

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA
DO ARROIO SANTA ISABEL, RS**

JONATHAN DUARTE MARTH

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Nina Simone Vilaverde Moura

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Edinei Koester

PORTO ALEGRE, MARÇO DE 2012

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

**ANÁLISE DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA
DO ARROIO SANTA ISABEL, RS**

JONATHAN DUARTE MARTH

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nina Simone Vilaverde Moura

Co-Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross (PPG em Geografia/USP)
Prof. Dr. Luís Alberto Basso (PPG em Geografia/UFRGS)
Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer (PPG em Geografia/UFRGS)

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

PORTO ALEGRE, MARÇO DE 2012

CIP - Catalogação na Publicação

Marth, Jonathan Duarte

ANÁLISE DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA ISABEL, RS / Jonathan
Duarte Marth. -- 2012.

141 f.

Orientadora: Nina Simone Vilaverde Moura.

Coorientador: Edinei Koester.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre,
BR-RS, 2012.

1. bacia hidrográfica. 2. Fragilidades. 3. Arroio
Santa Isabel. 4. Inundações. 5. Erosão. I. Moura,
Nina Simone Vilaverde, orient. II. Koester, Edinei,
coorient. III. Título.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao Programa de Pós Graduação em Geografia, pelo ensino de qualidade, estrutura disponibilizada e pela oportunidade de aprendizado e suporte no desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade da bolsa de pós-graduação, que auxiliou muito nesta pesquisa.

À minha família por todo o apoio e compreensão pela minha ausência desde o período de graduação, especialmente meus pais que me educaram e me ensinaram tantas coisas.

À minha noiva e futura esposa, pelo apoio, amor e dedicação.

Aos amigos, que de alguma forma contribuíram nesta caminhada, especialmente ao Anderson Peter, que tantas vezes me conseguiu material ou me auxiliou com discussões sobre a Geografia.

Agradeço a minha orientadora pelos ensinamentos no decorrer do mestrado e parceria no desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu Co-orientador, pela disponibilidade nos trabalhos de campo e pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao amigo prof. Alexandre Felipe Bruch pelas tantas vezes que me ajudou seja me emprestando material, disponibilizando espaço para trabalhar ou até mesmo conversando sobre minhas dúvidas.

A todos que por ventura não foram citados, muito obrigado.

Um sonho que se sonha só, é só um sonho que se sonha só,
mas sonho que se sonha junto é realidade.(Raul Seixas, 1974)

Resumo

O estudo consistiu em uma pesquisa ambiental visando o mapeamento e análise das fragilidades do ambiente na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Santa Isabel (SbHASI), baseando-se na metodologia de Ross (1994). A Bacia situa-se na região sul do Rio Grande do Sul, nos municípios de São Lourenço do Sul e Cristal, com uma área de aproximadamente 294 km², essencialmente relacionada às atividades do espaço rural. Nesta região são comuns as inundações decorrentes de precipitações acumuladas e eventos extremos, além de processos erosivos decorrentes de características do ambiente e do uso intenso dos solos através de atividades como agricultura e pecuária. A análise ambiental dividiu-se em diferentes etapas: caracterização de elementos do meio físico no âmbito regional; mapeamento e caracterização das principais unidades geológicas; mapeamento geomorfológico (padrão de formas semelhantes); análise das características pedológicas e mapeamento dos solos; resgate e análise do processo histórico de ocupação da área de estudo e arredores; análise da evolução da cobertura vegetal e usos da terra através de imagens de satélite dos anos de 1987, 1995 e 2010. A área de estudo está inserida em duas unidades morfoesculturais do RS: a morfoescultura Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense constituída de rochas do pré-cambriano, tendo um relevo colinoso, com altitude máxima de 205 m, composto principalmente por Argissolos e Neossolos; a morfoescultura Planície e Terras Baixas Costeiras é constituída por sedimentos quaternários da Planície Costeira, esta possui baixas declividades e é composta basicamente por Planossolos e Gleissolos. A ocupação da área de estudo está diretamente relacionada ao relevo, tendo sido ocupada primeiramente pelos portugueses, nas áreas de planície através do sistema de sesmarias, adquirindo grandes propriedades, que hoje estão associadas ao plantio de arroz e soja e à pecuária. Em um segundo momento de ocupação (a partir de 1850), os imigrantes Pomeranos adquiriram pequenas propriedades nas áreas do planalto, que atualmente está associada ao plantio de fumo, de milho e agricultura de subsistência. Ao final da pesquisa dividiu-se a área de estudo em sistema de vertentes e interflúvios e em sistema fluvial, para entendimento das fragilidades referentes à erosão e inundação respectivamente. No setor de vertentes e interflúvios foram encontradas três classes hierárquicas de fragilidade: Fraca (34,26%), média (61,26%) e forte (4,51%). No sistema fluvial foram encontradas cinco classes hierárquicas de fragilidade: muito fraca (21,52 %), fraca (4,43 %), média (35,56 %), forte (13,39 %) e muito forte (25,10 %), sendo constatada influência antrópica nas fragilidades de ambos os sistemas. A metodologia demonstrou ser um importante instrumento de ordenamento territorial, condizendo com a realidade encontrada nos trabalhos de campo.

Palavras Chaves: bacia hidrográfica. Fragilidades. Arroio Santa Isabel. Inundações. Erosão.

Abstract

This study consisted of an environmental research aiming at mapping and analysis of the weaknesses of the sub-watershed of the Santa Isabel brook (SbHASI), based on Ross methodology (1994). The watershed is located in the Rio Grande do Sul- RS southern region, at São Lourenço do Sul and Cristal counties, with a totally rural area of about 294 km². Floods due to extreme events and accumulated rain are very common in this region, adding erosive processes due to environmental characteristics and from the intensive soil usage through agriculture and livestock activities. The environmental analysis were divided in different stages: characterization of the regional physical medium; mapping and characterization of the main geological units; geomorphological mapping (similar shape pattern); pedological characteristics analysis and soil mapping; recovery and analysis of the historical process of occupation of the study area and vicinity; analysis of the evolution of land cover and land usage through satellite images of the years 1987, 1995 and 2010. The studied area is included in two morfosculptural units from RS. The Uruguaio Sul-rio-grandense plateau is made of precambrian rocks, with a hilly topography, and a 205 m maximum height, composed basically by Argisols and Neosols. The morfosculpture Plain and coastal lowland is made of quaternaries sediments from Coastal plain, presenting low declivity and composed by planosols and gleysols. The studied area occupation is directly related to the topography, had been first occupied by the portugueses, in the plain areas through the sesmarias system, acquiring large properties, which today are associated with the planting of rice and soybeans, and livestock. In a later occupation (from 1850), the Pomerans immigrants acquired small holdings in the areas of the plateau, which is currently associated with the planting of tobacco, corn and subsistence agriculture. At the end of the study the area were divided into slope and interfluves system and waterway system, to understand the weakness related to erosion and flood respectively. In the slope and interfluves sector three hierarchical classes of frailty were found: Weak (34,26%), medium (61,26%) and strong (4,51%). In the fluvial system five hierarchical classes of frailty were found: very weak (21,52 %), weak (4,43 %), medium (35,56 %), strong (13,39 %) and very strong (25,10 %), and found human influence on the weaknesses of both systems. The methodology proved to be an important tool for land use, consistent with the reality in the field.

Palavras Chaves: Watershed (hidrographic basin). Weakness. Santa Isabel Brook. Flood. Erosion.

Lista de Figuras

Figura 1	Mapa de localização e situação da Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel.....	20
Figura 2	Representação dos tipos de leito fluvial. Fonte: (UNESP, 2010).....	31
Figura 3	Representação esquemática das unidades taxonômicas propostas por Ross (1992). Fonte Florenzano (2008).....	36
Figura 4	Diagrama contendo os processamentos e produtos gerados na pesquisa....	42
Figura 5	Mapa Geomorfológico do Rio Grande do Sul. Adaptado de Suertegaray e Fujimoto (2004).....	52
Figura 6	Mapa geológico esquemático de parte do Escudo Sul-Rio-Grandense e da Planície Costeirado Rio Grande do Sul, com ênfase nas unidades geológicas do Batólito de Pelotas e a localização da área de estudo (retângulo vermelho). Fonte: Philipp (1998).....	54
Figura 7	Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira. Fonte: Tomazelli e Villwock (2005).....	56
Figura 8	Geomorfologia regional com a delimitação da SbHASI. Fonte (IBGE, 2003).....	57
Figura 9	Média das precipitações por mês na área da SbHASI (1966-2011).....	59
Figura 10	Precipitação mensal e precipitação máxima por mês no ano de menor precipitação da série histórica (1968).....	61
Figura 11	Precipitação mensal e precipitação máxima por mês no ano de maior precipitação da série histórica (1998).....	62
Figura 12	Mapa das unidades geológicas da SbHASI.....	65
Figura 13	Quartzo milonito com aproximadamente 100 metros de comprimento e 15 de largura (05/08/2010).....	66
Figura 14	A) Depósitos de planície lagunar e B) características dos sedimentos lagunares (arenosos).....	67
Figura 15	A) Depósitos de sedimentos na borda do canal do arroio Santa Isabel e B) depósitos no leito do arroio Santa Isabel (alto curso).....	68
Figura 16	Mapa hipsométrico da SbHASI.....	69
Figura 17	Mapa clinográfico da SbHASI.....	70
Figura 18	Mapa de localização dos perfis topográficos (transversais) na SbHASI....	71

Figura 19	Perfis de interflúvios ao longo da SbHASI, contendo elevação (m) no eixo y e extensão(m) no eixo x.....	73
Figura 20	Mapa das unidades de relevo da SbHASI.....	75
Figura 21	Colinas da unidade de interflúvios estreitos com caráter suavizado.....	77
Figura 22	Elementos côncavos com presença de vegetação densa nas colinas com interflúvios estreitos.....	77
Figura 23	Colinas de Interflúvios médios no setor Noroeste da SbHASI.....	78
Figura 24	A) e B) Barragens construídas entre colinas da unidade de colinas de interflúvio médio.....	79
Figura 25	Colinas com interflúvios amplos ao norte da SbHASI, apresentando processos erosivos.....	80
Figura 26	Rampa coluvial no sentido W-E com plantio de soja.....	81
Figura 27	Perfil de Rampa coluvial. Coordenadas (401244 – 6550626).....	81
Figura 28	Terraço coluvio-aluvionar visto das colinas com interflúvios médios.....	82
Figura 29	Terraço Lagunar no norte da SbHASI.....	83
Figura 30	Ruptura do terraço Lagunar no contato com a planície de inundação do Arroio Santa Isabel.....	83
Figura 31	Patamar plano em áreas elevadas da unidade Planície de Inundação.....	84
Figura 32	Foz do arroio Santa Isabel no Rio Camaquã.....	84
Figura 33	Mapa de solos da SbHASI.....	86
Figura 34	A) Argissolo Vermelho Distrófico típico (02/04/2009), B) Argissolo Amarelo Distrófico úmbrico na unidade de colinas com interflúvios amplos(02/04/2009) e C) Argissolo Vermelho Distrófico típico na unidade de colinas com interflúvios estreitos (21/12/2011).....	88
Figura 35	Gleissolos na área da SbHASI. Fonte: (EMBRAPA, 2006).....	89
Figura 36	Neossolos Flúvicos Psamíticos. Fonte: (EMBRAPA, 2006).....	90

