagunar e Planície Lagunar com Dunas e Banhados representam 15% da área de estudo e são feições geomorfológicas que se caracterizam por serem áreas deposicionais dos sistemas laguna-barreira do Período Quaternário, originados pelas transgressões e regressões marítimas e também pelos depósitos eólicos. As altitudes nessas áreas são abaixo dos 20 metros, algumas áreas chegam a ter o mesmo nível do mar. O relevo nessas áreas é plano, com declividades muito fracas. Os tipos de solos dessas feições geomorfológicas são os Planossolos e os Argissolos Vermelho-amarelo encontrados na porção mais a sudeste da BHAP e uma pequena porção com os Neossolos Quartzarênicos.



**Foto 25** – Planície Lagunar com dunas e banhados. Autora: Érica I. Megiato (2007)

A Planície Flúvio Lagunar (foto 26) na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas ocupa uma porção de 8%, sendo depósitos de origem fluvial que se depositaram através dos sistemas laguna-barreira e que se depositam pela ação dos corpos d'água que integram a BHAP. As altitudes nessas áreas estão abaixo dos 20 metros, chegando ao nível do mar em algumas áreas, as declividades são de fraca a muito fraca. Os tipos de solos que representam essas áreas são os Gleissolos e os Planossolos.



**Foto 26** – Planície Flúvio Lagunar na BHAP. Autora: Érica I. Megiato (2007).

Este capítulo apresentou as análises e mapeamentos referentes aos aspectos do meio físico na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Estes aspectos são importantes para a avaliação da fragilidade ambiental da área de estudo, já que refletem a fragilidade potencial dos ambientes. As características geológicas são importantes para definir os passos metodológicos para a confecção do mapa de fragilidade ambiental. Os mapas de geomorfologia e dos tipos de solos caracterizam-se como aspectos principais para a avaliação dos graus de fragilidade ambiental, tanto nos ambientes do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense quanto nos ambientes da Planície Costeira.

## **CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DOS MUNICÍPIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PELOTAS E USO DO SOLO**

### **4.1 Caracterização populacional e socioeconômica dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas**

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP) ocupa porções territoriais de quatro municípios da região sul do estado do Rio Grande do Sul, os quais apresentam características próprias quanto aos seus contingentes populacionais e suas condições socioeconômicas.

Para caracterizar as questões populacionais e socioeconômicas, este capítulo se dividirá em tópicos, abordando questões de densidade demográfica, renda, principais atividades econômicas, principais cultivos e PIB de cada município, através de dados fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e ITEPA (Instituto Técnico de Pesquisa e Assessoria) da Universidade Católica de Pelotas (UCPEL).

Sabe-se que a fragilidade dos ambientes pode ser intensificada pelos processos de ocupação e uso do solo; por isso é importante o conhecimento das características sociais da área de estudo, pois algumas dessas atividades socioeconômicas exercidas pelos atores sociais da BHAP podem ser responsáveis por um grau maior de fragilidade na área da bacia. A fragilidade ambiental pode causar danos sociais e econômicos às populações que ocupam áreas mais suscetíveis a determinados processos relacionados aos graus de fragilidade dos ambientes.

#### **4.1.1 Caracterização populacional e territorial dos municípios de Pelotas, Morro Redondo, Arroio do Padre e Canguçu**

Dentre os municípios que compõem a bacia hidrográfica em estudo, o município de Pelotas é o mais populoso, sendo o terceiro município mais populoso do estado do Rio Grande do Sul. De acordo com os dados do IBGE (2007) a população total do município de Pelotas é de 350.358 habitantes com uma população urbana de 95,08% e população rural de 4,92%. Esses dados mostram que a grande parte dos habitantes de Pelotas vive nas áreas urbanas do município.

A extensão territorial do município é de 1.609 km<sup>2</sup> sendo limítrofe aos municípios de Canguçu, Morro Redondo, Turuçu, Capão do Leão, São Lourenço e banhado a leste pelas águas da Laguna dos Patos.

A ocupação do município de Pelotas iniciou-se com indígenas Guaranis, os quais eram coletores e pescadores que habitavam a região e deram o nome ao município, que em Guarani significa embarcação feita de couro. No ano de 1758, foi outorgado ao coronel Thomas Luís Osório a carta de sesmaria, atribuindo-lhe direito sobre as terras que ficavam às margens da Laguna dos Patos, do atual município de Pelotas.

A partir dessa ocupação, foram se instalando charqueadas às margens dos cursos de água existentes no município que contava com grande capacidade de escoamento de produção, marcando o início de um período de desenvolvimento econômico na cidade de Pelotas. Em 1780, foi instalada a primeira charqueada no território do Rio Grande do Sul; este empreendimento foi instalado às margens do Arroio Pelotas. De acordo com Gutierrez (2001):

O pólo escravista pelotense estava situado as margens do canal São Gonçalo e do Arroio Pelotas. A implantação desse núcleo iniciou nas últimas duas décadas do século XVIII. Sua localização estava vinculada ao processo de disputa da bacia do rio da Prata. A contenda entre as duas potências ibéricas, fruto de interesses mercantilistas nessa região, começou no século XV. Não se envolveram apenas Espanha e Portugal no processo de ocupação do território banhado pelo rio da Prata e seus afluentes. Entre outros participaram ingleses, africanos, brasileiros, criollos, piratas, Papas, padres da companhia de Jesus, Charruas, guaranis, holandeses, franceses. (pg. 17)

Devido a sua importância histórica e cultural, marco do desenvolvimento econômico no município de Pelotas, em 2003 o Arroio Pelotas foi declarado patrimônio cultural do estado do Rio Grande do Sul pela lei nº 11.895 de março de 2003 (SISTEMA LEGIS, 2007).

O segundo município mais populoso que abrange a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é o município de Canguçu que possui, de acordo com os dados do IBGE (2007), uma população total de 52.366 habitantes, com uma população urbana de 39,77% e uma população rural de 60,23%. Analisando esses dados, observa-se uma situação inversa ao município de Pelotas, pois, a maioria da população do município de Canguçu vive no espaço rural. O território do município de Canguçu

soma um total de 3.525 km<sup>2</sup>, sendo duas vezes maior que a extensão territorial do município de Pelotas; tendo como limite, ao norte os municípios de Encruzilhada do Sul, Amaral Ferrador e Cristal, ao sul os municípios de Morro Redondo e Cerrito, ao leste Pelotas e São Lourenço e a oeste o município de Piratini.

A criação do município de Canguçu também se deu pela doação de sesmarias aos nobres portugueses e posterior doação para a construção de uma capela, território que foi reivindicado ao governador por cento e quarenta moradores da região para construir uma capela e formar um povoado, dando origem ao atual município. Foi o 22º município gaúcho e foi criado a partir da emancipação do município de Piratini. A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas tem suas principais nascentes no território deste município, dentre elas as dos arroios Quilombo e Caneleiros, afluentes do Arroio Pelotas, do total da área da bacia hidrográfica em estudo, aproximadamente 20% está em solo Canguçuense.

O terceiro município mais populoso da bacia do Arroio Pelotas e não menos importante para o entendimento das dinâmicas ambientais e sociais na área em questão, é o município de Morro Redondo, que possui uma população total de 5.936 habitantes (IBGE, 2007). A população urbana de Morro Redondo é de 41,31% e a sua população rural é de 58,69%. Assim como Canguçu, Morro Redondo também é um município predominantemente rural. De acordo com o IBGE as primeiras ocupações na localidade aconteceram por volta de 1865 por imigrantes portugueses, alemães e italianos.

A localidade de Morro Redondo pertencia ao município de Pelotas; este foi emancipado município somente em 1988 por iniciativa da comunidade local. O município de Morro Redondo possui extensão territorial de 245 km<sup>2</sup>, tendo como limites os municípios de Pelotas, Canguçu, Cerrito e Capão do Leão. No município encontram-se algumas nascentes dos arroios Cadeia e do Ouro, afluentes do Arroio Pelotas.

Outro município que integra a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é Arroio do Padre, município menos populoso da área em estudo, com uma população total de 2.801 habitantes, com população urbana de 4,92% e população rural de 95,08%. No município de Arroio do Padre constata-se situação inversamente proporcional ao município de Pelotas, sendo a grande maioria da população, habitantes de áreas rurais. A extensão territorial do município é de 124 km<sup>2</sup>, sendo seu território totalmente inserido no território do município de Pelotas, com o qual faz limite em

todas as direções. Esse fato deve-se a localidade de Arroio do Padre ter pertencido anteriormente ao município de Pelotas, o qual foi emancipado somente no ano de 2001. No município encontram-se algumas nascentes do arroio Andrade, afluente da porção norte da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

A partir dos dados apresentados, pode-se concluir que os quatro municípios que fazem parte da bacia hidrográfica em estudo, apresentam uma população total de aproximadamente 410.000 habitantes; sendo que a bacia hidrográfica tem sua porção maior no município de Pelotas e Canguçu, encontrando-se aproximadamente 80% do total de sua área nas áreas rurais desses municípios. Com os dados populacionais, é possível analisar as influências das populações nas dinâmicas naturais dos ambientes e também as conseqüências de possíveis processos relacionados aos graus de fragilidade dos ambientes na área em estudo.

#### **4.1.2 Caracterização socioeconômica dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas**

Este subcapítulo apresentará dados estatísticos disponibilizados pelo ITEPA, os quais serão usados para caracterizar a área de estudo, mostrando dados relacionados às atividades socioeconômicas desenvolvidas nos municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Morro Redondo e Pelotas. O ITEPA (Instituto Técnico de Pesquisa e Assessoria) da UCPEL (Universidade Católica de Pelotas) se utiliza de dados de órgãos como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e FEE (Fundação de Economia e Estatística do RS) para compor o Banco de Dados da Zona Sul, publicações que contribuem para o conhecimento da realidade socioeconômica da região sul do estado do Rio Grande do Sul.

Para o entendimento das atividades socioeconômicas no âmbito da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas será preciso interpretar dados como PIB (Produto Interno Bruto), IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), bem como as principais atividades econômicas e os setores responsáveis pela economia de cada município.