Figura 37	Topo de colina com presença de afloramento rochoso e Neossolos Litólicos na unidade de relevo Colinas com interflúvios estreitos (29/09/2011).....	91
Figura 38	A) Planossolos arênicos encontrados entre o terraço lagunar e planície fluvial do arroio Santa Isabel (07/10/2011) e B) Planosolo Háplico Eutrófico arênico em terraço lagunar (24/10/2011).....	92
Figura 39	Setores Censitários inseridos na SbHASI conforme IBGE.....	97
Figura 40	Floresta estacional semidecidual em áreas do ESRG na SbHASI.....	99
Figura 41	Plantação de Acácia ao norte da SbHASI na unidade de interflúvios médios.....	99
Figura 42	A) Plantio de milho na área do ESRG, B) Plantio de soja na PC, C) Plantio de arroz na PC e D) Plantio de sorgo em terraço coluviais.....	100
Figura 43	Campos utilizados para criação de gado na Unidade de colinas com vertentes suaves ao sul da SbHASI.....	101
Figura 44	Área com solos expostos devido ao preparo da terra para plantio. (04/03/2011).....	101
Figura 45	Mapa de usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 05/05/1988.....	102
Figura 46	Mapa de usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 23/04/1995.....	104
Figura 47	Mapa de usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 02/05/2010.....	108
Figura 48	Mapa com a divisão entre o sistema de Vertentes e interflúvios e o sistema fluvial da SbHASI.....	112
Figura 49	Mapa de fragilidades do sistema de vertentes da SbHASI.....	114
Figura 50	Processo erosivo em estágio avançado em baixa vertente de colinas de interflúvios estreitos (29/09/2011).....	116
Figura 51	Processo erosivo em estágio avançado em alta vertente de colinas de interflúvios estreitos (21/12/2011).....	117
Figura 52	Imagens landsat, mostrando inundações na SbHASI.....	118
Figura 53	Mapa das fragilidades do sistema fluvial da SbHASI.....	120
Figura 54	Área de fragilidade fraca no médio curso da SbHASI (07/10/2011).....	121
Figura 55	Planície de inundação do arroio Santa Isabel no alto curso da sub-bacia. (21/12/2011).....	122

Figura 56	Planície de inundação do arroio Santa Isabel no baixo curso da sub-bacia. (07/10/2011).....	123
Figura 57	Foz do arroio Santa Isabel no rio Camaquã.Imagem <i>Landsat</i> de 01/06/1986.....	124
Figura 58	Mapa final das fragilidades do ambiente na SbHASI.....	126

Lista de Tabelas

Tabela 1	Categorias hierárquicas das declividades na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).....	39
Tabela 2	Classes de fragilidade do solo na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).....	39
Tabela 3	Graus de proteção e fragilidades, segundo cobertura vegetal/uso da terra na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).....	39
Tabela 4	Categorias hierárquicas das declividades da SbHASI. Fonte: Ross (1994).....	48
Tabela 5	Classes de fragilidade do solo na SbHASI. Fonte: Ross (1994).....	49
Tabela 6	Graus de proteção e fragilidades, segundo cobertura vegetal/uso da terra. Fonte: Ross (1994).....	49
Tabela 7	Área das unidades geológicas da SbHASI.....	64
Tabela 8	Área dos padrões de forma semelhantes da SbHASI.....	74
Tabela 9	Área dos Usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 1988.....	103
Tabela 10	Área dos Usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 1995.....	105
Tabela 11	Rebanhos (cabeças) em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE – Pesquisa Pecuária Municipal.....	106
Tabela 12	Área plantada (hectares) de Lavouras temporárias em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.....	106
Tabela 13	Área plantada (hectares) de Lavouras permanentes em São Lourenço do Sul e Cristal -1995. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.....	107
Tabela 14	área dos Usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 2010.....	109
Tabela 15	rebanhos (cabeças) em São Lourenço do Sul e Cristal - 2010. Fonte: IBGE – Pesquisa Pecuária Municipal.....	110
Tabela 16	área plantada (hectares) de Lavouras temporárias em São Lourenço do Sul e Cristal - 2010. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.....	110
Tabela 17	área plantada (hectares) de Lavouras permanentes em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.....	111
Tabela 18	Imagens com lâmina d'água de inundação na SbHASI.....	119
Tabela 19	Áreas das fragilidades do sistema fluvial.....	121

Lista de Abreviaturas e Siglas

SbHASI - Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel

RS – Rio Grande do Sul

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA DA PESQUISA	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.3 JUSTIFICATIVAS	17
1.4 LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS- METODOLÓGICOS	21
2.1 TEORIA GERAL DOS SISTEMAS E ABORDAGEM SISTÊMICA NA GEOGRAFIA	21
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	24
2.3 SISTEMA DE INTERFLÚVIOS E VERTENTES	26
2.4 SISTEMA FLUVIAL	30
2.5 CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA	33
2.6 FRAGILIDADES DO AMBIENTE	37
3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	42
3.1 MATERIAL CARTOGRÁFICO	43
3.2 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL	43
3.3 MAPEAMENTO DE GEOLÓGICO E PEDOLÓGICO	44
3.4 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO	45
3.5 ANÁLISE DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ARREDORES	46
3.6 ANÁLISE E MAPEAMENTO DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA	46
3.7 MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE	48
4. CARACTERIZAÇÃO NO ÂMBITO REGIONAL DE ASPECTOS DA NATUREZA	51
4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	51
4.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA	58

5. ANÁLISE FÍSICA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA ISABEL.....	64
5.1 CARACTERÍSTICAS DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DA SbHASI.....	64
5.2 CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES DE RELEVO DA SbHASI.....	68
5.3 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DA SbHASI.....	85
6. CONDICIONANTES HISTÓRICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS	93
6.1 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA.....	93
6.2 ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA ISABEL.....	97
7. ANÁLISE E MAPEAMENTO DAS FRAGILIDADES DO AMBIENTE.....	112
7.1 SISTEMA DE VERTENTES	113
7.2 SISTEMA FLUVIAL	117
8. CONCLUSÕES.....	127
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DA PESQUISA

A preocupação com a temática ambiental tem sido cada vez mais evidente nos diversos campos do conhecimento, e este processo se dá principalmente, a partir das décadas de 1960 e 1970, com o começo das discussões em nível mundial sobre a crise ambiental, que ocorreram em encontros como o de Estocolmo (1972) e Rio de Janeiro (1992) (Santos, 2004). Esta crise é decorrente dos avanços tecnológicos da sociedade, principalmente no período pós-guerras, conforme afirma Soares *et al.* (2004).

As pesquisas têm progredido no que diz respeito à elucidação dos problemas ambientais e manejo ou soluções destes, mas ainda persiste na atualidade um paralelismo entre o avanço da exploração dos recursos naturais e o complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas, havendo uma dicotomia entre homem e natureza (Chauí, 2003).

Neste contexto surge o papel da Geografia, que assim como outras ciências tem estudado as relações do homem com a natureza de maneira interdisciplinar (Leff, 2004). Ross (1992) destaca a capacidade do homem de dominar o meio natural, afirmando que há uma verdadeira contradição entre sociedade e natureza, que está cada vez mais sendo potencializada pelo crescimento demográfico e pelo progresso do conhecimento tecnológico.

Nos últimos anos a pesquisa ambiental no que tange a Geografia tem priorizado como área de estudo as bacias hidrográficas, já que estas unidades, como afirma Hansen (2001), constituem-se em regiões propícias para a execução de análises que confluem em ações de planejamento ambiental e gestão dos recursos naturais. Todos os processos de qualquer natureza são gerados no interior de uma bacia de drenagem, que contém características naturais e antrópicas peculiares (Hansen,

2001). Cunha e Guerra (1996) afirmam que a bacia hidrográfica como unidade de estudo permite acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza como erosão dos solos, movimentos de massa e enchentes.

Os sistemas ambientais, face às intervenções antrópicas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características “genéticas” (Ross, 1994). Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) acarreta no comprometimento da funcionalidade do sistema, rompendo desta forma com o equilíbrio dinâmico deste. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais (Ross, 1994).

A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território. Tal identificação permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (Ross, 1994).

Ross (1994) propôs uma metodologia de mapeamento das fragilidades que hierarquiza em cinco categorias as fragilidades do ambiente, variando de muito fraca a muito forte. Este modelo utiliza atributos referentes à vulnerabilidade das temáticas: geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima. Como resultado desta metodologia tem-se as cartas de Unidade Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e Emergente, sendo a primeira ligada às áreas com características naturais intactas ou pouco modificadas e a segunda ocupada pelas atividades humanas. Nesta metodologia, o fator relevo determina a que classe de fragilidade pertence à área, enquanto que a cobertura vegetal/uso da terra distingue as unidades ecodinâmicas.

Há algumas diferenças quanto ao uso de dados, estas condicionadas a escala da análise, que pode variar de escalas grandes (1:2.000) a médias (1:50.000) e pequenas (1:500.000) e os graus de fragilidade da temática uso da terra e cobertura vegetal contém somente classes ligadas à áreas rurais.

Crepani *et al.* (2001), objetivando subsidiar o zoneamento ecológico-econômico da Amazônia, desenvolveu uma metodologia para gerar mapas de vulnerabilidade

ao processo natural de erosão de unidades de paisagem natural. Este mapeamento é definido pela análise integrada dos temas: geologia, solo, relevo, vegetação e clima. Seguindo esta proposta metodológica cada um destes temas recebe uma pontuação de fragilidade variando entre um e três. Como síntese desta proposta tem-se a vulnerabilidade de cada unidade de paisagem, gerada pela média aritmética das temáticas abordadas.

Segundo Spörl (2001), a contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma agilidade no processo de tomada de decisões ligadas ao planejamento ambiental. Esta autora aplicou os modelos expostos acima em uma área entre os estados de São Paulo e Minas Gerais abrangendo parte dos municípios de São João da Boa Vista (SP), Águas da Prata (SP) e Poços de Caldas (MG). A autora destaca que para uma avaliação sobre a eficácia destes modelos de análise, que vise identificar qual melhor se ajusta com o que ocorre na natureza, é necessário correlacionar os problemas encontrados em campo (erosão, deslizamentos e qualidade das águas de superfície) com os modelos analisados.

Santos e Sobreira (2008) aplicaram os modelos de Ross (1992) e de Crepani *et al.* (2001) em duas bacias hidrográficas em Minas Gerais. Neste trabalho realizou-se um cruzamento dos mapas finais de fragilidade das duas propostas com os processos erosivos encontrados na área, sendo considerada a proposta de Ross a mais condizente com a realidade da área de estudo, predominantemente rural.

Assim, os estudos de fragilidade ambiental ganham espaço na geografia devido à necessidade de zonestar as aptidões e susceptibilidades das áreas estudadas, tornando rápido o processo de decisão e intervenção.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é elaborar um mapeamento das fragilidades da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Santa Isabel (SbHASI), localizada entre os municípios de Cristal e São Lourenço do Sul, no estado do Rio Grande do Sul (RS). Para tal, faz-se necessário atingir alguns objetivos específicos, que são:

- Caracterizar os elementos do meio físico no âmbito regional;
- Caracterizar e mapear as principais unidades geológicas da bacia hidrográfica;
- Elaborar um mapa geomorfológico da bacia hidrográfica em estudo, representando as principais formas de relevo;

- Analisar as características pedológicas, a partir da elaboração de um mapa dos principais tipos de solos da área de estudo;
- Resgatar e analisar o processo histórico de ocupação da área de estudo e arredores;
- Analisar a evolução da cobertura vegetal e usos da terra a partir de mapas dos anos de 1987, 1995 e 2010 da bacia hidrográfica em estudo;
- Analisar e mapear as fragilidades da área de estudo, considerando os interflúvios e sistema de vertente e o sistema fluvial.

1.3 JUSTIFICATIVAS

No Rio Grande do Sul uma das bacias de maior expressão é a Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, que abrange uma área de 17.448 km², sendo dividida em quatro subsistemas: Subsistema Alto Camaquã (SsAC), Subsistema Médio Camaquã Superior (SsMC), Subsistema Médio Camaquã Inferior (SsMCI) e Subsistema Baixo Camaquã (SsBC) (Hansen, 2007).