Os municípios de Arroio do Padre, Canguçu, e Morro Redondo são predominantemente rurais, possuindo como principal atividade econômica a agropecuária, portanto o setor primário é o maior responsável pela economia desses municípios. Dentro do setor primário se destaca a agricultura, sendo desenvolvidos cultivos de grãos, hortaliças, fumo e fruticultura. No ramo da pecuária são

desenvolvidas atividades de criação de bovinos para corte e produção de leite, ovinos para corte e produção de lã, bem como criação de suínos e aves.

A principal atividade agrícola no município de Arroio do Padre é a produção de lavouras de fumo com produção anual de 2.779 toneladas (quadro 11) de acordo com os dados do ITEPA (2007). Além da produção de fumo, o município cultiva milho, batata e inclui atividades de cultivo de pomares de laranja e pêssego. Outros produtos como soja, cebola, tomate e feijão também são cultivados no município.

**Quadro 11** – Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município de Arroio do Padre, RS.

<b>Produto</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>
Arroz Irrigado	—	—
Arroz Sequeiro	—	—
Feijão	6	25
Batata-Inglesa	225	35
Cebola	50	5
Fumo	2.779	1.378
Laranja	165	15
Trigo	96	40
Sorgo	—	—
Milho	360	400
Soja	90	50
Alho	—	—
Aveia	—	—
Tomate	20	1
Mandioca	—	—
Pêssego	150	40

Fonte: ITEPA (2007)

A principal atividade agrícola do município de Morro Redondo é a produção de frutas, como o pêssego e a laranja, a produção de pêssego chega a ser de 2.160 toneladas por ano. Já em área, destaca-se o cultivo de milho com uma área de 2.000 hectares plantada no município (quadro 12). Além desses produtos, existe no município lavouras de tomate, batata, feijão, cebola, produtos que são utilizados também para a subsistência dos agricultores. A plantação de fumo ocupa uma área de 317 hectares, com uma produção de 507 toneladas por ano no município.

**Quadro 12** - Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município de Morro Redondo, RS

<b>Produto</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>
Arroz Irrigado	-	-
Arroz Sequeiro	-	-
Feijão	90	200
Batata-Inglesa	500	100
Cebola	480	80
Fumo	507	317
Laranja	1.995	133
Trigo	-	-
Sorgo	-	-
Milho	1.440	2.000
Soja	20	20
Alho	-	-
Aveia	-	-
Tomate	300	10
Mandioca	-	-
Pêssego	2.160	900

Fonte: ITEPA (2007)

O município de Canguçu se caracteriza por ser o município do Rio Grande do Sul com o maior número de pequenas propriedades, tendo como modelo os minifúndios e a policultura. De acordo com os dados do ITEPA (2007) o produto que se destaca é o fumo, com uma produção anual de aproximadamente 25.000 toneladas em uma área plantada de 11.366 hectares. Depois do fumo pode-se observar (quadro 13) que outro produto de destaque na agricultura do município é o milho com uma produção de 17.640 toneladas por ano; esse cultivo ocupa uma área de 24.500 hectares no município. Demais produtos importantes para a economia do município são: a soja, o pêssego, a cebola, o tomate, entre outros.

**Quadro 13** - Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município Canguçu, RS.

<b>Produto</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>
Arroz Irrigado	4.576	710
Arroz Sequeiro	140	40
Feijão	1.080	6.000
Batata-Inglesa	7.200	1.000
Cebola	6.000	1.000
Fumo	25.005	11.366
Laranja	1.344	240
Trigo	360	150
Sorgo	—	—
Milho	17.640	24.500
Soja	7.950	7.500
Alho	450	150
Aveia	—	—
Tomate	4.000	100
Mandioca	—	—
Pêssego	7.280	2.700

Fonte: ITEPA (2007)

O município de Pelotas possui uma característica distinta dos demais municípios que abrangem a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, pois é o município mais populoso da área de estudo, onde aproximadamente 95% da população residem em área urbana. Porém, a área de abrangência da bacia hidrográfica em estudo está concentrada principalmente na zona rural do município, mais especificamente nos distritos de Monte Bonito, Quilombo e Santa Silvânia.

A principal atividade econômica que se destaca no município de Pelotas é o comércio, responsável por uma parte significativa do PIB do município. O setor primário também é importante na economia de Pelotas, e para a avaliação da fragilidade ambiental na bacia do Arroio Pelotas é importante o conhecimento das atividades agrícolas desenvolvidas nas áreas rurais do município.

O principal produto agrícola cultivado em Pelotas é o arroz irrigado, nas áreas de planície no município, com uma produção anual de 48.893 toneladas, ocupando

uma área de 7.700 hectares (quadro 14). Além da produção do arroz, outro cultivo que se destaca nas áreas rurais de Pelotas é o fumo, produto que acabou substituindo o cultivo de outros produtos agrícolas, como o aspargo, que foi cultivado durante muito tempo no município. Na zona rural de Pelotas encontram-se cultivos de milho, soja, tomate, batata, além do cultivo de pomares de pêssego e laranja, como também alguns vinhedos.

Na pecuária, destaca-se a criação de bovinos de corte e utilizados na produção de leite, com uma produção de aproximadamente 17.000 litros por ano. No município também existe a criação de suínos e ovinos.

**Quadro 14** - Produção em toneladas (t) e área plantada (ha) de produtos agrícolas do município Pelotas, RS.

<b>Produto</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>
Arroz Irrigado	46.893	7.700
Arroz Sequeiro	26	10
Feijão	600	1.000
Batata-Inglesa	2.650	450
Cebola	1.170	180
Fumo	10.329	5.121
Laranja	2.279	407
Trigo	—	—
Sorgo	510	270
Milho	12.600	7.000
Soja	9.240	5.000
Alho	68	25
Aveia	68	25
Tomate	6.000	100
Mandioca	—	—
Pêssego	8.100	3.200

Fonte: ITEPA (2007)

Analisando os dados das tabelas pode-se observar que os principais produtos agrícolas que são cultivados na área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas são: o arroz, cultivado principalmente na Planície Costeira e o fumo, que ocupa grande porção dos solos do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Esses produtos são

caracterizados por uma lavoura intensiva, com a utilização de agrotóxicos e máquinas agrícolas responsáveis por impactar os solos e poluir os ambientes. O milho e a soja também são produtos cultivados na área da bacia hidrográfica, além de outras culturas de hortaliças e leguminosas. Culturas permanentes como pomares de pêssigo e laranja também são encontrados na área.

Outros dados estatísticos importantes para a caracterização socioeconômica dos municípios são o PIB (Produto Interno Bruto) e o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) dos respectivos municípios. De acordo com os dados do ITEPA (2007), o maior PIB é do município de Pelotas equivalente a 2.372.849 (R\$ mil), enquanto o menor PIB é observado no município de Arroio do Padre, com 19.322 (R\$ mil). Já o PIB per capita de Pelotas é o menor de todos, 7.009 (R\$) (quadro 15) e o maior PIB per capita é do município de Morro Redondo, com 10.792 (R\$).

**Quadro 15** – Produto Interno Bruto dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (2004).

<b>Município</b>	<b>PIB (R\$ mil)</b>	<b>População</b>	<b>PIB Percapita (R\$)</b>
Arroio do Padre	19.322	2.708	7.135
Canguçu	406.033	52.002	7.808
Morro Redondo	64.331	5.961	10.792
Pelotas	2.372.849	338.543	7.009

Fonte: ITEPA ( 2007).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é importante para o conhecimento da realidade social dos habitantes da área de estudo. Dados como educação, renda, saúde e saneamento (quadro 16) retratam as condições de vida dos indivíduos que fazem parte deste contexto socioambiental que é a bacia hidrográfica.

**Quadro 16** – Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

<b>Município</b>	<b>Educação</b>	<b>Renda</b>	<b>Saneamento</b>	<b>Saúde</b>	<b>Idese*</b>
Arroio do Padre	...	...	...	...	...
Canguçu	0,784090761	0,533358866	0,343070956	0,862530641	0,630762806
Morro Redondo	0,806090217	0,552050438	0,212292428	0,848602103	0,604758796
Pelotas	0,838690397	0,675828917	0,678505933	0,832839438	0,756466171
*Idese- Índice de desenvolvimento sócioeconômico					
... Não disponível					

Fonte: ITEPA (2007).

Através dos dados apresentados, observa-se que o município de Pelotas possui IDH mais elevado em todas as áreas apresentadas na tabela, exceto na área da saúde, que é o menor índice dentre os municípios citados. Morro Redondo apresenta IDH mais elevado em relação ao município de Canguçu nas áreas de educação e renda. Já os índices de saneamento, saúde e Idese (Índice de desenvolvimento socioeconômico) são mais elevados no município de Canguçu em relação ao município de Morro Redondo.

#### **4.2 Análise e mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo**

O mapa da cobertura vegetal e uso do solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é fundamental para a avaliação da fragilidade ambiental, sendo parte dos três mapas básicos utilizados para o cruzamento das informações. O mapa de uso do solo serve para a avaliação tanto da fragilidade, pois mostra as áreas que são usadas mais intensamente na área de estudo, quanto das áreas que ainda se encontram protegidas, uma vez que conservam a cobertura vegetal original da área.

O PROBIO 2006, no subprojeto Remanescente de Vegetação dos Campos Sulinos (HASENACK & CORDEIRO, 2006), mapeou o uso do solo e cobertura vegetal do bioma Pampa. Megiato (2007) utilizou os dados do PROBIO juntamente com trabalho de campo para mapear o uso do solo e a cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Nesse trabalho, as classes de uso do solo foram classificadas em duas classes distintas: classe 1, para as áreas cobertas por

vegetação nativa original, que representavam 15% da área total da BHAP e classe 2 para as áreas antropizadas, que representavam 85% do total; essa última classe correspondendo às áreas que foram modificadas pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

No mapa de uso do solo e cobertura vegetal (MEGIATO, 2007) de acordo com a classificação do PROBIO (HASENACK & CORDEIRO, 2006), foram identificadas onze classes de uso dentro da área da BHAP (quadro 17).