No SsBC, que de acordo com Hansen e Fensterseifer (1996) é o segundo com maior risco de erosão dos quatros subsistemas da bacia, encontra-se a Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel (SbHASI). Esta bacia está totalmente inserida em uma área rural, sendo que os usos da terra estão relacionados principalmente à pecuária e cultivo de arroz, de soja, de milho e de fumo, além do plantio de acácia (Marth, 2010).

Um estudo nesta área se justifica primeiramente por se tratar de uma área rural, permitindo assim a oportunidade de entender as modificações do meio ambiente oriundas da agricultura e pecuária. Outra justificativa é o fato de ser uma área situada em um setor da bacia hidrográfica do Rio Camaquã, as várzeas, que compreendem os mais extensos agrupamentos remanescentes da floresta estacional semidecidual no Rio Grande do Sul (Hansen, 2007).

Um estudo das fragilidades nesta bacia também se justifica pela possibilidade de zoneamento de áreas potenciais a erosão e a inundações, pois estas são respostas da natureza as intervenções antrópicas que causam prejuízos à população.

A degradação dos solos afeta tanto as terras agrícolas como as áreas com vegetação natural e pode ser considerada como um dos importantes problemas ambientais atualmente. As questões de erosão no Brasil são uma combinação de

um rápido desenvolvimento, com solos frágeis e o regime climático (Guerra et al., 1999). Nas áreas rurais as vertentes são vistas como recurso indispensável ao acúmulo de capital, independentemente das restrições impostas pela natureza (Cassetti, 1991).

Em pesquisa realizada no município de São Lourenço do Sul, Lima (2006) foram mapeadas quatro unidades de paisagem, ressaltando a susceptibilidade a erosão de duas destas morfologias nas quais se situa também a SbHASI, estas são: Unidade de Colinas e Unidade de Domos e Colinas. As susceptibilidades estão associadas geralmente ao relevo dissecado, aos solos rasos e aos usos da terra.

Em relação às inundações, outro problema que tem atingido a população brasileira, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT/CGE, 2002), salienta que estas causam perdas de 1 bilhão de dólares por ano, principalmente em razão da ocupação desordenada das margens de rios e impermeabilização do solo de bacias urbanas.

De acordo com Collins (2004), mais de 29 milhões de brasileiros residem em áreas suscetíveis às inundações e em média 100 pessoas são vitimadas anualmente em virtude destes desastres naturais.

Nos municípios de Cerrito e Pedro Osório (região sul do RS) são recorrentes as inundações do Rio Piratini, que afetam tanto as áreas urbanas quanto o meio rural, causando prejuízos à população. Como exemplo destes eventos, Telles (2002) relata três inundações excepcionais que ocorreram respectivamente nos anos de 1959, 1983 e 1992, com a lâmina d'água atingindo cotas acima de 25 metros do nível do mar, elevando o nível da lâmina d'água em mais de 17 metros. Estes eventos destruíram pontes, estradas, lavouras, olarias e inundaram cerca de 80% da área urbana.

Ao analisar trabalhos referentes à erosão (Oliveira, 2004; Vieiro, 2004) e inundações (Oliveira, 2010; Lima, 2010) percebe-se que dificilmente estas duas temáticas são abordadas de maneira conjunta para uma determinada área de estudo, e que contemplem o setor de vertentes e o sistema fluvial.

Desta maneira, entende-se que a elaboração desta pesquisa poderá contribuir não somente no entendimento das relações e processos existentes entre as vertentes e o sistema fluvial, mas também na criação de um banco de dados para os municípios inseridos na bacia.

1.4 LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Santa Isabel situa-se na região sul do Rio Grande do Sul, nos municípios de São Lourenço do Sul (distrito de Prado Novo e Boqueirão) e Cristal (distrito Passo do Mendonça) entre as latitudes Sul 6562836 e 6539723 e entre as longitudes Oeste 391148, 422828 (Fig. 1). O rio principal desta bacia deságua próximo a foz do Rio Camaquã no limite entre os dois municípios. A sub-bacia tem uma área de aproximadamente 295 km², estando inserida totalmente em área rural. Está situada a aproximadamente 150 km de distância da capital do estado (Porto Alegre) e 100 km de Pelotas, sendo cortada pela rodovia BR-116.

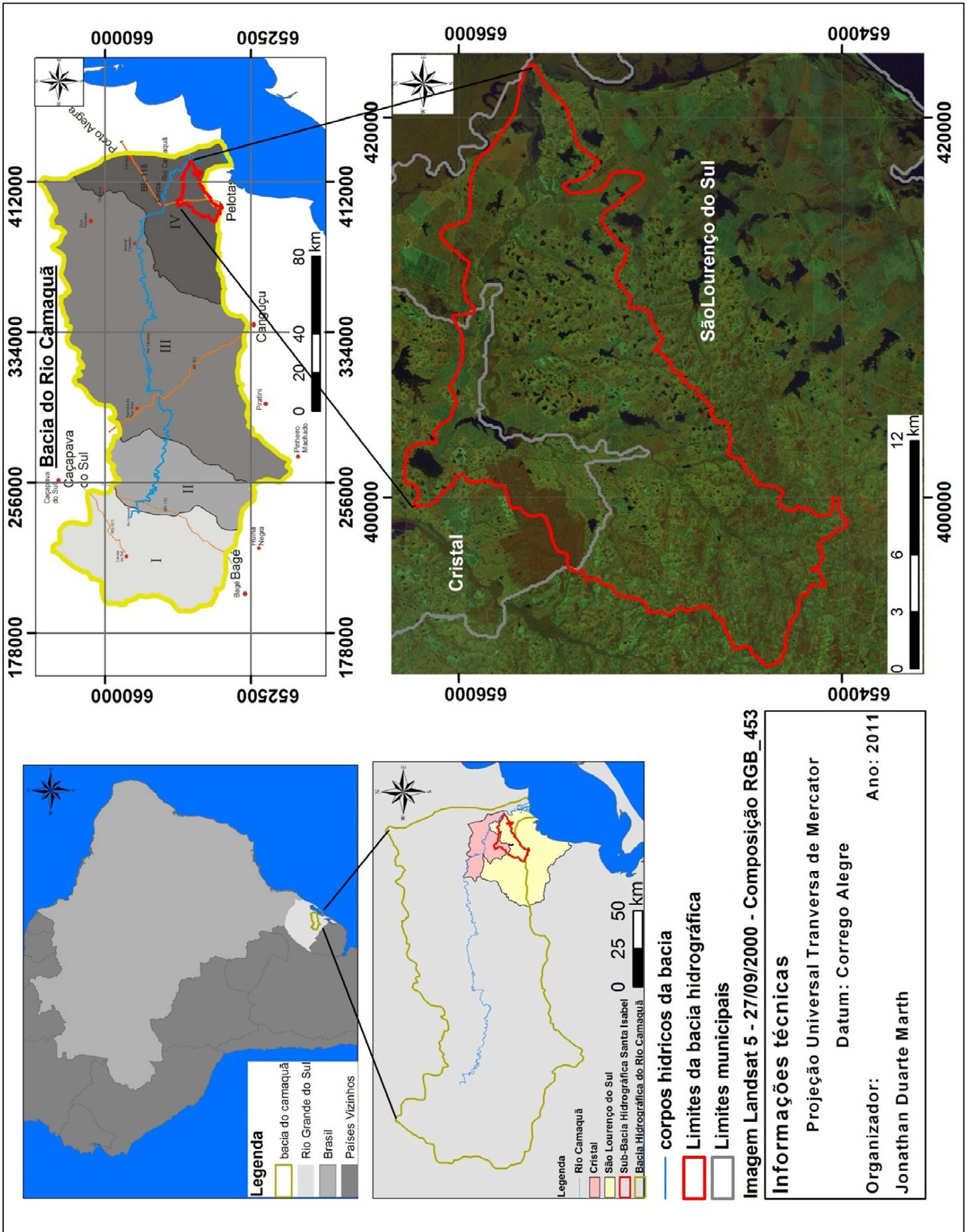


Figura 1: Mapa de localização e situação da Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel.

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS- METODOLÓGICOS

2.1 TEORIA GERAL DOS SISTEMAS E ABORDAGEM SISTÊMICA NA GEOGRAFIA

No decorrer do século XX as ciências de maneira geral tenderam a uma construção pautada na compartimentação do conhecimento em diversas subáreas. O estudo dos vários componentes do meio ambiente como o clima, a vegetação, a morfogênese e a morfologia do relevo levaram, já no século XIX, ao surgimento de ramos específicos da geografia, em especial da geografia física (climatologia, biogeografia, geomorfologia, hidrografia) como afirma Sousa (2009). Como reflexo deste processo, na primeira metade do século XX a geografia física se caracterizou por estudos dos aspectos do quadro natural do planeta, sendo completamente distante da geografia humana (Mendonça, 1992). A partir da década de 1950, a geografia física, que se utilizava de métodos de análise pertencentes a um conjunto de ciências chamadas de naturalistas, passou a aplicar métodos pautados na interdisciplinaridade, como afirma Leff (2004). Estes métodos ganharam força devido à dificuldade de entendimento das modificações ocorridas no meio ambiente por causa da fragmentação das disciplinas, pois esta resulta em obstáculo para compreensão e resolução de problemas sócio-ambientais complexos (Leff, 2004).

No período pós-guerra as intervenções antrópicas passam a ser valorizadas na Geografia, devido aos crescentes impactos à natureza, que decorreram dos avanços tecnológicos da sociedade (Soares *et al.*, 2004). Conforme afirmam Vicente e Perez Filho (2003), o homem tem interferido de forma variada, rápida e agressiva na dinâmica natural da terra, fornecendo elementos para uma nova realidade ambiental, na qual as derivações antrópicas apresentam-se cada vez mais influentes e

contundentes. Neste contexto o conceito de sistemas passou a suprir a necessidade de integração de ciências de cunho ambiental como a geografia e a geomorfologia.

Como afirma Christofolletti (1999), o vocábulo sistema possui uso antigo e difuso no conhecimento científico, mas a preocupação em se fazer uma abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa surgiu na biologia teórica, na década de 1930. A Teoria Geral dos Sistemas, que foi elaborada pelo biólogo alemão Ludwing Von Bertalanffy em 1930 e editada em 1968, dá ênfase à inter-relação e interdependência entre componentes que formam um sistema. O sistema é visto por Bertalanffy como uma totalidade, sendo necessário para o seu entendimento o estudo de seus elementos de forma integrada. Tricart (1977), ao falar do conceito de sistema, considera o uso deste “o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente”. Este mesmo autor define sistema como um “conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia”.

Almeida e Tertuliano (1999, p. 115) seguindo uma linha similar com a de Tricart, definem sistema como:

“Um conjunto de unidades com relação entre si. Essas unidades possuem propriedades comuns. O conjunto encontra-se organizado em virtude das inter-relações entre as unidades, e o seu grau de organização permite que assumam a função de um todo que é maior do que a soma de suas partes. Cada unidade tem seu estado controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades” (ALMEIDA E TERTULIANO, 1999, p. 115).

De acordo com Moroz (2010), além do próprio Bertalanffy (1975) que elaborou a teoria geral dos sistemas, outros autores como Sack (1992) também atribuem a Chorley (1962) a iniciativa de incorporação da teoria geral dos sistemas à geomorfologia, e à geografia de modo geral. Para Christofolletti (1999), Chorley foi quem conferiu exemplificações e sentido aos termos e conceitos, expandindo os conceitos dos seus antecessores e desta forma contribuindo para uma linha de trabalho apoiada na teoria de sistemas.

Moroz (2010) cita como antecessores de Chorley três autores: Strahler (1952), que teria sido o primeiro a difundir a noção de sistemas abertos dinâmicos na geomorfologia, rompendo assim com a noção de William Moris Davis, de sistemas fechados; Hack, que na década de 1960 deu continuidade as propostas de Strahler

e formulou a teoria de equilíbrio dinâmico¹, considerando o relevo como um sistema aberto, e por fim Grove Karl Gilbert, que teria influenciado estes autores mencionados, pois segundo Sack (1992) em 1877, esse já havia utilizado o termo equilíbrio dinâmico, sendo o pioneiro do paradigma de sistema aberto em geomorfologia. Christofolletti (1999) diz que a contribuição de Gilbert foi de ter apresentado a noção de equilíbrio na natureza.

Em relação à incorporação da abordagem sistêmica e do conceito de equilíbrio dinâmico na geomorfologia, Jean Tricart, ganha destaque pois, além de sistematizar a análise ambiental a partir da morfodinâmica, incluiu a ação antrópica. Tricart (1977) salienta que a adoção do conceito de sistema pelas diversas disciplinas que compreendem a Geografia Física permite a integração de conhecimentos anteriormente isolados e incorpora a ação antrópica como elemento capaz de alterar o “equilíbrio dinâmico” dos sistemas naturais.

Das reflexões de Tricart, surge o conceito de “Unidades Ecodinâmicas”, que de acordo com Ross (1990), caracteriza-se por certa dinâmica do ambiente, que repercutem nas biocenoses². A morfodinâmica seria o elemento determinante no entendimento do processo, que depende de diversos fatores como o clima, o relevo, o material rochoso, os solos, a cobertura vegetal, entre outros. O conceito de Unidades Ecodinâmicas apóia-se no conceito ecológico, ou conceito de Ecossistema, que foi sistematizado por Tansley em 1934 (Tricart, 1977).

Na proposta da Ecodinâmica de Tricart, o ambiente é analisado através de relações em equilíbrio dinâmico, sendo que este pode freqüentemente ser alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza. A ação humana pode causar desequilíbrios temporários ou mesmo permanentes.

Um exemplo típico de sistema aberto é a bacia hidrográfica, esta unidade é utilizada por diversos pesquisadores da temática ambiental. Na bacia hidrográfica podem ser estudados os processos de maneira sistêmica, podendo especificar as entradas e saídas de energia do sistema e desta forma entender os processos no interior desta.

¹ A teoria do equilíbrio dinâmico considera o modelado terrestre como um sistema aberto, sendo assim, este mantém constante permuta de matéria e energia com os demais sistemas componentes de seu universo (CHRISTOFOLETTI, 1974).

² Biocenose é o conjunto de seres vivos de um ecossistema (Tricart,1977).

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

A bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial na ciência geográfica desde o fim dos anos 1960 (Botelho e Silva, 2004). Esta, segundo Chorley (1962) citado por Coelho Netto (1994), constitui um exemplo típico de sistema aberto na medida em que recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre a área e das forças tectônicas subjacentes. Já a perda de energia ocorre por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis que são exportados pelo seu deflúvio.

Cunha e Guerra (1996) afirmam que no interior da bacia hidrográfica verificam-se constantes ajustes nos elementos das formas e nos processos associados, isto se daria em função das mudanças de entrada e saída de energia.

Santos (2004) explica que o critério de bacia hidrográfica é comumente usado porque constitui um sistema natural delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas.

Os conceitos utilizados para determinar o que é uma bacia hidrográfica são muito variados, mas a seguir serão apresentadas algumas conceituações sobre bacias, explicitando a importância desta unidade de análise em trabalhos de cunho ambiental.

De acordo com Suguio e Bigarella (1990) a bacia hidrográfica é uma área abrangida por um sistema fluvial constituída por um curso principal e seus tributários.

Barrella (2001) define bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, e que esta é formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando rios, sendo que as cabeceiras são compostas por riachos que passam a existir em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano.

Borsato e Martoni (2004) ao conceituar bacia hidrográfica explicam que esta é:

“Definida como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d’água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída” (BORSATO E MARTONI, 2004, p. 273).

Já para Rocha (1991), a bacia hidrográfica

“é a área que drena as águas das chuvas por ravinas, canais, e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago” (ROCHA, 1991, p. 15).

Apesar de algumas diferenças, de maneira geral, as conceituações de bacia hidrográfica possuem varias características em comum, principalmente a questão dos divisores de água, conjunto de drenagens, hierarquia fluvial e um exutório. Uma conceituação mais complexa e que vai ao encontro do que se busca neste trabalho é a de Bermudez (1992), que incorpora a ação antrópica ao conceito de bacia hidrográfica. Para este autor a Bacia Hidrográfica é a expressão territorial do sistema ambiental onde as precipitações são redistribuídas em cada um dos componentes do ciclo hidrológico, ele ainda explica que a modelagem da paisagem em uma bacia hidrográfica pode ser interpretada como o resultado da ação de processos físicos, bioquímicos e antrópicos nos materiais que a configuram ao longo do tempo.

Na diferenciação de termos como bacia hidrográfica e sub-bacia hidrográfica, alguns autores utilizam como critério a área destas (FAUSTINO, 1996); Rocha *apud* (MARTINS *et al.* 2005), porém Santana (2003) explica que cada bacia interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, assim como em Santana (2003) este trabalho também considera estes termos como uma hierarquização.

Pelo caráter integrador a bacia hidrográfica pode ser considerada uma excelente unidade de gestão dos elementos naturais e sociais. Cunha e Guerra (1996) afirmam que, nesta ótica, se pode acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza como erosão dos solos, movimentos de massa e enchentes.

A bacia hidrográfica engloba dois subsistemas que estão intimamente interligados, sendo que qualquer modificação em um deles desencadeia um

processo de ajuste no outro, estes são: o sistema interflúvio/vertente e o sistema fluvial. Torna-se interessante, além de uma análise conjunta destes, entendê-los de forma separada, destacando suas especificidades e para que sejam descobertas as influências de cada um destes sistemas no desenvolvimento dos processos no interior da bacia hidrográfica.

2.3 SISTEMA INTERFLÚVIOS E VERTENTES

O conceito de vertente foi consagrado por Dylik em 1968, sendo esta genericamente descrita pelo autor como “toda superfície terrestre inclinada, muito extensa ou distintamente limitada, subordinada às leis gerais da gravidade”, conforme afirma Casseti (2005).

A vertente, no sentido morfogenético, corresponde à parte das formas do terreno, que são modeladas pelos processos de denudação, sendo estes processos: os movimentos de massa e os escoamentos (superficial e subsuperficial) (Dylik, 1968).

Dylik (1968) ao abordar a dinâmica de vertente em um sentido restrito (*stricto sensu*), diz que os processos denudacionais, intrínsecos à própria vertente, encontram-se limitados pelas relações morfodinâmicas areolares, esta dinâmica é definida pela extensão que vai do limite em que as atividades processuais têm início até o limite em que as atividades denudacionais são substituídas pelas fluviais.

Christofolletti (1979) refere-se aos processos morfogenéticos como os responsáveis pela esculturação das formas de relevo, representando uma ação dinâmica externa as vertentes.

A dinâmica nas vertentes está associada aos processos que dizem respeito à erosão, sendo importante entender de que maneira esta ocorre e quais fatores influenciam nesta dinâmica (Casseti, 2005).

Salomão e Iwasa (1995) definem erosão como o processo de “desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rocha, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos”. Estes mesmos autores distinguem duas formas de abordagem para os processos erosivos: uma que considera a erosão “natural” ou “geológica”, sendo aquela que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo e a outra que trata da erosão “antrópica” ou “acelerada”, cuja intensidade não permite a recuperação natural do solo.

A erosão causada pela chuva começa através do impacto das gotas sobre o solo. Este processo causa desagregação e remoção das partículas do solo fornecendo material para o transporte através do escoamento nas vertentes ou até mesmo permitindo a selagem do topo do solo (Guerra e Cunha, 1994).

Dois tipos de erosão podem ocorrer ao longo das vertentes devido ao fluxo superficial, dependendo do tipo de escoamento que ocorre no terreno. A erosão laminar ou em lençol é causada pelo escoamento difuso da água das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo. Já a erosão linear é causada pela concentração das linhas de fluxo da água da chuva que escoam em superfície, podendo resultar inicialmente em pequenas incisões em forma de sulcos, que podem aprofundar e evoluir para ravinas (Guerra e Cunha, 1994).

O fluxo subsuperficial também é responsável por processos erosivos nas vertentes, como os túneis (*pipings*), que são dutos criados em subsuperfície, que podem variar de alguns centímetros até vários metros de diâmetro. Estes são processos relacionados ao intemperismo e seriam ocasionados pela dissolução e transporte dos minerais. O fluxo subsuperficial, associado ou não com o fluxo superficial, pode dar origem a feições erosivas chamadas de voçorocas (Guerra, 1998).

Uma grande quantidade de variáveis é apontada por Guerra e Cunha (1994) como sendo significativa para explicar a erosão. Segundo estes autores, os principais fatores controladores da erosão compreendem a erosividade da chuva, a erodibilidade proporcionada pelas propriedades do solo, a natureza da cobertura vegetal e as características das encostas.

A erosividade diz respeito à habilidade da chuva em causar erosão e, para tanto, alguns parâmetros são utilizados para investigá-la, como o total de chuvas, a intensidade, o momento e a energia cinética (Guerra e Cunha, 1994).

O total pluviométrico, por si só, não é um índice que possa predizer a erosão dos solos de modo eficaz (Guerra, 1998). Hudson *apud* Guerra e Cunha (1994) atesta que a correlação entre perda de solo e total de chuvas é baixa. Por sua vez, a intensidade da chuva tem sido mostrada como um bom parâmetro, pois tem papel importante nas taxas de infiltração e influência no escoamento superficial.

O momento é o produto entre a massa e a velocidade da gota da chuva. Em estudos de erosividade da chuva em que este parâmetro é utilizado, em conjunto com a energia cinética da chuva, o segundo tem predito melhor a perda do solo (Guerra,1998).

A energia cinética da chuva está relacionada com a sua intensidade, pois é a energia do número total de gotas de uma chuva, sendo função da duração, massa, tamanho das gotas e velocidade (Guerra, 1998).

A erodibilidade refere-se às propriedades do solo (textura, estrutura, porosidade e profundidade) e reflete a sua susceptibilidade à erosão (Casseti, 2005).

A textura influi na capacidade de infiltração e absorção da água da chuva, interferindo no potencial de escoamento superficial do solo e em relação à maior ou menor coesão entre as partículas (Infanti Jr. e Forsinari Filho, 1998 *apud* Oliveira, 2004).

Os solos arenosos são mais friáveis e a estabilidade dos agregados é menor que nos solos argilosos, sendo assim aqueles são considerados mais vulneráveis aos processos erosivos como afirmam Guerra e Cunha (1996).

A estrutura do solo também influencia na capacidade de infiltração e absorção da água. Desta forma, solos com estrutura micro agregada apresentam alta porcentagem de poros, que dependendo da interligação destes podem ter alta permeabilidade. Este fato mostra a relevância da porosidade e da inter-relação das variáveis. Solos muito compactados por atividades como agricultura ficam mais susceptíveis à erosão (Guerra e Cunha, 1994).

A profundidade do solo é outra característica relevante no processo erosivo, pois as diferentes profundidades podem favorecer o desenvolvimento do escoamento superficial. Os solos rasos permitem rápida saturação dos horizontes superiores, fato que permite o escoamento superficial mais rapidamente (Casseti, 2005).

A cobertura vegetal, defesa natural de um terreno contra a erosão, tem como principais efeitos a proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, a dispersão e quebra da energia do escoamento superficial, o aumento de infiltração devido ao aumento dos poros no solo por ação das raízes e o aumento da capacidade de retenção da água pela estruturação do solo devido à incorporação de matéria orgânica (Guerra e Cunha, 1994).

A densidade de cobertura vegetal, de acordo com Guerra (1998), é um fator importante no escoamento superficial e perda de solo, pois em áreas de alta densidade de vegetação, o escoamento superficial e erosão ocorrem em taxas muito baixas, principalmente se houver uma cobertura de serrapilheira no solo.