**Quadro 17** – Classes referentes ao uso do solo e vegetação e áreas respectivas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

<b>Classes</b>	<b>Descrição</b>	<b>Área (ha)</b>
Água antrópico	Açudes	373,0
R	Reflorestamento	1656,14
Ag	Agropecuária	61883,12
Pa	Vegetação com influência fluvial	1168,84
Acc	Agricultura de culturas cíclicas	12305,02
Iu	Áreas urbanizadas	866,25
Im	Mineração	3,35
Ca	Floresta estacional aluvial	1990,15
Fs	Floresta estacional semidecidual submontana	10537,53
Fm	Floresta estacional semidecidual montana	149,75
Água	Arroio Pelotas	129,24

Fonte: Megiato (2007).

A classe Acc que representa na área de estudo a agricultura de culturas cíclicas, é a classe mais representativa na Planície Costeira; essas áreas são

utilizadas principalmente para plantações de arroz. A classe de uso antrópico, denominada Ag (Agropecuária), tem maior representatividade no Escudo Sul-riograndense, sendo áreas utilizadas principalmente para pecuária e pastagens, podendo ser identificadas nessas áreas pequenas propriedades com plantação de fumo, milho, pêssego e algumas propriedades com pomares de laranja.

A classe Ca (Floresta Estacional Aluvial) correspondente a vegetação nativa ou mata ciliar encontrada ao longo dos cursos d'água na BHAP e a classe Pa (vegetação com influência fluvial), são áreas com vegetação típica de banhados encontradas às margens do Arroio Pelotas. As classes Fm (Floresta estacional semidecidual - Montana) e Fs (Floresta estacional semidecidual - Submontana) são encontradas no Escudo Sul-riograndense como fragmentos florestais restantes da vegetação original da área. A classe R (reflorestamento) aparece com áreas mais significativas na Planície Costeira, porém são encontradas também no Escudo Sul-riograndense, são áreas de florestamento de Pinus, Acácia e Eucalipto.

A classe lu (áreas urbanizadas) aparece na Planície Costeira, em áreas de maior densidade demográfica, e no Escudo Sul-riograndense, onde aparece no mapa uma parte da cidade de Canguçu. A classe Im representa uma área de mineração dentro da BHAP, uma pedreira localizada no município de Pelotas, no distrito de Monte Bonito. A água nessa classificação está dividida em duas classes, onde aparece o Arroio Pelotas, representando os cursos d'água naturais e a classe açudes, como áreas antrópicas.

As classes mais representativas na BHAP no mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas de 2007 são: Ag e Acc, que representam respectivamente 68% e 14% da área total da bacia, restando 18% que representa a soma das demais classes. Para atualização dos dados da cobertura vegetal e uso do solo na área de estudo, foi feita uma interpretação visual em imagem Landsat do ano de 2009; para tanto as classes de uso do solo foram identificadas e classificadas quanto ao grau de fragilidade de cada feição de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994), levando em consideração os aspectos locais, tais como as práticas conservacionistas e não-conservacionistas dos atores sociais da respectiva área.

A partir da figura 12 e do gráfico 6 pode-se observar as classes encontradas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, para o ano de 2009. Foram identificadas treze classes, sendo elas: Corpos d'água, Áreas Urbanizadas Pouco Adensadas,

Áreas Urbanizadas Adensadas, Áreas de Cultivo de Arroz, Uso Misto (agricultura e pecuária), Campo (pecuária), Área de Mineração, Áreas com Solo Exposto, Campo Nativo com Afloramentos, Banhados, Áreas de Florestamento, Mata Nativa, Vegetação Secundária.

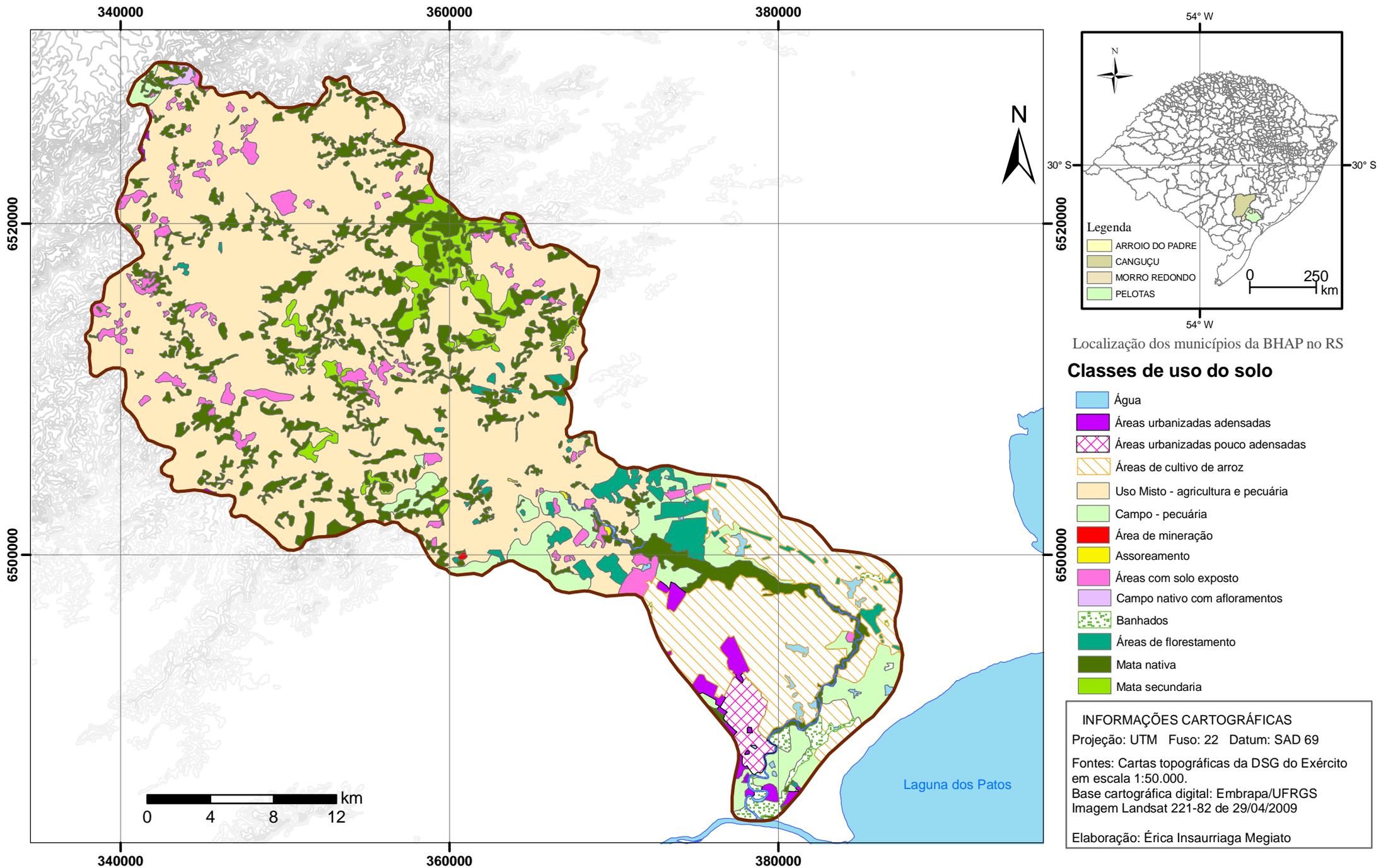
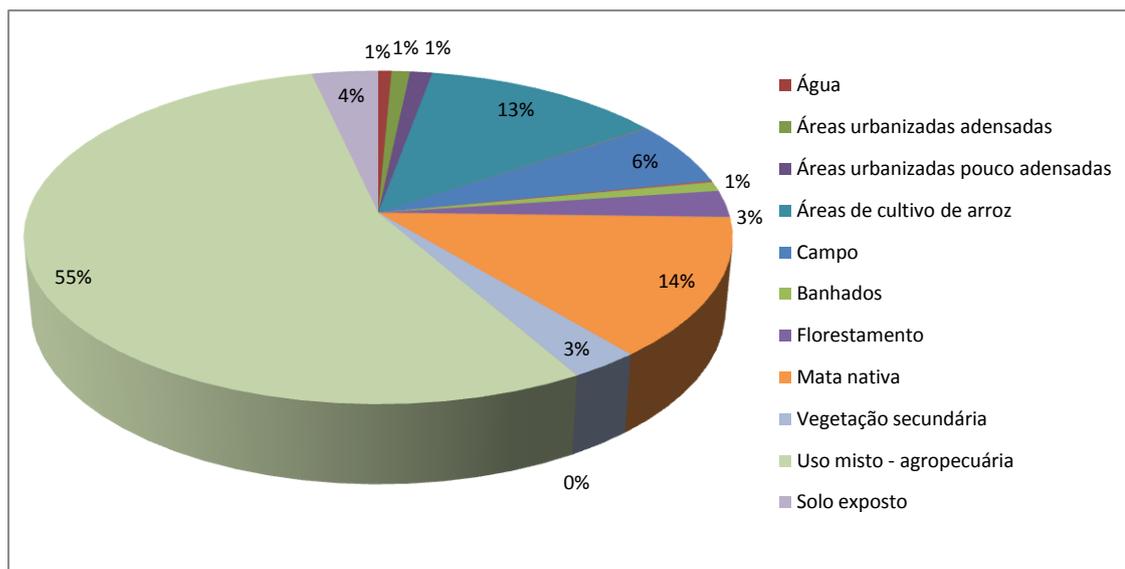


Figura 12 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do arroio Pelotas



**Gráfico 6** – Distribuição das classes de cobertura vegetal e uso do solo em 2009.

Elaboração: Érica I. Megiato.

Os corpos d'água visíveis na escala do mapeamento foram identificados, como é o caso do Arroio Pelotas na porção da Planície Costeira e os corpos d'água artificiais, que são os açudes e barragens identificados na área de estudo. No total essa classe representa apenas 1% da área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas no respectivo mapa.

As classes Áreas Urbanizadas Adensadas e Áreas Urbanizadas Pouco Adensadas, representam cada uma 1% do total da área de estudo, somando 2% da área total da bacia do Arroio Pelotas (foto 27), mostrando que a BHAP é predominantemente rural. Essas áreas estão localizadas na Planície Costeira, bem próximas ao Arroio Pelotas, onde a declividade é abaixo dos 6%, os tipos de solos são os Planossolos e Gleissolos e os Argissolos Vermelho-amarelo. Quanto à geomorfologia, essas áreas urbanizadas estão em formações de Planície Lagunar e Flúvio Lagunar.