Em relação às características do relevo que interferem nos processos erosivos, as principais são declividade, comprimento e forma das encostas (Guerra, 1998).

Como afirmam Guerra e Cunha (1994), as declividades ao mesmo tempo em que podem aumentar o escoamento superficial podem diminuir a formação de crostas e conseqüentemente aumentar a porosidade dos solos, sendo assim, estes parâmetros precisam ser ponderados com as demais variáveis.

Pesquisas realizadas por Bertoni *et al.* (1972) *apud* Casseti (2005) mostram que, quadruplicando o comprimento da vertente, quase são triplicadas as perdas de terra por erosão.

As formas de encostas influenciam de maneiras diferenciadas, dependendo também dos outros fatores (declividades e comprimento da vertente). Morgan (1977) *apud* Guerra e Cunha (1994) destaca que encostas curtas convexo-côncavas têm características morfológicas que propiciam a erosão dos solos.

Outro tipo de processo denudacional que ocorre nas vertentes são os movimentos de massa. Conforme Florenzano (2008) estes dependem das condições locais, como: estrutura geológica, tipo dos materiais, declividade, orientação e forma da vertente, área de contribuição, intensidade e distribuição das precipitações.

A água, principalmente nas regiões intertropicais, se caracteriza como o principal agente detonador dos movimentos gravitacionais de massa. Sua ação pode ocorrer através da elevação do grau de saturação nos solos, diminuindo a resistência destes e no aumento do peso específico do solo devido à retenção de parte da água infiltrada (IPT, 1991).

Conforme Fernandes e Amaral (1996) *apud* Florenzano (2008), os movimentos de massa podem ter diversas classificações, isto se daria devido à variedade de materiais, processos e fatores condicionantes.

Florenzano (2008) apresenta uma classificação desenvolvida no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) em 1991. Esta classificação divide os movimentos de massa em: quedas de bloco, subsidência, escorregamentos (translacionais e rotacionais) e escoamentos (rastejos e corridas).

As quedas de blocos são movimentos rápidos em queda livre, que se dão pela ação da gravidade e sendo atribuídos a áreas íngremes. Nos locais onde este tipo de movimento ocorre geralmente há fratura nas rochas ou desgastes na base da encosta, (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

As subsidências são movimentos em que o deslocamento da massa é normalmente vertical, podendo ter origem natural (epirogenia) ou antrópica (retirada de material subterrâneo) (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Os escorregamentos são processos que ocorrem de forma rápida, com um plano de ruptura definido. Os escorregamentos rotacionais possuem uma superfície de ruptura curva, côncava, estes geralmente estão associados a regiões com pacotes de solo bem desenvolvidos e está associado ao desgaste da base da encosta (IPT, 1991). Os escorregamentos translacionais apresentam um plano de ruptura abrupto, planar e são de curta duração, ocorrendo durante chuvas intensas (IPT, 1991).

Os escoamentos são movimentos contínuos e não apresentam uma superfície definida. De acordo com sua velocidade estes podem ser divididos, segundo Guidicini e Nieble (1984) em: rastejos (lentos) e corridas de massa (rápidos).

2.4 SISTEMA FLUVIAL

O rio com seu talvegue controla os processos de formação do vale³, tendo influência direta na calha e na planície de inundação e influência indireta na reativação dos processos de encosta, e por vezes, erodindo a base das elevações (GUERRA E CUNHA, 1996).

As formas de relevo de origem fluvial são elaboradas a partir do escoamento concentrado da água em canais fluviais, conforme afirma Florenzano (2008).

Segundo Guerra e Cunha (1996), a dinâmica inter-relação existente entre as encostas (vertentes) e os vales fluviais permite constantes trocas de causa- efeito entre esses elementos da bacia hidrográfica.

O fundo do vale pode ser entendido sob o ponto de vista dos tipos de leito, tipos de canal e padrões de drenagem, pois cada uma destas fisiografias possui uma dinâmica peculiar das águas correntes (CUNHA, 1995).

³ O vale fluvial é uma depressão alongada (longitudinal) constituída por um ou mais talvegues e duas vertentes com sistemas de declive convergente (Guerra, 1993).

Os tipos de leito fluvial (Fig. 2), que correspondem ao espaço ocupado pelo escoamento das águas, mudam de acordo com as descargas e consequente topografia dos canais fluviais sendo classificados, em: leito menor, leito vazante, leito maior e leito maior excepcional (TRICART, 1966).

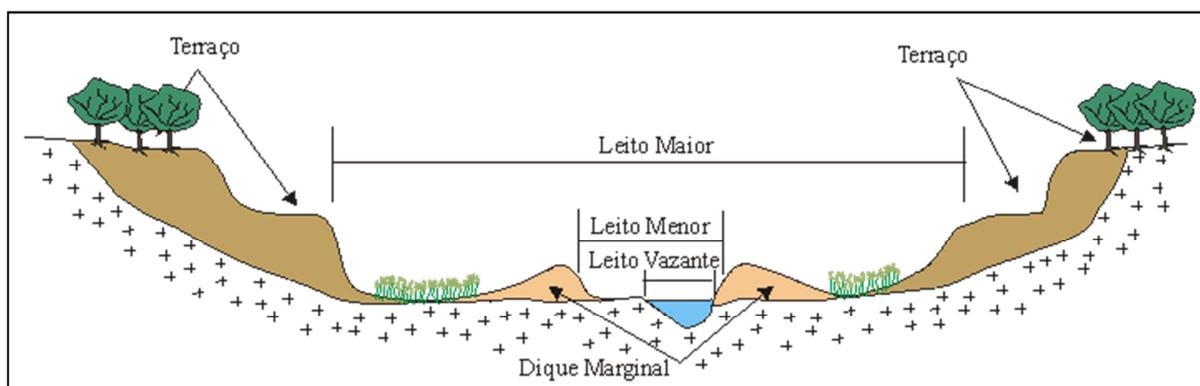


Figura 2: Representação dos tipos de leito fluvial. Fonte: (UNESP, 2010).

O leito menor é a parte do canal ocupada pelas águas e cuja frequência impede o crescimento da vegetação, este é delimitado por margens bem definidas. O leito vazante está incluído no leito menor e equivale à parte do canal ocupada durante o escoamento das águas de vazante, acompanhando o talvegue. Já o leito maior periódico ou sazonal corresponde à área ocupada pelas cheias, pelo menos uma vez ao ano, podendo haver o crescimento de vegetação. O leito maior excepcional corresponde a áreas por onde as águas de cheias mais elevadas ocupam, os intervalos destas cheias são irregulares (GUERRA E CUNHA, 1994).

O conceito de inundação segundo Castro (1998) está relacionado ao extravasamento das águas do leito menor de um rio para a planície de inundação, que equivale ao leito maior. Isto ocorre devido ao excesso de volume de água não drenado pela falta de capacidade fluvial. Quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem.

Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem inundações (TUCCI, 2002). A inundação é um fenômeno natural e seus efeitos se tornam danosos devido à ocupação humana em áreas susceptíveis, como afirmam Cooke e Doornkamp (1974) *apud* Oliveira (2004).

De acordo com Cooke e Doornkamp (1990), os fatores que se inter-relacionam e são responsáveis pela ocorrência de eventos de inundação podem ser divididos em transitórios, permanentes e mistos. Os fatores transitórios estão associados à ocorrência de chuvas, taxas de evapotranspiração e grau de saturação do solo. Os fatores permanentes correspondem às características morfométricas da bacia de drenagem e à geologia e os fatores mistos estão relacionados ao tipo de uso e ocupação do solo.

Torna-se importante diferenciar do termo inundação as enxurradas, pois estas constituem-se no volume de água que escoar na superfície do terreno com grande velocidade, devido a eventos chuvosos intensos (CASTRO, 1998). Este tipo de evento tem forte relação com os processos que ocorrem no setor de vertentes, pois se as vertentes estiverem com suas condições naturais preservadas haverá uma diminuição e retardo do escoamento superficial e um aumento da infiltração, fato que diminuiria a ação das enxurradas.

As características morfométricas de uma bacia exercem forte influência sobre a suscetibilidade à inundação desta e os parâmetros considerados como aqueles que apresentam melhor relação quanto ao desencadeamento potencial de inundações são inúmeros (Souza, 2005).

Morisawa (1962), por exemplo, considerou que a descarga e o escoamento superficial são função principalmente da área da bacia, do comprimento total dos canais, da frequência dos canais de 1ª ordem, do gradiente ou declividade do canal principal e da circularidade da bacia.

Souza (2005) concluiu que os parâmetros morfométricos que tem a melhor relação com as inundações são: hierarquia da bacia, número e frequência de canais totais e de primeira ordem, tamanho da bacia, comprimento do canal principal, forma da bacia, fator forma e índice de circularidade, declividade do canal principal e da bacia, densidade hidrográfica e de drenagem, densidade de confluências e relação de bifurcação, taxa de relevo e rugosidade.

A soma de todos os fatores é complexa, pois as variáveis se inter-relacionam de maneira não linear, sendo importante em qualquer estudo o conhecimento da área e dos fatores que condicionam as inundações, sendo eles transitórios, permanentes ou mistos.

2.5 CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA

A Cartografia Geomorfológica se constitui em importante instrumento na espacialização dos processos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades (Cassetti, 2005).

Para Ross (1990) os mapas geomorfológicos apresentam um grau de complexidade maior que os demais mapas temáticos, isto decorreria da dificuldade de se apreender e representar as formas do relevo, suas dinâmicas e gêneses.

Tricart (1965) ressalta que o mapa constitui a base da pesquisa e não a concretização gráfica da mesma. Este seria ao mesmo tempo o instrumento que direciona a pesquisa e após a conclusão, deveria representar uma síntese como produto desta (Ross, 2000).

De acordo com o grupo de pesquisa sobre cartografia geomorfológica do IAG (*International Association of Geomorphologists*) apud Moroz (2010), os mapas geomorfológicos são de grande utilidade para outros profissionais que trabalham com paisagem e relevo, fato que mostra a importância destes em trabalhos interdisciplinares.

Alguns dos primeiros mapas geomorfológicos detalhados foram publicados por Siegfried Passarge em 1914 em seu atlas geomorfológico (Hayden, 1986). Hayden (1986) afirma, porém, que até o final da segunda guerra mundial, exceto alguns mapas locais feitos ocasionalmente por pesquisadores europeus, não houve nada de expressivo no desenvolvimento da cartografia geomorfológica.

A partir do 18º Congresso da União Geográfica Internacional (IGU), que ocorreu no Rio de Janeiro em 1956, a importância dos mapas geomorfológicos passou a receber reconhecimento internacional, conforme destaca Hayden (1986). O autor afirma que dois anos após, no Congresso de Estocolmo da IGU, foi criada a subcomissão de mapeamento geomorfológico, nesta foram discutidas três tarefas: introduzir e desenvolver metodologias de mapeamento geomorfológico; adotar um sistema uniforme de mapeamento geomorfológico, garantindo compatibilidade, e demonstrar as aplicações de mapeamento geomorfológico no planejamento local e regional a fim de facilitar o uso racional da superfície da terra.

Antes da criação da subcomissão, alguns países como a Suíça, a URSS, a Polônia, a França, a Tchecoslováquia, o Japão, a Bélgica e a Hungria estavam

elaborando mapas geomorfológicos detalhados de seus territórios, mas neste período, conforme afirma Hayden (1986), em termos de conteúdo e metodologia, estes mapas eram muito diferentes, não tendo como compará-los, bem como estes eram limitados para análises geomorfológicas abrangentes.