**Foto 27** – Áreas Urbanizadas – Condomínio Residencial as margens do Arroio Pelotas. Autora: Érica I. Megiato (2008).

A área predominante no mapa de uso do solo e cobertura vegetal está incluída na classe Uso Misto-Agropecuária (foto 28). Essas áreas foram classificadas de tal forma, devido à dificuldade de separar os tipos de uso na escala trabalhada, a área ocupa 55% da área total da bacia e equivale à classe Ag do mapeamento realizado em 2006 pelo PROBIO. Na área, observa-se cultivos variados, como agricultura familiar para subsistência, pastagens e pomares de fruticultura. A respectiva classe é encontrada em toda porção do Planalto Uruguaio Sul-riograndense, principalmente nas altitudes acima dos 80 metros. Os solos predominantes nessas áreas são os Argissolos Bruno-acinzentado e os Argissolos Vermelho-amarelo, também em alguns setores estão os Cambissolos. A geomorfologia predominante nas áreas onde foram identificadas essa classe de uso do solo são as Colinas com Topos Convexos e os Morros com Topos Convexos e Vertentes Suaves. Observa-se, no geral, que não são utilizadas práticas conservacionistas nessas áreas, sendo que o plantio muitas vezes é feito em terrenos com declividades acentuadas e, além disso, observa-se a mata ciliar encontra-se em grande parte degradada.



**Foto 28** – Uso Misto – Agricultura e pecuária. Autora: Érica I. Megiato (2009).

As áreas de Cultivo de Arroz representam 13% da área de estudo, estando localizadas na Planície Costeira. Consistem em grandes lavouras de arroz, onde os tipos de solos são os Planossolos e Gleissolos. Essas áreas possuem declividades menores do que 6% e altitudes abaixo dos 20 metros, nos compartimentos geomorfológicos caracterizados por Planícies Lagunares e pela Planície Flúvio Lacustre.

Ainda com relação ao uso do solo para atividades agropecuárias, identificou-se a classe de uso Áreas com Solo Exposto, que representa no mapa 4% do total da BHAP (foto 29). São áreas onde os solos estavam desprovidos de cobertura vegetal, solos que estavam sendo preparados para lavouras, ou após a colheita. Essas áreas também incluem aquelas porções onde a cobertura vegetal foi removida pela ação da erosão causada pelas fortes chuvas em janeiro de 2009. A classe Áreas com solo Exposto foi identificada em porções variadas na bacia hidrográfica em estudo.



**Foto 29** – Áreas com Solo Exposto. Autora: Érica I. Megiato (2009).

A classe Mata Nativa representa 14% da área total, sendo composta principalmente pela Floresta Estacional Semidecidual (foto 30), incluindo a mata ciliar ao redor dos corpos d'água (foto 31), capões de mato, bem como a mata nativa localizada nos topos de morros. Essa classe representa parte da área que ainda não foi transformada pela ação antrópica e, de acordo com a classificação de Ross (1994), apresenta o elevado grau de proteção com relação à fragilidade ambiental, representando para o uso do solo e cobertura vegetal a classe 1, de Fragilidade Muito Fraca. É importante ressaltar que, mesmo as áreas de vegetação nativa, em parte, encontram-se degradadas pela ação antrópica, podendo, muitas vezes, observar a vegetação exótica inserida na cobertura vegetal nativa (foto 31). Algumas áreas de mata nativa foram desmatadas e introduzidas no local, espécies exóticas como eucalipto, pinus e acácias; essas áreas situam-se geralmente em topos ou encostas de morros com declividades acentuadas.



**Foto 30** – Floresta Estacional Semidecidual na BHAP. Autora: Érica I. Megiato (2010).



**Foto 31** – Mata ciliar com Eucalipto e Pinus, as espécies exóticas se misturam com a mata nativa. Autora: Érica I. Megiato (2010).

A classe Mata Secundária inclui áreas onde a mata nativa é mais esparsa, bem como áreas onde a vegetação é do tipo arbustiva, incluindo árvores de porte menores do que aquelas da classe Mata Nativa. São, em algumas porções, áreas onde a mata nativa foi degradada e em partes está se recuperando. Essa classe ocupa uma porção do Escudo Sul-rio-grandense a leste, representa 3% da área total da BHP. Os solos dessas áreas são os Argissolos Bruno-acinzentados. Com relação

à geomorfologia, essa classe foi identificada nas áreas de Morros com Topos Convexos e Vertentes Suaves e em áreas de Morros com Topos Planos.

As Áreas de Florestamento totalizam 3% da área de estudo, estão tanto na Planície Costeira como no Escudo Sul-rio-grandense. São cultivadas nessas áreas, principalmente florestas de eucalipto e acácia, encontradas em diversos compartimentos geomorfológicos e diversos tipos de solo na BHAP.

As demais classes do mapa de uso do solo e cobertura vegetal somam um total de 7% da área de estudo, sendo 1% banhados e 6% campo. As áreas de campo estão associadas com as áreas de pecuária na Planície Costeira da BHAP e uma pequena porção ao norte da bacia em estudo denominada Campos com Afloramentos não totaliza nem 1% do total da área, sendo campo nativo com afloramentos rochosos que estão localizados nas altitudes mais elevadas da área de estudo, acima dos 400 metros.

Analisando o mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, observa-se que cerca de 80% da área são usadas nas atividades agrícolas e de pecuária. Essas áreas na porção do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense se caracterizam por serem pequenas propriedades com cultivos mistos como: fumo, feijão, milho, batata, hortaliças, além de pomares de fruticultura como laranjeiras, pessegueiros e pecuária. Na Planície Costeira essas áreas caracterizam-se pelas lavouras de arroz em grandes propriedades e pecuária.

## Capítulo 5 – ANÁLISE DO MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

O mapa de fragilidade ambiental é um documento de síntese que expressa a conclusão de todo levantamento realizado na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. Através do cruzamento de informações dos mapas temáticos, pela álgebra de mapas (anexo 2) e a partir da classificação de cada uma de suas feições, de acordo com os graus de fragilidade para cada mapeamento e dos aspectos físicos e socioeconômicos da área de estudo, foi possível chegar ao resultado desse trabalho.

De acordo com Ross (1994), para a avaliação da fragilidade ambiental são consideradas a Fragilidade Potencial dos ambientes (Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial) e os graus de Fragilidade Emergente (Unidades Ecodinâmicas de Fragilidade Emergente), uma vez que o uso do solo intensifica a fragilidade potencial dos ambientes. Nesse trabalho foi considerada a fragilidade potencial dos tipos de solos, através do mapa de solos e da geomorfologia, através das classes de declividades. A fragilidade emergente foi caracterizada pelo tipo de uso do solo, tendo como resultado um único mapa síntese que mostra as classes de Fragilidade Ambiental. Os principais fatores considerados na avaliação da fragilidade ambiental são a geomorfologia e os tipos de solos.

A fragilidade ambiental de acordo com Ross (1994) está relacionada com os processos erosivos que se verificam nas áreas de agradação, como é caso da área de estudo no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. Portanto quando se fala de fragilidade ambiental, devem-se levar em consideração outros aspectos que não estão diretamente associados aos processos erosivos e sim aqueles que acontecem em áreas planas, como na porção da Planície Costeira na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, bem como nas planícies de inundação dos cursos d'água da bacia.

Esse outro aspecto da fragilidade ambiental abordado neste trabalho são os processos de inundação, que representam principalmente a fragilidade potencial dos ambientes da Planície Costeira. Para tanto, a fragilidade ambiental foi analisada quanto aos processos erosivos e também quanto aos ambientes, que, através de eventos climáticos extremos podem sofrer enxurradas e, muitas vezes, processos de inundação.

Quanto às classes de declividades mapeadas para a BHAP (quadro 18), observa-se que a classe predominante quanto aos graus de fragilidade é a Muito

Fraca, ocupando uma área de 52% do total da bacia, pois 22% da área total da BHAP referem-se à Planície Costeira, onde as declividades são inferiores a 6%. A classe Fraca soma um total de 21% da área. Nessas classes o relevo predominante varia de plano a suave ondulado. As demais classes de fragilidade potencial relacionadas às declividades na BHAP Média, Forte e Muito Forte totalizam 27% da área.

**Quadro 18** - Graus de Fragilidade das classes de declividade na BHAP e áreas ocupadas em hectares.

<b>Fragilidade (Declividades)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Muito Fraca	47511,37	52
Fraca	18866,44	21
Média	13864,71	15
Forte	7410,668	8
Muito Forte	3424,376	4

Elaboração: Érica I. Megiato, 2010.

Para os tipos de solos da BHAP (quadro 19), a classe predominante com relação aos graus de fragilidade potencial é a classe Fragilidade Média, somando um total de 57% da área de estudo. Essa classe é representada pelos Argissolos Bruno-acinzentado no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e pelos Planossolos Háplicos na Planície Costeira. A segunda classe mais representativa quanto aos tipos de solos é a classe de Fragilidade Forte, caracterizada pelos Argissolos-Vermelho-amarelo e pelos Cambissolos no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense representando um total de 22%. A classe Muito Forte ocupa 21% da área de estudo e é representada pelos Neossolos Litólicos e Afloramentos Rochosos.

**Quadro 19** – Graus de Fragilidade dos tipos de solos na BHAP e áreas ocupadas em hectares.

<b>Fragilidade (Solos)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Muito Fraca	-	-
Fraca	-	-
Média	52173,97	57
Forte	19988,56	22
Muito Forte	18919,06094	21

Elaboração: Érica I. Megiato, 2010.

O mapa de cobertura vegetal e uso do solo da BHAP mostrou que a classe predominante, com relação aos graus de fragilidade e proteção dos tipos de uso do solo e cobertura vegetal é a classe Fragilidade Média, ocupando 64% da área. Essa classe é representada pelo uso misto – agropecuária, por áreas com florestamento, principalmente na área do Planalto e algumas áreas de campo na Planície Costeira, os quais são utilizados para a pecuária. A classe Muito Fraca representa 14% da área total da bacia do Arroio Pelotas e é representada pela vegetação nativa que está preservada nessas áreas, essa classe apresenta grau de proteção Muito Alta. As classes, Forte e Muito Forte somam 19% do total da área e o tipo de uso nessas áreas é representado, principalmente, por porções onde o solo encontrava-se exposto na data da interpretação da imagem. São áreas que estão sendo preparadas para cultivo ou com solo exposto após a colheita.