Hayden (1986) afirma que na década de 1960 a subcomissão de mapeamento geomorfológico reuniu-se regularmente e que em 1968 durante congresso da UGI em Nova Deli, na Índia, foi assumido o compromisso de desenvolvimento de um manual de cartografia geomorfológica e construção de uma legenda para o mapa geomorfológico da Europa (1: 2.500.000). A legenda foi publicada por Bashenina *et al.* (1971) e o manual foi publicado por Demek (1972).

Apesar de todas as tentativas de uniformização de métodos e criação de legendas universais, Ross (1990) afirma que o desenvolvimento da Cartografia Geomorfológica está cada vez mais diversificado, mas o autor reconhece que há uma certa unanimidade quanto ao conteúdo geral dos mapas (tipos de forma do relevo, gênese e idade). A padronização da representação cartográfica, que diverge entre as diferentes linhas de trabalho, segundo o autor, é devido às finalidades específicas, ao tipo de material disponível para a execução do trabalho e quanto à escala de tratamento.

A respeito da valorização de alguns aspectos em relação a outros quando são representadas as formas do relevo, Cunha *et al.* (2003) faz uma comparação de duas propostas de mapeamento, que são base de adaptações feitas por pesquisadores brasileiros: a proposta de Tricart (1965) e a proposta de Verstappen e Zuidam (1975). Os autores assinalam divergências quanto à classificação de determinadas feições geomorfológicas, citando como exemplo as rampas coluviais, que na proposta de Tricart aparecem como formas de acumulação, dentro do grupo forma de vertente e interflúvios e que em Verstappen e Zuidam estão no subgrupo formas de origem gravitacional, no grupo formas de origem denudativa. Moroz (2010) ressalta que as comparações demonstram como cada metodologia tende a privilegiar alguns elementos em relação a outros na representação cartográfica, variando de acordo com as concepções de seus autores e a finalidade para a qual foram elaborados.

Com base nas recomendações da Sub-Comissão de Cartas Geomorfológicas da IGU, a carta geomorfológica de detalhe, em escala grande, deve comportar quatro

tipos de dados: morfométricos, morfográficos, morfogenéticos e cronológicos (Tricart, 1965).

Florenzano (2008) afirma que na elaboração de uma carta geomorfológica, trabalha-se com as formas ou com os elementos. No sistema dos elementos, planos, rupturas e curvas representam os fatos básicos na cartografia e geralmente conduzem a uma carta carregada de sinais e de difícil leitura. Segundo esta autora os sistemas de mapeamento russo, polonês e o da antiga Tchecoslováquia estariam entre aqueles que trabalham com o modelo das formas enquanto os sistemas britânicos e franceses aplicam o modelo dos elementos do relevo.

Buscando uma explicação para as diferentes escalas têmporo-espaciais diferentes autores propuseram classificações taxonômicas do relevo. Cailleux e Tricart (1956) procuraram demonstrar que existem diferentes ordens de grandeza das formas de relevo, e que estas têm relação com as idades das formas e com os processos atuantes nelas. Tricart (1965) retoma esta proposta e enfatiza o critério escalar, em detrimento do critério genético, conforme afirma Florenzano (2008).

A preocupação quanto às relações taxonômicas das unidades, feições ou formas a serem representadas, levaram Ross (1992) a apresentar uma proposta, tendo como referência a proposta taxonômica de Demek (1967) e os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura de Gerasimov (1946) e Gerasimov e Mescherikov (1968).

Demek (1967) havia proposto a utilização de três unidades taxonômicas básicas nas cartas geomorfológicas, estas seriam: as superfícies geneticamente homogêneas, as formas do relevo e os tipos de relevo.

Gerasimov (1946) classifica o relevo terrestre em duas principais categorias, objetivando facilitar a realização da cartografia do relevo. São elas: a morfoestrutura e a morfoescultura. A idéia fundamental desta classificação tem suas raízes embasadas na premissa penckiana do jogo de forças atuantes na formação do relevo, ou seja, as forças endógenas, representadas pelos movimentos tectônicos, as quais são responsáveis pelas morfoestruturas e as forças exógenas, que formam os elementos morfoesculturais, configurados como formas de dimensões relativamente reduzidas.

A seguir tem-se um quadro sintetizando a proposta taxonômica de Ross (Fig. 3).

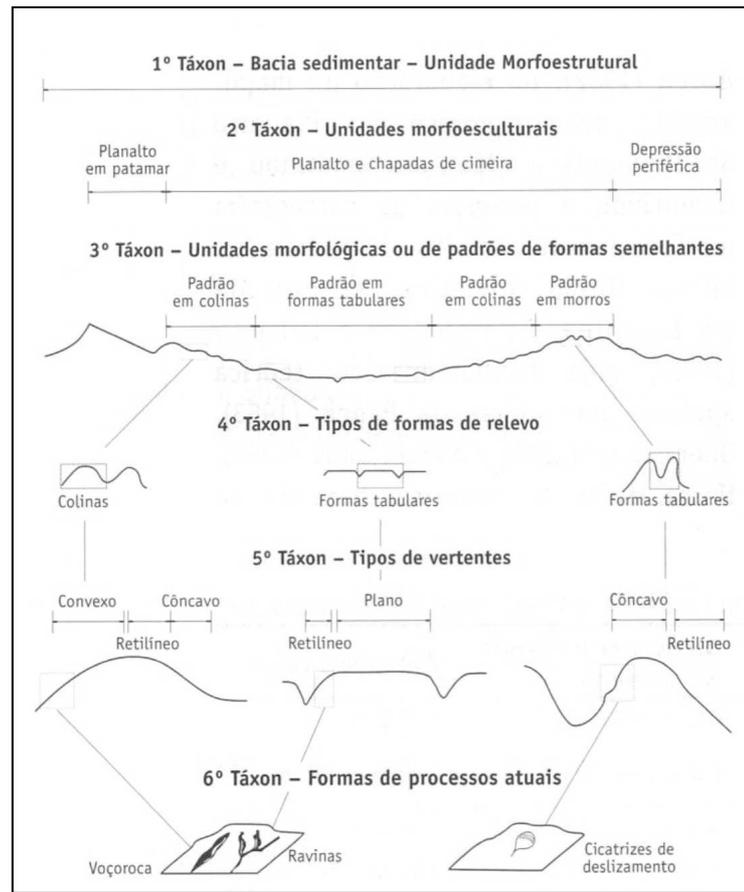


Figura 3: Representação esquemática das unidades taxonômicas propostas por Ross (1992). Fonte Florenzano (2008).

Na Classificação de Ross (1992) existem 6 táxons do relevo e estes estão caracterizados abaixo:

Primeiro Táxon: Caracteriza-se por ser o maior, estando ligado ao conceito de morfoestrutura. Corresponde aos grandes padrões de formas de influências tectônicas-estruturais no relevo, no exemplo acima, a bacia sedimentar.

Segundo Táxon: Refere-se a unidades morfoesculturais contidas em cada unidade morfoestrutural, sendo geradas pela ação climática ao longo do tempo geológico.

Terceiro Táxon: Corresponde a unidades morfológicas ou aos padrões de formas semelhantes contidos nas unidades morfoesculturais, sendo de duas naturezas genéticas: formas agradacionais (de acumulação) e denudacionais (de erosão).

Quarto Táxon: É representado pelas formas individualizadas que compõem uma unidade morfológica.

Quinto Táxon: Corresponde às vertentes, de gêneses distintas, que pertencem a cada uma das formas individualizadas do relevo, podendo a forma ser côncava, retilínea e convexa.

Sexto Táxon: Corresponde às pequenas formas de relevo, como aquelas resultantes de processos atuais. Como exemplo tem-se voçorocas, ravinas, bancos de assoreamento e formas antrópicas como cortes e aterros.

Os mapeamentos e análises das formas, gêneses e dinâmicas do relevo, segundo Ross (1994) subsidiam a avaliação das fragilidades dos ambientes e do potencial de uso da terra.

Dentro da cartografia geomorfológica existem várias metodologias e procedimentos a serem aplicados. O mapeamento das fragilidades consiste em um tipo específico de cartografia geomorfológica, que serve de subsídio para o planejamento territorial e visa caracterizar a área estudada conforme suas susceptibilidades frente a determinados processos, como por exemplo, a erosão Ross (1994), tornando-se assim importante para este trabalho o entendimento do que é a fragilidade ambiental.

2.6 FRAGILIDADES DO AMBIENTE

A fragilidade ambiental é entendida por Spörl (2001) como a suscetibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano. Quanto mais frágil for o ambiente, maior a dificuldade que este encontrará para se recompor e voltar às condições que apresentava anteriormente a alguma alteração antrópica ou a catástrofes naturais.

Ross (1994) propôs uma metodologia de análise empírica de fragilidade fundamentando-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas. Os procedimentos operacionais para a sua construção exigem em um primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

O princípio da funcionalidade intrínseca baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica preconizada por Tricart (1977). A metodologia de Tricart propõe uma classificação para essas unidades de paisagem denominadas unidades

ecodinâmicas ou unidades morfodinâmicas. Em função da intensidade dos processos atuais, estas são divididas em:

- Unidades Ecodinâmicas Estáveis: São unidades onde há estabilidade morfogenética. Isto significa que o sistema não está estagnado, mas possui uma evolução gradativa lenta no tempo e com os fatores em harmonia, assim os processos pedogenéticos são favorecidos em relação aos processos morfogenéticos. São áreas onde foi preservado o equilíbrio natural das ações antrópicas. A morfodinâmica atua em estado natural e predominam os processos de intemperismo físico-químico sob vegetação densa, onde o impacto das chuvas é atenuado pela cobertura vegetal.
- Unidades Ecodinâmicas Intergrades: Estas são caracterizadas pela equivalência entre a pedogênese e a morfogênese, sendo áreas onde existe uma passagem gradual entre meios estáveis e meios instáveis, ou seja, com balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas.
- Unidades Ecodinâmicas Fortemente Instáveis: Nestas unidades a morfogênese predomina sobre a pedogênese. São unidades onde as intervenções humanas modificaram intensamente os ambientes naturais através do desmatamento e práticas de atividades econômicas diversas. As condições naturais de cobertura vegetal foram substituídas por pastagens e plantações, sendo que a retirada da vegetação possibilita a atuação dos agentes climáticos, principalmente a chuva.

Diante dos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está submetido, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de cinco categorias de fragilidade representadas por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5).

A carta de fragilidade ambiental é um produto de integração, principalmente das cartas clinográfica (para escalas grandes) ou de dissecação do relevo (para escalas médias e pequenas), de solos, do grau de proteção que o solo recebe em função do uso da terra e da cobertura vegetal natural e de informações pluviométricas (Ross, 1994). As categorias de fragilidade das variáveis consideradas por este autor estão nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Categorias hierárquicas das declividades na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).

Fragilidade	Intervalos de declividades
1 - Muito fraca	<6%
2 – Fraca	6 a 12%
3 – Média	12 a 20%
4 – Forte	20 a 30%
5 - Muito forte	>30%

Tabela 2: Classes de fragilidade do solo na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).

Fragilidade	Tipos de solos
1 - Muito Fraca	Latossolo Roxo, Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo Textura Argilosa
2 – Fraca	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo Textura Média/Argilosa
3 – Média	Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo Textura Média/Argilosa
4 – Forte	Podzólico Vermelho-amarelo Textura Média/Arenosa e Cambissolos
5 - Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas

Tabela 3: Graus de proteção e fragilidades, segundo cobertura vegetal/uso da terra na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).

Grau de Proteção/Fragilidade	Tipos de cobertura vegetal/Usos da terra
Muito Alta/Muito fraca	Florestas com matas naturais ou cultivadas com biodiversidade.
Alta/Fraca	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso; Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa); Mata homogênea de Pinus densa; Pastagens cultivadas sem pisoteio do gado; Cultivo de ciclos longos.
Média/Média	Culturas de ciclo longo em curvas de nível, terraceamento com café, laranja com forrageiras entre as ruas; Pastagens com baixo pisoteio; Silvicultura de Eucaliptos com sub-bosque de nativas.
Baixa/Muito forte	Culturas de ciclo longo de baixa densidade, com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto, com cultivo em curvas de nível/terraceamento.
Baixa a Nula/Forte	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto por caminhos, estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionista.