Através de cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo foi possível identificar as áreas de Fragilidade Potencial e as áreas de Fragilidade Emergente. As áreas de Fragilidade Potencial representam 18% da área total da BHAP, são aquelas áreas onde a vegetação original encontra-se preservada. Já a Fragilidade Emergente está relacionada às áreas que sofrem com a ação antrópica, sendo 82% da área total da BHAP.

**Quadro 20** – Graus de Fragilidade e Proteção da cobertura vegetal e do uso do solo na BHAP e áreas ocupadas em hectares.

<b>Graus de Fragilidade (Uso do Solo)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Graus de Proteção (Cobertura vegetal)</b>
Muito Fraca	12983,10318	14	Muito Alta
Fraca	2528,180019	3	Alta
Média	57877,83491	64	Média
Forte	12784,91028	14	Baixa
Muito Forte	4907,567906	5	Muito Baixa

Elaboração: Érica I. Megiato, 2010.

No mapa de fragilidade ambiental da BHAP, que integra as áreas de fragilidade potencial e as áreas de fragilidade emergente, foram identificadas seis classes de Fragilidade Ambiental distintas na área de estudo, sendo mostrados no mapa em cores diferentes os graus de fragilidade associados aos processos erosivos e os graus de fragilidade associados a riscos de inundação na área de estudo (figura 13). Para a fragilidade associada aos processos erosivos foram identificadas três classes, Fragilidade Fraca, Fragilidade Média e Fragilidade Forte. Quanto à fragilidade associada aos processos de inundação, foram identificadas cinco classes distintas: Fragilidade Muito Fraca, Fragilidade Fraca, Fragilidade Média, Fragilidade Forte e Fragilidade Muito Forte.

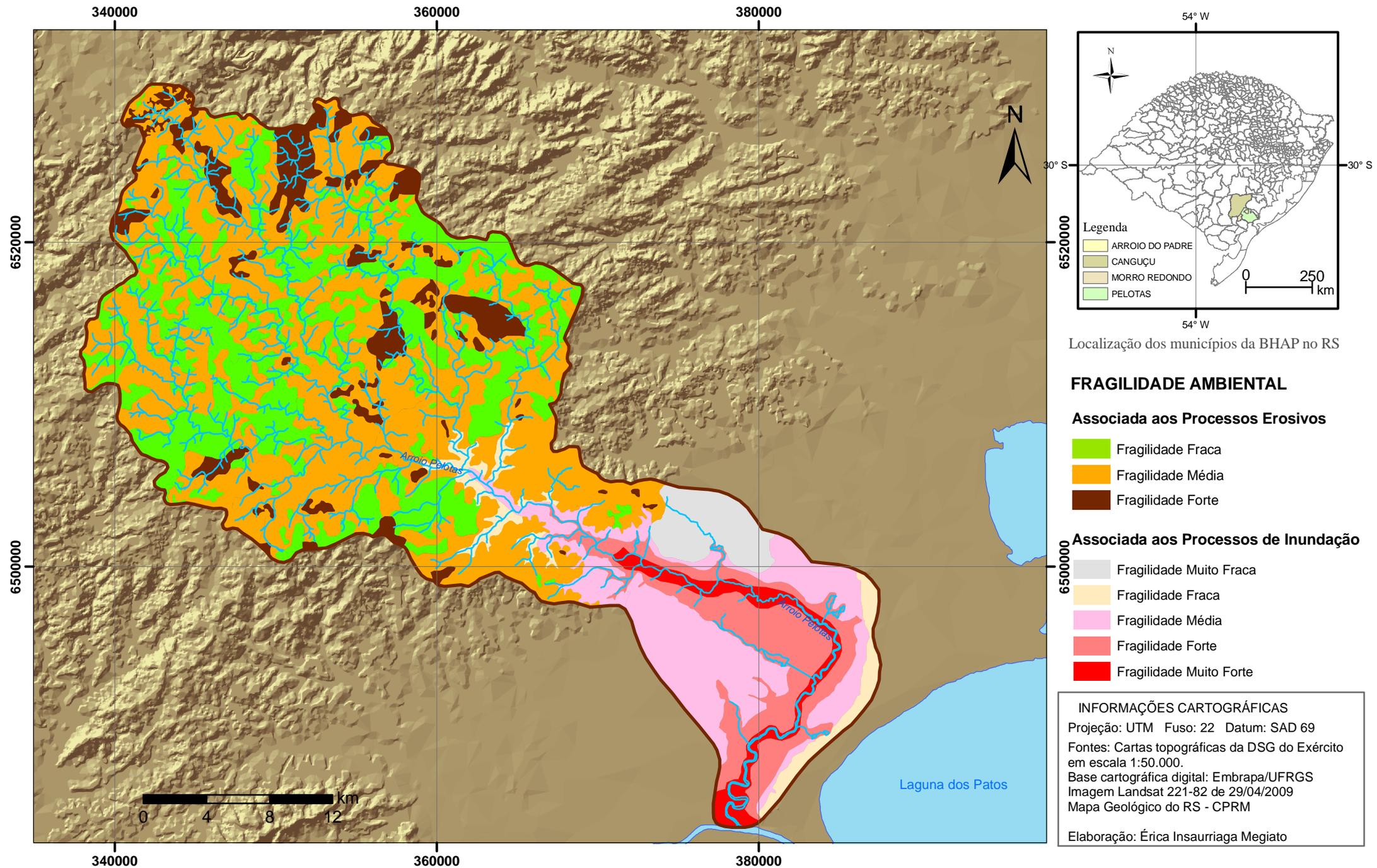


Figura 13 - Mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

Com relação aos processos erosivos, o mapa de fragilidade ambiental apresentou três classes de fragilidade distintas: Fraca, Média e Forte. As áreas que foram classificadas a partir do cruzamento das informações dos mapas temáticos como Fragilidade Fraca, são aquelas localizadas no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, incluindo as áreas de mata nativa, vegetação secundária e algumas áreas de campos que apresentam declividades fracas a fortes, com os tipos de solo predominantes sendo os Argissolos Bruno-acinzentado. A mata nativa nessas áreas localiza-se na margem dos cursos d'água da bacia, como mata ciliar e também nos topos e encostas dos Morros de Topos Convexos com Vertentes Suaves e dos Morros de Topos Convexos com Vertentes Íngremes, bem como nas áreas de Morros com Topos Planos e Colinas com Topos Convexos. Essa classe apresenta alto grau de proteção para os solos em relação aos processos erosivos causados pelo impacto das gotas das chuvas nos solos, ocupa 23% da área de estudo.

A classe Fragilidade Média relacionada aos processos erosivos foi identificada no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. São áreas com declividades médias predominantes, onde as formas de relevo são os Morros com Topos Convexos e Vertentes Suaves, as Colinas com Topos Convexos e os Morros com Topos Planos. Os tipos de solos que predominam são os Argissolos Bruno-acinzentado, Argissolos Vermelho-amarelo e pequenas porções onde ocorrem os Cambissolos. O tipo de uso do solo dessas áreas é misto, são pequenas propriedades com cultivos de fumo, feijão, batata, pastagens e pecuária, entre outros. Essas áreas ocupam 42% da área de estudo.

As áreas que apresentam fragilidade ambiental Forte relacionada aos processos erosivos localizam-se também no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. São áreas de declividades fortes a muito fortes, com tipos de solos predominantes sendo os Neossolos Litólicos associados com afloramentos rochosos e os Cambissolos. O tipo de uso do solo identificado para essa classe foram áreas com solo exposto e agropecuário (uso misto). Os principais fatores que caracterizam a fragilidade forte dessas áreas é a geomorfologia, sendo áreas com Morros com Topos Convexos e Vertentes Íngremes, onde as declividades são superiores à 20% e também os tipos de solos que ocorrem nessas áreas, os quais são suscetíveis à erosão. Essa classe representa 8% da área total da BHAP.

As áreas com fragilidade ambiental frente aos processos de inundação ocorrem nas áreas da Planície Costeira e nas áreas de Planície Fluvio-coluvionar no

Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e apresentam-se nas seguintes classes: Fragilidade Muito Fraca, Fragilidade Fraca, Fragilidade Média, Fragilidade Forte e Fragilidade Muito Forte.

A classe de Fragilidade Muito Fraca corresponde a uma área de Planície Lagunar que apresenta altitudes acima dos 20 metros. São áreas que possuem os Argissolos Vermelho-amarelo como os principais tipos de solos. Estes solos são bem drenados, o que caracteriza a fragilidade muito fraca em relação aos processos de inundação nessas áreas, outro fator importante para caracterização da classe é a altitude do terreno. Esta classe ocupa um total de 3% da área de estudo.

As áreas de planície, classificadas como de Fragilidade Fraca frente aos processos de inundação, correspondem às áreas de Planície Lagunar e as áreas de depósitos da Barreira Pleistocênica. São áreas que possuem altitudes que variam de 8 a 16 metros. Incluem as áreas de dunas com os tipos de solos sendo os Neossolos Quartzarênicos e também os Planossolos e Argissolos Bruno-acinzentados com características de drenagem que variam de mal drenados a moderadamente drenados. Esta classe ocupa 3% da área de estudo.

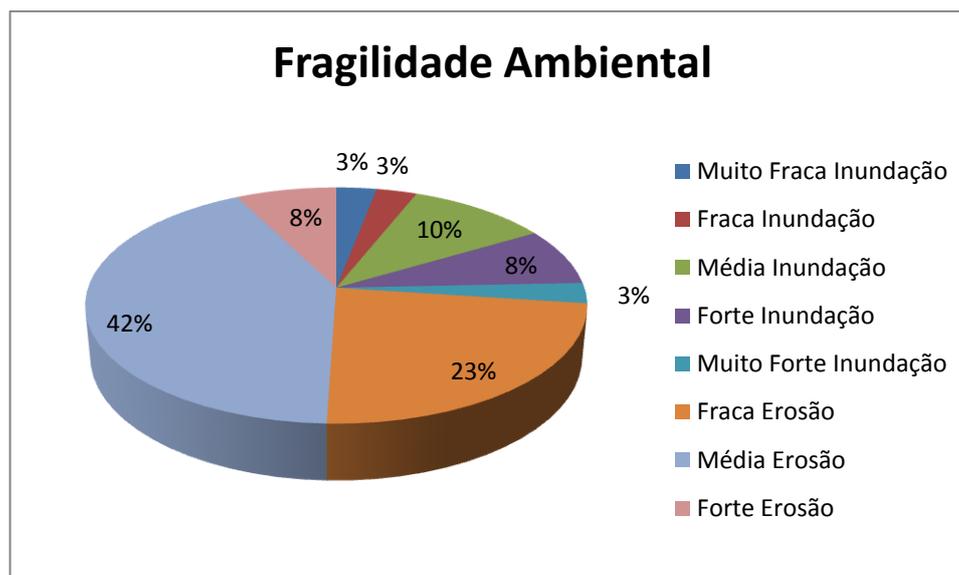
As áreas com Fragilidade Média associada aos riscos de inundação foram identificadas na Planície Costeira. São áreas planas, com declividades inferiores a 6% e com altitudes inferiores aos 20 metros. Quanto à geomorfologia, são áreas de Planície Lagunar e de Planície Lagunar e Eólica. O principal fator que caracteriza essas áreas quanto ao grau de fragilidade aos processos de inundação são os tipos de solos, os quais são associações de Planossolos Háplicos moderadamente drenados com Gleissolos mal drenados. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (1999), esses solos possuem textura argilosa no horizonte B, tornando o processo de drenagem desses solos lento, acumulando água na superfície. Devido suas características, esses solos são utilizados na área de estudo para o plantio de arroz, o que acaba tornando estes solos mais impermeáveis e alagadiços. Outro fator importante para a determinação dessa classe de fragilidade foi a geomorfologia, onde foram analisadas as feições geomorfológicas e as altitudes do terreno. Essa classe ocupa 10% da área da BHAP.

A classe de Fragilidade Forte com relação aos processos de inundação na bacia do Arroio Pelotas foi identificada na Planície Costeira em áreas de Planície Lagunar e no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense em áreas de Planície Fluvial do Arroio Pelotas e de alguns de seus tributários. São áreas com Planossolos Háplicos

moderadamente drenados e Gleissolos mal drenados, sendo áreas mais próximas às planícies de inundação dos cursos d'água e com altitudes inferiores as áreas com Fragilidade Média. Quanto ao uso do solo, essa classe é variada, sendo que na Planície Costeira são principalmente áreas com cultivos de arroz, áreas de campo com pecuária e áreas urbanizadas. Já no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense o tipo de uso de solo dessas áreas são, a agropecuária, campos, florestamento e áreas com solo exposto. Essa classe representa 8% da área de estudo.

A classe de fragilidade Muito Forte também foi identificada nos dois compartimentos morfoesculturais da BHAP. São áreas de Planície Flúvio Lagunar na Planície Costeira e áreas de Planície Fluvial no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. São as áreas mais próximas aos cursos d'água, caracterizadas por serem planícies de inundação dos mesmos em períodos de cheia. Os tipos de solos dessas áreas são principalmente associações de Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Planossolos mal drenados. Quanto aos tipos de uso de solo e cobertura vegetal, essas áreas incluem a mata ciliar ao redor dos cursos d'água, áreas de banhados, áreas de plantio de arroz, campos com pecuária, além de áreas urbanizadas, como é o caso de residências de classe média e alta localizadas às margens do Arroio Pelotas. A respectiva classe ocupa 3% do total da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

Portanto a fragilidade ambiental na BHAP inclui os processos relacionados à erosão dos solos e também aqueles processos de fragilidade potencial dos ambientes, que associados a eventos climáticos extremos, podem ocasionar processos de inundação nas áreas planas da bacia. O gráfico 7 ilustra a soma das classes de fragilidade do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e da Planície Costeira, levando em consideração os dois fatores utilizados para a avaliação da fragilidade ambiental na área: a erosão e a inundação.



**Gráfico 7** – Distribuição das classes de Fragilidade Ambiental na BHAP.

Elaboração: Érica I. Megiato (2010).

O mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas permitiu a visualização das diferentes classes ou graus de fragilidade dos compartimentos da bacia, possibilitando uma avaliação dos seus aspectos físicos e socioeconômicos.

As classes de Fragilidade Fraca e Muito Fraca na área de estudo representam um total de 29% da área da BHAP e são representadas no Escudo Sul-rio-grandense por áreas com vegetação nativa preservada; áreas com declividades muito fracas a fracas e também aquelas cobertas por mata nativa em topos de morros com declividades médias a fortes, bem como as áreas na Planície Costeira que estão menos suscetíveis aos processos de inundação pelas características do relevo e dos tipos de solo. Essas áreas podem ser usadas para atividades socioeconômicas, para alguns tipos de uso, uma vez que sejam respeitadas as áreas de preservação permanente (APP) ao redor dos cursos d'água e em topos de morros. Essas áreas podem ser utilizadas para atividades turísticas mantendo a vegetação nativa preservada.

Observa-se que 52% da área de estudo possuem Fragilidade Média, podendo ser feito o uso dessas áreas para as atividades agropecuárias e socioeconômicas, uma vez que se utilizem técnicas adequadas para manejo e conservação dessas áreas.

A Fragilidade Forte ocupa 16% da área de estudo e nessas áreas o uso do solo deve ser restrito, respeitando a fragilidade potencial desses ambientes. Tais áreas estão associadas à fragilidade aos processos de inundação na Planície Costeira e as áreas frágeis relacionadas aos processos erosivos no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense. O que caracteriza essas áreas quanto à fragilidade ambiental são os aspectos relacionados à geomorfologia; sendo áreas com fortes declividades no Escudo Sul-rio-grandense, com tipos de solos suscetíveis a erosão, como os Argissolos Vermelho-amarelos. Já na Planície Costeira, as características que fazem com que essas áreas apresentem Fragilidade Fraca quanto aos processos erosivos, fazem com que sejam caracterizadas como áreas de Fragilidade Forte em relação aos processos de inundação; por serem áreas planas com solos suscetíveis ao acúmulo de água no perfil.

As áreas de Fragilidade Muito Forte ocupam 3% da área total da BHAP. São áreas extremamente frágeis, principalmente pelas características físicas desses ambientes como a geomorfologia, a hidrografia e o sistema de drenagem dos tipos de solos que compõem essas áreas. Essa classe representa as áreas de planícies de inundação dos cursos d'água na bacia, áreas que encontram-se temporariamente alagadas, sendo muito frágeis em relação aos processos de inundação que podem ocorrer eventualmente.

A análise e mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, pode ser utilizada como um instrumento para o desenvolvimento das atividades socioeconômicas na área de estudo. Podendo ser feito, a partir da carta de fragilidade ambiental o ordenamento territorial dessas áreas. A partir dessa espacialização dos dados, pode-se buscar o manejo adequado para as áreas com maiores graus de fragilidade e o uso racional das áreas de menor fragilidade, com o intuito de manter o equilíbrio dinâmico desses ambientes, explorando as potencialidades e atentando para as fragilidades da área de estudo.

## 6. Considerações Finais

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas tem um histórico de ocupação marcado pela exploração econômica de seus recursos naturais. Nas margens do Arroio Pelotas, onde se iniciou o município de Pelotas com a atividade pecuarista para produção e comércio do charque, bem como na área rural dos municípios que envolvem a área de estudo, se pratica a agricultura e agropecuária as margens dos cursos d'água da bacia a mais de um século.

Observou-se no decorrer desse estudo, que diversas áreas da bacia hidrográfica apresentam graus de fragilidade potencial alta, ou seja, o ambiente natural nessas áreas é frágil face às características do meio físico. No Escudo Sul-rio-grandense, o próprio substrato rochoso e a geomorfologia em diversas áreas proporcionaram a formação de solos frágeis, suscetíveis aos processos erosivos pela sua fraca estrutura e composição mineralógica. As altas declividades nessas áreas aceleram ainda mais os processos erosivos, removendo a camada superficial dos solos e assoreando os leitos dos corpos d'água.

Constataram-se também áreas onde a fragilidade é emergente, pois o uso do solo que é feito dessas áreas proporciona um grau de fragilidade ainda maior aos ambientes. Um exemplo da fragilidade emergente que acontece na área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é a devastação das matas ciliares e das áreas de preservação permanente nos topos de morros em determinadas porções da BHAP. Através de trabalho de campo, pode-se averiguar esse tipo de prática na área de abrangência deste estudo. A retirada da mata nativa acelera os processos erosivos, fragilizam a estrutura do ambiente a partir da retirada de raízes que sustentavam uma determinada porção de terra e em situações de eventos climáticos extremos, como foi mostrado no trabalho, acaba causando um efeito dominó, arrastando através das enxurradas o pouco de mata ciliar que ainda restou.

Outra ação antrópica na área, responsável pelos graus de fragilidade emergente altos na área da BHAP são as práticas agrícolas não conservacionistas, como o plantio em áreas de declividades acentuadas, o solo exposto pelo arado e a substituição da mata nativa por espécies exóticas, principalmente nas áreas de APPs. Essas ações são responsáveis por aumentar o grau de fragilidade ambiental de áreas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

Através dos mapeamentos realizados nesse trabalho, foi possível visualizar e localizar os aspectos físicos e socioeconômicos na área de estudo. Esses mapas elaborados em ambiente SIG possibilitaram a análise e quantificação das respectivas áreas. A partir de uma base cartográfica digital em um sistema de informações geográficas pode-se elaborar uma série de mapas temáticos utilizados no cruzamento de informações para a geração do mapa de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

Pode-se constatar através dos mapas temáticos que os aspectos geológicos e geomorfológicos predominantes na área de estudo são aqueles que têm como morfoestrutura o Escudo Sul-rio-grandense e morfoescultura o Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, totalizando 78% da área total da bacia, enquanto 22% da BHAP insere-se no contexto da Bacia Sedimentar de Pelotas, tendo a Planície Costeira como unidade morfoescultural.