Como produto síntese de sua metodologia, Ross (1994) criou a carta de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e a carta de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente, sendo a primeira ligada às áreas onde o ambiente encontra-se com suas características naturais intactas ou pouco alteradas, e a segunda representando as áreas que apresentam atividades humanas, responsáveis pela alteração do ambiente natural, exemplo destas são a agricultura e a pecuária.

Apesar de Ross (1994) ter considerado em sua metodologia a susceptibilidade a erosão como o fator de fragilidade do ambiente, alguns autores como Fujimoto (2001) tratam também a susceptibilidade a inundação como uma fragilidade do ambiente, esta associada ao sistema fluvial.

Fujimoto (2001) considerou como fatores potencializadores dos eventos de inundação na Sub-Bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre – RS) os condicionantes geomorfológicos, as características do material de cobertura, os condicionantes climáticos e os condicionantes relacionados ao uso e ocupação da terra e intervenções nos canais fluviais (barramentos). Esta autora conseguiu dividir em três classes as susceptibilidades a inundação nesta bacia hidrográfica urbana, que variam de alta a baixa, conforme características acima citadas.

As áreas de alta susceptibilidade consistem em áreas planas com material de cobertura superficial com grande presença de argila e silte e com o lençol freático elevado e por vezes aflorante. Estas áreas são cercadas por vertentes de elevadas altitudes e declividades.

Devido a colmatação e elevação do nível de base destas áreas, em consequência do material oriundo das vertentes, estas planícies flúvio-lacustres tornam-se mais susceptíveis as inundações.

A classe de média susceptibilidade trata de áreas planas associadas aos canais principais e suas respectivas planícies de inundação, principalmente nas desembocaduras destes canais, que são formadas por material predominantemente arenoso. Devido ao aumento do escoamento superficial oriundo da urbanização, ao assoreamento dos canais e aos estrangulamentos artificiais dos leitos fluviais, estas áreas ficam sujeitas ao transbordamento das águas dos canais durante os eventos de chuva.

As classes de baixa susceptibilidade a inundação estão relacionadas a áreas planas elevadas nas adjacências de vales em forma de V. Estas possuem uma boa capacidade de escoamento fluvial quando comparadas as outras duas classes, mas eventualmente podem ser inundadas.

Este trabalho buscou utilizar-se das metodologias de Ross (1994) e Fujimoto(2001) para o entendimento das fragilidades na SbHASI.

3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Para a realização deste trabalho desenvolveu-se uma seqüência de procedimentos técnico-operacionais, que permitiram alcançar os objetivos da pesquisa. Os produtos gerados no trabalho estão representados graficamente através do diagrama (Fig. 4) a seguir.

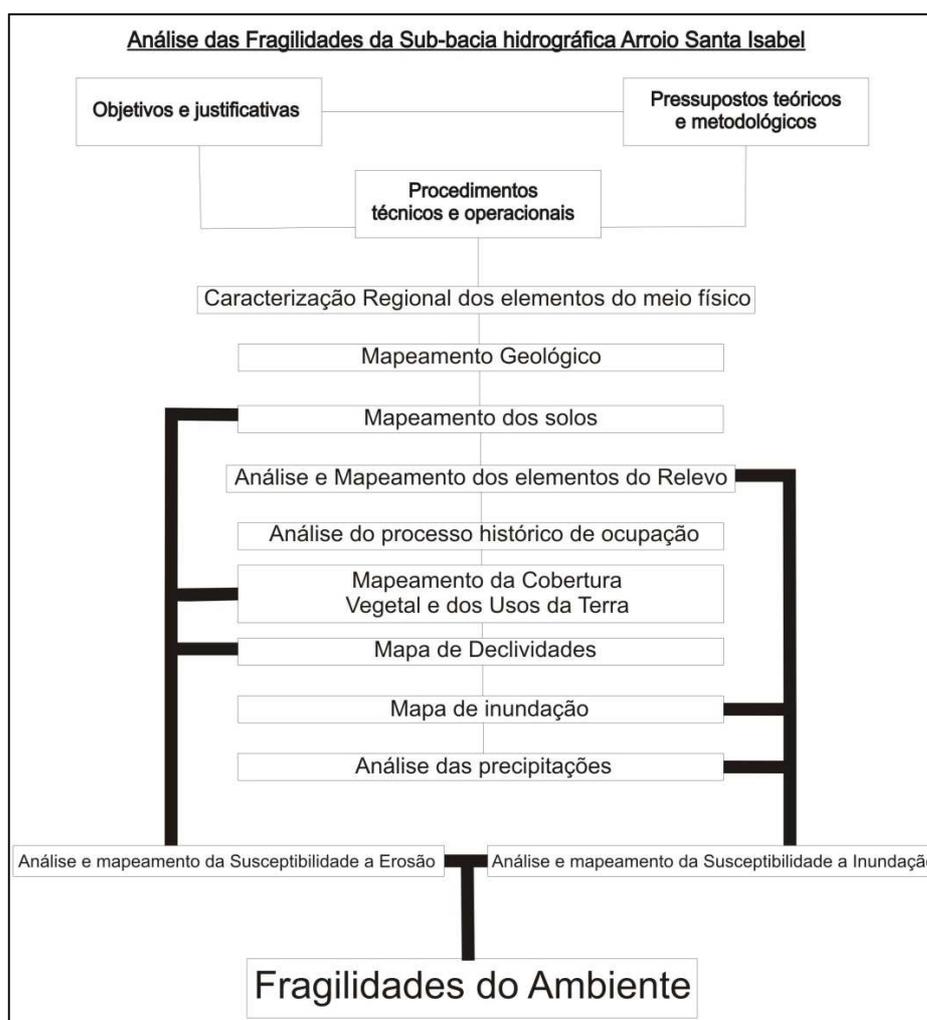


Figura 4: Diagrama contendo os processamentos e produtos gerados na pesquisa.

3.1 MATERIAL CARTOGRÁFICO

Foram utilizadas as cartas topográficas editadas pelo Ministério do Exército, Diretoria de Serviço Geográfico, escala 1:50.000, das folhas Arroio Evaristo (SH.22-Y-D-I-2:MI-3011/2), Pacheca (SH.22-Y-D-II-3:MI-3012/1) e Boqueirão (SH.22-Y-D-I-4), que serviram de base para a delimitação da SbHASI; as imagens *Landsat 5*, sensor TM (*Thematic Mapper*) para os mapeamentos de cobertura vegetal e usos da terra, inundações e susceptibilidade à erosão; as fotografias aéreas 1:60.000 para o mapeamento geomorfológico.

Os *softwares* utilizados ao longo deste trabalho foram: *ARC GIS 9.3*, *ENVI 4.2* e *Hidroweb*.

3.2 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

A caracterização regional deu-se através de pesquisa bibliográfica sobre aspectos geológicos, geomorfológicos e o clima da região.

As informações coletadas sobre a geologia foram principalmente relativas à evolução geológica no contexto regional e as características geológicas e estruturais decorrentes desta evolução, visando assim à caracterização morfogenética da área de estudo.

A caracterização regional da geomorfologia foi realizada através de material produzido por IBGE (1986). Também foi adaptado um mapa geomorfológico da região onde se encontra a sub-bacia, este é uma atualização de IBGE (2003) para o mapeamento realizado por IBGE (1986).

Os dados referentes ao clima da região foram extraídos de caracterizações sobre o clima feitas por Embrapa (2005;2006) dos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul e de bibliografia existente sobre os aspectos pluviométricos regionais.

Através de série histórica disponível no site da Agência Nacional de Águas e manejada no *Hidroweb*, foram levantados os dados de precipitação no período de 1966 a 2011.

No Programa EXCEL 2010 foram elaborados gráficos com os dados de precipitação da série histórica para cada mês do ano e a média aritmética, visando

encontrar anos que tiveram precipitações acima da média e os meses que tiveram as maiores quantidades de chuva.

Com base nas precipitações foram identificados índices pluviométricos que causam inundações na área de estudo e também foi possível interpretar o potencial erosivo das chuvas na SbHASI.

A estação pluviométrica utilizada foi a do Boqueirão, localizada no município de São Lourenço do Sul, sendo operada pela CPRM e está a aproximadamente 2 km das nascentes da SbHASI. Esta estação é a mais próxima da área de estudo em funcionamento e suas coordenadas geográficas são latitude $-31^{\circ}17' 2''$ / longitude $-52^{\circ}4' 59''$.

3.3 MAPEAMENTO GEOLÓGICO E PEDOLÓGICO

Para o mapeamento da geologia da sub-bacia utilizou-se como base o mapa geológico do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000, da folha de Pelotas. Este após ser vetorizado no *Software ARC GIS 9.3* e recortado nos limites da bacia foi aperfeiçoado através de quatro trabalhos de campo que se deram nas datas (05/08/2010, 05/07/2011, 07/10/2011 e 21/12/2011). O mapa geológico auxiliou também na diferenciação das unidades do relevo quanto a sua composição material e gênese, já que algumas formas com diferentes origens, por vezes, tem um modelado similar.

O mapa de solos foi elaborado a partir dos mapeamentos de Embrapa (2005; 2006), que correspondem respectivamente aos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul. Estes mapeamentos foram realizados em escala compatível com esta pesquisa (1: 60.000). O processo de vetorização das unidades de solo foi realizado no *software ARC GIS 9.3*, onde primeiramente foram georeferenciados os mapas pré-existentis.

Com os mapas georeferenciados e vetorizados realizaram-se campos (em conjunto com os de geologia) com o objetivo de visualizar e entender a resistência dos diferentes solos à erosão pluvial e as condições de drenagem destes nas planícies de inundação dos arroios da sub-bacia hidrográfica. Este mapa foi usado no cruzamento de fatores para gerar o mapa de susceptibilidade à erosão.

3.4 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

O mapeamento geomorfológico consistiu inicialmente na fotointerpretação das formas de relevo a partir de fotografias aéreas da área de estudo. As fotografias aéreas usadas neste trabalho foram de escala 1:60.000 do projeto AF.63.32, que ocorreu nos anos de 1964 e 1965, as fotografias e suas faixas de vôo são: *Roll – 130/ line – 221C* (17016, 17017, 17018 e 17019), *Roll – 169/ line – 222C* (21504, 21505, 21506, 215070, 21508 e 21509) e *Roll – 169/ line – 223B* (21621, 21622, 21623, 21624, 21625 e 21626).

Para auxiliar a caracterização geomorfológica da área de estudo foram gerados mapas contendo variáveis morfométricas, que são: o mapa hipsométrico, o mapa clinográfico e um modelo em 3D da área da bacia. Para criação destes foram extraídas as curvas de nível com equidistância de 1 metro de uma imagem SRTM (SH-22-Y-D) disponibilizada por Miranda (2005). O processamento foi realizado na extensão *Spatial Analyst-Surface Analysis-Contour* do software *ARC GIS 9.3*.

A partir da *layer* curvas de nível em formato *shape* (shp), foi gerado um arquivo TIN (*Triangular Irregular Network – Rede Triangular Irregular*), na extensão *3D Analyst*. Adquirido o Modelo Numérico do Terreno criou-se o mapa hipsométrico, convertendo o arquivo TIN em arquivo *raster* (TINGRID). Este foi dividido em 21 classes, com amplitude de 10 metros no terreno, representando o terreno em cores.

O mapa clinográfico ou de declividades, também foi gerado a partir do arquivo TIN, na extensão *Surface Analysis*. Este foi elaborado em percentagens, sendo que os intervalos adotados foram: A – menos de 6%, B – 6% a 12%, C - 12% a 20%, D – 20% a 30% e E – mais de 30%. Este mapa foi usado também no cruzamento de fatores para gerar o mapa de susceptibilidade à erosão.