Os tipos de solos predominantes na área de estudo são os Argissolos, solos que possuem forte suscetibilidade aos processos erosivos. Esses solos encontram-se em sua maioria no Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, por vezes, associados a afloramentos rochosos e Neossolos Litólicos. Na Planície Costeira predominam os Planossolos associados aos Gleissolos, esses tipos de solos são utilizados para o plantio de arroz por serem solos mal drenados, os quais acumulam água na superfície, sendo favoráveis para o cultivo do arroz irrigado na região.

Deve-se ressaltar que nas áreas planas da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, como é o caso da porção que se insere na Planície Costeira, possuem fragilidade potencial forte. Essas áreas possuem altitudes pouco acima do nível do mar, além de apresentarem os tipos de solos favoráveis ao acúmulo de água como os Planossolos Hidromórficos e os Gleissolos. São áreas que podem sofrer processos de inundação decorrentes de enchentes sazonais, causadas por fenômenos ou eventos climáticos extremos. O município de Pelotas possui um histórico de enchentes com danos materiais e humanos. A ocupação dessas áreas, principalmente aquelas localizadas nas planícies de inundação dos cursos d'água são fatores que podem proporcionar riscos às populações locais.

No trabalho proposto por Ross (1994) os graus de fragilidade ambiental são considerados em relação aos processos erosivos e, portanto, as áreas de maior fragilidade para o autor são aquelas com altas declividades, solos suscetíveis à erosão e pelos tipos de uso do solo e cobertura vegetal. No presente trabalho sentiu-

se a necessidade de incluir as áreas planas no estudo da fragilidade ambiental, considerando que nessas áreas podem ocorrer processos de inundação e enchentes por serem áreas de baixa altitude, planas e próximas aos cursos d'água.

O mapa de fragilidade da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas apresentou as classes de fragilidade: Muito Fraca, Média, Forte e Muito Forte. A fragilidade Muito Fraca ocupa uma porção de 3% da área de estudo, a fragilidade Fraca ocupa 26%, a fragilidade Média 52%, a classe de fragilidade Forte ocupa 16% da área total da BHAP e a fragilidade Muito Forte representa 3% da área da bacia.

O mapa de fragilidade ambiental é um instrumento que pode ser utilizado posteriormente em estudos de planejamento ambiental e ordenamento territorial na área de estudo. O mapa em escala 1:50.000 é um produto apresentado em escala regional, devido as dimensões da bacia hidrográfica em estudo. Pretende-se posteriormente estudar com maior detalhamento os diversos compartimentos da bacia do Arroio Pelotas, através do mapeamento das microbacias da BHAP em escala mais detalhada.

O mapeamento temático, através das ferramentas do geoprocessamento e a análise integrada dos aspectos físicos e humanos da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas permitiram a elaboração de um produto síntese, que é o mapa de fragilidade ambiental, mostrando os graus de fragilidade dos compartimentos da bacia hidrográfica em estudo. Deve-se, portanto, atentar para as classes de fragilidade Forte e Muito Forte, para que medidas mitigadoras sejam utilizadas e mais estudos detalhados possam ser feitos dessas áreas, no intuito de adequar os tipos de uso do solo. Quanto às classes de fragilidade Fraca e Média, deve-se procurar o uso racional dos recursos naturais e manejo do solo adequado, para que não aumente o grau de fragilidade dos ambientes que estão inseridos nessas áreas.

## 7. Referencias Bibliográficas

AIRES, SLS. **Mapeamento Geológico-Geomorfológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul nos Municípios de Pelotas e Turuçu: uma proposta de classificação unificada.** Trabalho de Especialização em Geografia. Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2008. p. 55.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura.** 2. ed, Brasília. Editora da Embrapa: Embrapa SPI/ Embrapa-CPAC, 1998.

BASSO, L. A. Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul: implicações ambientais. In: **Rio Grande do Sul. Paisagens e Territórios em Transformação.** VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (orgs). Editora: Universidade/UFRGS, 2004. p. 319.

BASSO, L. A. Desenvolvimento sustentável e qualidade ambiental das cidades. In: **Ambiente e Lugar no Urbano. A Grande Porto Alegre.** SUERTEGARAY, D. M. A.; BASSO, L. A.; VERDUM, R. (orgs.). Editora: Universidade/UFRGS, 2000. p. 239.

BELTRAME, Â.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis, Ed. da UFSC, 1994.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral de Sistemas.** 4 ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

BERTARAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico.** In: Caderno de Ciências da Terra. IGEO. USP, SP. 1971.

BOHAM CARTER, G. F. **Geographie Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS.** Canada: Pergamon, 1994

BOTELHO, R. G. & SILVA, A. S. (2004). Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A C. & GUERRA, A J. T. (orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand. P. 153-192.

BRUCH, A. F. **Análise Sócio Ambiental da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã, RS.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 172 p.

CHEMALE, F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: **Geologia do Rio Grande do Sul.** HOLZ, M.; ROS, L. F. (editores). Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. 444 p.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Campinas/SP: IG/UNICAMP, 1993. 170 p.

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da; SEVERO, C. R. S.; SOARES, M. J.; COSTA, C. N.; NUNES, M. L. **Estudo dos solos do município de Canguçu**. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT, Ed. UFPel, 1997b. 90p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 31/97).

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da; SEVERO, C. R. S. **Estudo dos solos do município de Morro Redondo**. Pelotas, RS. EMBRAPA-CPACT, 1996d. 28p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 23/96).

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da. **Estudo dos solos do município de Pelotas**. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT, 1996b. 54p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 12).

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: **Geomorfologia e meio ambiente**. GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 372 p.

CUNHA, S.B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 3 ed. 1998.

CUNHA, S. B. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T.. (Org.). **A Questão Ambiental**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 2003, p. 219-238.

DIAS, E. J.; GÓES, M. H. B.; SILVA, J. X.; GOMES, O. V. O. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: O caso do município de Volta Redonda – RJ. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 366 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999, 306p.

FERNANDES, L.A.D., MENEGAT, R., COSTA, A.F.U., KOESTER, E., PORCHER, C.C., TOMMASI, A., KRAEMER, G., RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO, E. **Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: parte I – uma contribuição a partir do registro geológico**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.25, n. 4, p.351-374, 1995.

FITZ, P. R. **Metodologia para a realização de zoneamentos de culturas diversas utilizando as técnicas do geoprocessamento – um exemplo de caso: o trigo no Estado do Rio Grande do Sul**. In: Boletim Gaúcho de Geografia nº 25, 1999. pp. 167-182.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. FLORENZANO, T. G. (org). São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FUJIMOTO, N. S. V. M. **Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre - RS:Sub- Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio**. Tese de

Doutoramento, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2001. 236p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. D. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.

GUTIERREZ, E. J. B. **Negros, charqueadas e olarias: um estudo sobre o espaço pelotense**. 2 ed. Pelotas. Editora Universitária/ UFPEL, 2001. 250 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 8 out 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em 20 de dezembro de 2009.

MARTH, Jonathan Duarte ; KOESTER, Edinei ; ARNDT, Arthur Lacerda. **Mapa Geológico-Geomorfológico do município de Pelotas**. In: Anais do XVII CIC e X ENPOS - Conhecimento sem fronteiras. Pelotas, UFPEL, 2008.

MEGIATO, É. I. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS**. Trabalho de Graduação. Geografia UFPEL, 2007. 86 p.

NASCIMENTO, F. R.; SAMPAIO, J. L. F. **Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem**. *Revista da Casa de Geografia de Sobral*. Sobral, v. 6/7, n.1, p.167-179, 2004/2005. Disponível em: <[http://www.uvanet.br/rcg/artigos/geografia\\_fisica.pdf](http://www.uvanet.br/rcg/artigos/geografia_fisica.pdf)> Acesso em 10 jan. 2008, 23:00.

OLIVEIRA, L.; MACHADO, L. M. C. P. Percepção, cognição, dimensão ambiental e desenvolvimento com sustentabilidade. In: **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. VITTE, C. A.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

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

RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** – PLGB: Pedro Osório. SH 22-Y-C. Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:250.000. Brasília. CPRM, 2000.

REBOUÇAS, A. D. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: **Águas doces no Brasil. Capital ecológico e conservação**. REBOUÇAS, A. D. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (orgs.) 3. Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748 p.

ROHDE, G. M. Estudos de impacto ambiental: a situação brasileira em 2000. In: **RIMA. Relatório de Impacto Ambiental. Legislação, elaboração e resultados**. Verdum, R.; Medeiros, R. M. V. (orgs). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia, 8, FFCCH/ USP. SP. 1994.

ROSS, J. L. Geomorfologia aplicada aos EIA-RIMAs. In: **Geomorfologia e meio ambiente**. GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 372 p.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J.L.S. **O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. In: Revista Dep. Geografia, São Paulo, nº 6, FFLCH-USP, 1992.

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1. 208 p.

SANEP-Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. Disponível em: <[http://www.pelotas.com.br/sanep/agua/tratamento\\_sinnott.htm](http://www.pelotas.com.br/sanep/agua/tratamento_sinnott.htm)>Acesso em 15 dez. 2007, 22:00.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. In: **Ambiente e Lugar no Urbano. A Grande Porto Alegre**. Suertegaray, D. M. A.; Basso, L. A.; Verdum, R. (orgs.). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

SUERTEGARAY, D. M. A.; FUJIMOTO, 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.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 91 p.

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS, INSTITUTO TÉCNICO DE PESQUISA E ASSESSORIA. **Banco de Dados da Zona Sul - RS**. ITEPA, Pelotas: EDUCAT, 2007. 186 p.

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

## **ANEXO 1 – Álgebra de Mapas**

```

//Exemplo de cruzamento entre 3 planos temáticos
{
//Definindo as variáveis e suas categorias
Tematico SOLO("SOLO"), DECLIVIDADE("DECLIVIDADE"), VEGETACAO("VEGETACAO"),
FRAGILIDADE("FRAGILIDADE");

//Recuperando planos
SOLO=Recupere (Nome = "SOLO");
DECLIVIDADE=Recupere (Nome = "DECLIVIDADE")
VEGETACAO=Recupere (Nome = "VEGETACAO")

//Criando novo plano
FRAGILIDADE= Novo (Nome="FRAGILIDADE", Escala=50000);

//Definindo as relações entre classes
FRAGILIDADE = Atribua (Categoria = "FRAGILIDADE")

{
"1": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"1": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"1": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"2": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "5" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "5" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "5" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"3": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "5" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"4": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "5" && VEGETACAO.Classe == "1"),
"1": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "1" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "2" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "3" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "4" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "5" && DECLIVIDADE.Classe == "3" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"2": (SOLO.Classe == "1" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "2"),
"3": (SOLO.Classe == "2" && DECLIVIDADE.Classe == "4" && VEGETACAO.Classe == "2"),
}

```





**Anexo 2 – Normais Climatológicas**

Normais Climatológicas - Período: 1971/2000 (Decendial)

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

Anos	Jan			Fev			Mar			Abr			Mai			Jun		
	I	II	III															
Temperatura Média (°C)	23,0	23,2	23,5	23,1	23,0	23,0	22,7	21,7	20,7	19,4	18,4	17,7	16,1	15,4	14,1	12,6	12,6	12,1
Temperatura Média das Mínimas (°C)	18,7	19,1	19,6	19,0	19,2	19,1	18,8	17,8	16,4	15,1	14,4	13,8	11,9	11,5	10,1	8,9	8,8	8,3
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	10,0	10,5	10,2	11,8	10,4	9,8	10,0	10,2	5,0	5,0	2,7	4,2	2,2	2,0	1,2	-1,0	-2,6	-3,0
Temperatura Média das Máximas (°C)	27,6	28,3	28,5	28,0	27,8	28,1	27,8	26,7	26,2	24,9	23,8	23,2	22,0	20,9	19,6	17,9	18,0	17,5
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	36,8	36,4	39,0	36,5	35,8	35,4	36,6	35,5	37,4	35,1	34,2	33,2	31,6	31,5	30,8	28,5	29,4	27,6
Precipitação Pluviométrica (mm)	30,9	38,7	49,5	56,6	61,9	34,8	33,6	27,7	36,1	25,1	55,3	20,0	25,4	31,0	44,3	35,2	33,1	37,4
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	79,6	78,8	82,0	97,6	188,2	121,8	57,2	53,2	126,8	53,8	134,0	53,6	60,6	86,0	73,2	95,0	66,0	87,2
Número de Dias de Precipitação	3,0	4,1	4,6	4,2	4,2	3,1	3,6	3,2	3,5	2,7	3,6	2,6	2,6	3,1	3,5	3,7	3,4	3,4
Umidade Relativa (%)	76,9	76,9	78,2	78,8	80,1	80,8	80,1	81,1	80,3	80,8	82,5	83,5	82,5	84,5	83,8	84,0	84,1	83,9
Evaporação Tanque Classe "A" (mm)	68,2	66,5	70,5	61,2	56,4	45,0	53,0	47,5	48,8	40,8	34,5	30,7	26,8	21,2	23,9	19,2	18,8	18,5
Evaporação Piche (mm)	54,0	52,9	54,5	47,1	42,8	34,1	42,1	39,9	41,8	35,3	31,1	29,0	27,0	22,9	24,7	20,0	20,7	20,4
Evapotranspiração Potencial (mm)	49,4	49,4	53,0	45,0	42,2	32,6	38,8	35,2	35,6	28,1	23,5	21,7	18,6	15,7	15,8	12,2	12,0	11,9
Insolação Total (horas e décimos)	84,1	82,7	84,4	74,7	70,6	59,4	70,8	68,7	73,5	66,0	60,5	63,0	61,6	55,1	61,0	48,2	46,6	46,4
Radiação Solar Global (cal.cm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	513,4	508,1	475,3	460,1	431,1	424,3	403,0	379,1	352,4	328,2	287,9	275,5	251,4	219,9	207,5	190,1	182,2	179,7
Nebulosidade (0-10)	5,9	5,7	6,3	6,3	6,6	6,0	6,0	5,6	5,5	5,4	5,8	5,8	5,5	6,1	6,0	6,1	6,2	6,2
Pressão Barométrica (mb)	1011,7	1011,4	1011,2	1012,2	1013,0	1012,9	1013,6	1013,7	1014,2	1015,0	1014,5	1016,0	1016,4	1016,2	1016,9	1017,4	1017,7	1016,9
Velocidade Média do Vento (m.s <sup>-1</sup> )	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,3	3,3	3,2	3,0	3,1	3,0	2,9	2,6	2,7	2,7	2,6	2,9	2,7
Direção Predominante do Vento	E	NE	E	E	E	E	E	E	E	NE	NE	NE	SW	SW	SW	SW	NE	NE
Velocidade Máxima do Vento (m.s <sup>-1</sup> )	20,2	23,0	19,0	22,5	25,2	24,2	22,3	21,5	25,0	19,0	25,5	25,0	23,4	23,5	20,0	21,1	22,8	26,0
Direção do Vento na Velocidade Máxima	W	S	SW	S	S	W	SW	W	SW	NE/E	SW	S	SW	NE	W	W	NE	S
Número de Dias de Geadas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,3	2,1	2,3
Número de Dias de Granizo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Número de Dias de Orvalho	4,0	3,6	3,1	4,2	3,9	3,4	4,3	3,9	4,2	3,5	3,7	2,8	3,1	2,2	2,1	1,4	1,5	2,0
Número de Dias de Neveiro	0,8	0,7	0,7	0,7	1,0	1,3	1,7	1,8	2,5	3,3	3,0	3,8	3,0	3,8	3,5	3,0	3,2	2,6

Normais Climatológicas - Período: 1971/2000 (Decendial)

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

Anos	Jul			Ago			Set			Out			Nov			Dez		
	I	II	III															
Temperatura Média (°C)	12,2	12,0	12,5	12,9	13,1	14,2	14,0	15,1	15,7	16,5	17,4	18,6	18,9	19,7	20,2	21,3	22,0	22,5
Temperatura Média das Mínimas (°C)	8,5	8,2	9,0	9,3	9,0	10,2	10,0	11,5	12,1	12,8	13,3	14,7	14,8	15,4	15,5	16,9	17,6	18,4
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	-0,4	-2,7	-1,0	-1,0	-0,8	0,0	0,2	2,8	2,0	2,6	3,4	4,0	6,0	6,3	7,6	7,9	8,8	9,0
Temperatura Média das Máximas (°C)	17,4	17,5	17,5	18,0	18,4	19,2	19,1	19,5	20,1	20,9	22,2	23,2	23,7	24,8	25,4	26,5	27,3	27,4
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	29,6	30,4	31,8	31,0	33,0	32,5	32,5	35,6	35,6	32,0	34,4	34,2	36,4	39,2	35,6	36,4	37,4	39,6
Precipitação Pluviométrica (mm)	43,3	53,6	49,1	44,6	21,6	51,2	34,2	48,7	40,8	34,0	33,2	33,4	34,0	35,3	30,2	30,8	38,3	34,0
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	76,0	109,8	88,0	81,6	67,8	92,2	60,8	70,0	92,0	74,4	71,4	74,7	66,0	81,6	80,0	89,4	86,4	152,0
Número de Dias de Precipitação	4,0	3,4	4,0	3,5	2,9	3,4	3,0	4,1	3,7	3,5	3,2	3,9	3,9	3,1	3,0	3,3	2,8	3,4
Umidade Relativa (%)	85,4	84,8	84,6	84,9	82,3	82,6	80,7	83,3	81,4	80,6	78,7	79,0	77,4	75,7	74,9	75,3	75,1	76,0
Evaporação Tanque Classe "A" (mm)	17,9	21,1	22,9	19,9	25,6	31,5	32,9	32,2	35,7	40,4	48,3	55,3	55,1	59,3	65,7	67,9	69,9	78,1
Evaporação Piche (mm)	19,4	20,9	23,5	21,8	26,1	30,5	32,8	29,5	34,5	36,8	41,8	47,7	46,1	50,5	53,2	53,6	54,9	60,5
Evapotranspiração Potencial (mm)	11,6	12,4	15,0	14,4	17,6	21,1	22,4	22,9	26,3	29,2	34,0	39,3	39,3	43,6	45,9	48,3	49,4	54,0
Insolação Total (horas e décimos)	44,6	48,8	52,8	47,3	57,0	56,5	59,1	48,0	54,4	58,3	66,7	74,7	69,9	80,2	84,4	86,8	86,0	92,4
Radiação Solar Global (cal.cm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	175,9	193,3	199,8	210,8	251,5	252,9	292,8	281,5	323,3	348,6	393,5	412,8	437,1	487,4	510,0	527,5	526,4	518,9
Nebulosidade (0-10)	6,3	6,3	6,8	6,8	5,9	6,7	5,8	6,8	6,7	6,6	6,1	6,4	6,0	5,9	5,5	5,4	5,8	5,8
Pressão Barométrica (mb)	1018,6	1018,6	1018,5	1018,4	1019,1	1017,3	1018,3	1017,0	1017,9	1016,4	1015,4	1014,5	1013,7	1013,4	1012,4	1011,9	1010,7	1011,8
Velocidade Média do Vento (m.s <sup>-1</sup> )	2,9	2,9	3,2	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,1	3,9	4,0	4,1
Direção Predominante do Vento	NE	NE	SW	SW	NE	NE	NE	E	NE	E	NE	E	NE	E	E	E	E	E
Velocidade Máxima do Vento (m.s <sup>-1</sup> )	23,0	21,2	19,0	25,3	23,0	28,0	30,0	27,0	25,4	27,2	24,1	25,0	23,7	25,8	26,2	27,2	24,7	23,0
Direção do Vento na Velocidade Máxima	SW	W	SW	NE	W	NE	NE	NE	NE	NE	W	SW	NE	NE	SW	SW	SW	S
Número de Dias de Geadas	1,9	2,1	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	0,6	0,7	0,5	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Número de Dias de Granizo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
Número de Dias de Orvalho	1,1	1,5	1,4	1,4	2,3	1,9	1,9	2,4	2,0	2,5	3,4	3,2	3,1	3,5	3,8	3,7	4,1	3,8
Número de Dias de Nevoeiro	3,7	2,5	3,3	3,3	2,9	3,7	2,2	1,7	1,3	1,3	1,0	1,1	0,7	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8