O mapa geomorfológico foi produzido até o terceiro nível taxonômico de Ross (1994). Nesse mapa foi avaliado desde a escala da unidade morfoestrutural até os padrões de formas semelhantes do relevo. Para isto foi feita a interpretação das fotografias aéreas através do par estereoscópico, buscando mapear os diferentes aspectos fisionômicos e as diferentes intensidades de dissecação do relevo. A interpretação foi registrada em papel transparente sobre as fotografias, sendo posteriormente georeferenciado e vetorizado no software *ARC GIS 9.3*. O mapeamento resultou em 8 classes, que representam a morfologia do relevo da Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel.

Os trabalhos de campo nas datas (07/10/2011 e 21/12/2011) serviram para averiguar as informações do mapa, para analisar a morfodinâmica nas diferentes unidades do relevo e para o registro fotográfico as principais feições do relevo.

3.5 ANÁLISE DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ARREDORES

A análise sobre o processo de ocupação histórica e a caracterização socioeconômica ocorreu através de pesquisa bibliográfica, visando remontar o processo de ocupação regional e as características da população na área da bacia hidrográfica do Arroio Santa Isabel.

Utilizando-se o banco de dados agregados do IBGE (SIDRA) levantou-se o número de pessoas residentes na SbHASI. Este levantamento baseou-se nos setores censitários inseridos na bacia está inserida. Os setores e seus códigos são: Passo do Mendonça (430605625000003 e 430605625000004) pertencentes à Cristal, Boqueirão (431880410000004, 431880410000005, 431880410000006 e 431880410000007) e Prado Novo (431880435000002 e 431880435000003) pertencentes à São Lourenço do Sul. Também foram extraídas informações sobre os municípios inseridos na SbHASI.

3.6 ANÁLISE E MAPEAMENTO DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA

Inicialmente foi realizada uma caracterização da vegetação presente na área de estudo, tendo por base IBGE (1986). Em seguida foram selecionadas três imagens *Landsat 5*, sensor TM (*Thematic Mapper*) com trinta metros de resolução espacial. As imagens são da órbita ponto 221_082 e as datas escolhidas foram: 05 de maio de 1988, 23 de abril de 1995 e 02 de maio de 2010. A escolha das datas baseou-se em dois critérios: I) o critério de utilizar imagens do mesmo período do ano e II) a disponibilidade das imagens com reduzida cobertura de nuvens na área de interesse, para melhor classificação.

No período selecionado para o mapeamento praticamente todos os cultivos temporários presentes na área de estudo já foram colhidos (arroz, soja, fumo e milho).

O início dos trabalhos consistiu no registro das imagens selecionadas. A primeira imagem foi registrada através de pontos encontrados nas cartas topográficas

(intersecção de estrada e construções) que cobrem a SbHASI. Foram inseridos aproximadamente 30 pontos em cada imagem, depois da primeira imagem o processo ocorreu de uma para a outra na extensão *Map-registration-select GCPs: Image to Image*. Com os pontos inseridos, as imagens registradas foram salvas. Este processo se deu no *Software ENVI 4.2*. Posteriormente foi realizado o recorte destas através da máscara da delimitação da bacia na extensão *Basic Tools-Subset Data via ROIs* (regiões de interesse).

Na imagem de 2010 devido à presença de nuvens foi aplicada uma correção atmosférica (*Dark Subtract*), visando reduzir as interferências de nuvens no setor leste da SbHASI.

Para o processo de interpretação visual das classes de uso da terra utilizaram-se composições coloridas das bandas do espectro infravermelho próximo, infravermelho médio e vermelho (RGB 453 falsa cor). As interpretações visuais serviram para criação de *ROIs* (regiões de interesse), que foram geradas no *ENVI 4.2*. Assim, foram criadas seis classes de uso: águas, mata nativa, silvicultura, campos-pastagens, lavouras e solos expostos. As classes geradas foram baseadas em IBGE (2006).

O método de classificação supervisionada utilizado foi o da distância mínima, que atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média é mais próxima a ele. Após a classificação foi aplicado o índice Kappa para averiguar a qualidade das classificações, que alcançaram uma acurácia de 92,16% (1988), 88,93% (1995) e 82,82% (2010). No *software ENVI 4.2* esta foi obtida na extensão *confusion matrix* (Matriz de Confusão). Neste mesmo *software*, extraíram-se os números referentes às áreas geradas nas três classificações referentes a cada uso.

Ao final, os arquivos de classificação foram exportados em formato TIFF para o *ARC GIS 9.3*, onde foram convertidos em formato vetorial (*Shape*) na extensão *conversion tools - From Raster - Raster to Polygon*. Por último foram construídos os *layouts* dos mapas de Cobertura Vegetal e Usos da Terra.

Para complementar o mapeamento dos usos da terra e cobertura vegetal foram levantados os dados referentes à cultivos e criações dos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul. Estes dados foram adquiridos junto ao SIDRA e correspondem a produção agrícola municipal e rebanhos dos anos de 1995 e 2010.

3.7 MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE

Baseando-se no mapa geomorfológico produzido neste trabalho a Sub-bacia hidrográfica foi compartimentada em duas partes, a primeira onde prevalecem os processos erosivos e a segunda onde os processos do sistema fluvial predominam.

Com os setores divididos foi aplicada uma metodologia específica para encontrar os diversos graus de fragilidade do ambiente em cada setor. Posteriormente criou-se o mapa de fragilidades da toda a bacia, através da união das fragilidades dos dois setores.

Fragilidade dos interflúvios e sistema de vertente

No setor chamado interflúvios e sistema de vertente foi aplicada metodologia de fragilidade dos ambientes naturais e antropizados de Ross (1994).

A técnica para o mapeamento da fragilidade ambiental combinou a declividade do terreno com os tipos de solos e a cobertura vegetal da sub-bacia. Assim, os três mapas foram classificados individualmente conforme suas fragilidades, que foram divididas de forma hierárquica em muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5), as classes podem ser vistas nas Tabelas 4, 5 e 6. Após, estes mapas foram sobrepostos gerando áreas combinadas, relativas às fragilidades das temáticas. A combinação destes três mapas deu-se através da extensão *Analysis tools - Overlay – Union*. Posteriormente houve a classificação em *Propertiers – Symbology - Categories – Unique Values, many fields*.

Tabela 4: Categorias hierárquicas das declividades. Adaptado de Ross (1994).

Fragilidade	Intervalos de declividades
1 - Muito fraca	<6%
2 – Fraca	6 a 12%
3 – Média	12 a 20%
4 – Forte	20 a 30%
5 - Muito forte	>30%

Tabela 5: Classes de fragilidade do solo na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).

Fragilidade	Tipos de solos
3 – Média	Argissolos
4 – Forte	Gleissolos e Planossolos
5 - Muito Forte	Neossolos Flúvicos

Tabela 6: Graus de proteção e fragilidades, segundo cobertura vegetal/uso da terra na SbHASI. Adaptado de Ross (1994).

Grau de Proteção/Fragilidade	Tipos de cobertura vegetal/Usos da terra
Muito Alta/Muito fraca	Mata nativa
Média/Média	campos – pastagens, Silvicultura
Baixa/Muito forte	Lavouras
Baixa a Nula/Forte	Solos expostos

Fragilidade do Sistema fluvial

Inicialmente foi delimitada a planície de inundação da SbHASI através do mapeamento geomorfológico. A partir disto, para estabelecer as diferentes fragilidades no sistema fluvial, foram utilizados os dados de precipitação na área de interesse. Estes dados serviram para análise de eventos potenciais de inundação, fazendo uma relação entre os valores de precipitação e a ocorrência de eventos de inundação que fossem visíveis em imagens de satélite. Os valores de precipitação analisados foram divididos em dois tipos: Correspondentes a eventos acumulados de chuvas e a eventos extremos.

A pesquisa de imagens que pudessem dar a dimensão da lâmina d'água que extravasa do leito menor para a planície de inundação englobou todas as imagens *Landsat 5* disponíveis para a área e com baixa cobertura de nuvens na SbHASI, sendo contabilizado o total de 12 imagens. Somente três imagens apresentaram aumento da lâmina d'água, estas foram das seguintes datas: 01/06/1986, 27/09/2000 e 23/03/2007.

Com o auxílio do mapa Geomorfológico e das informações referentes aos solos, ao modelo numérico do terreno e as imagens, construiu-se um mapa contendo

classes hierárquicas de susceptibilidade a inundações do sistema fluvial. Junto a este mapeamento também foram sinalizadas as áreas que possuem susceptibilidades referentes às enxurradas.

4. CARACTERIZAÇÃO NO ÂMBITO REGIONAL DE ASPECTOS DA NATUREZA

4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

O estado do Rio Grande do Sul situa-se em três diferentes morfoestruturas (SUERTEGARAY e FUJIMOTO, 2004): Cráton Rio de La Plata e cinturão Dom Feliciano, Bacia Sedimentar do Paraná e Bacia Sedimentar de Pelotas. Os processos morfogenéticos nestas unidades configuraram ao longo do tempo diferentes tipos de relevo, que Suertegaray e Fujimoto (2004) classificaram em cinco morfoesculturas. As unidades morfoesculturais nas quais o RS situa-se podem ser visualizadas na Figura 5.

Das unidades Geológicas-Geomorfológicas presentes no estado do RS, os municípios de Cristal e São Lourenço do Sul estão inseridos somente na unidade do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, que se situa nas rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) e na unidade de Planície e Terras Baixas Costeiras, que se situa nos sedimentos quaternários da Planície Costeira (PC).



Figura 5: Mapa Geomorfológico do Rio Grande do Sul. Adaptado de Suertegaray e Fujimoto (2004).

O ESRG abrange no estado do Rio Grande do Sul uma superfície 65.000 km² datando do Pré-Cambriano. Inserido nele está o Batólito de Pelotas (Fig. 6), que se situa na porção leste deste e apresenta no Rio Grande do Sul uma extensão de aproximadamente 370 km e uma largura de 70 a 100 km. O arcabouço deste complexo plutônico, multintrusivo e polifásico resultou de uma longa evolução, consequente da adição de distintos processos tectônicos (Fragoso César *et al.*, 1986) durante o ciclo Brasileiro (750 - 550 Ma⁴). O batólito tem ao longo de suas extensões seis suítes⁵ granitóides (Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Intrusiva Erval, Suíte Intrusiva Viamão, Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, Suíte Granítica Cordilheira e Suíte Granítica Dom Feliciano) conforme Philipp (1998). Contém ainda

⁴ Ma = milhões de anos, Ga = bilhões de anos.

⁵ Unidades Geológicas ígneas com características similares, por exemplo, granitos e/ou basaltos, e que foram gerados em um mesmo evento.

exposições de rochas ígneas básicas e septos de rochas metamórficas encaixantes. Os estágios de formação do batólito podem ser assim sumarizados: a 800 Ma devido ao movimento das placas tectônicas dois continentes foram separados, um seria representado pelo Cráton Rio de La Plata e o outro representado pelo Cráton Kalahari. O evento formou um oceano chamado Adamastor, que com o passar do tempo foi se expandindo e por volta de 750 Ma a litosfera deste oceano começou a ser consumida pela litosfera do Cráton Rio de la Plata formando um arco magmático oriental. O evento promoveu a fragmentação de parte da borda deste cráton dando origem a outro oceano (Charrua). Há 700 Ma o assoalho do oceano Charrua também foi subductado pelo Cráton Rio de La Plata, originando um segundo arco magmático, este a oeste da zona de colisão do estágio anterior, em torno de 700 Ma. Após a segunda colisão continental se desenvolveram falhas transcorrentes de escalas translitosféricas, e magmatismos/metamorfismo associados. A partir de então, os esforços extensionais predominaram com amplo predomínio de rochas ígneas, reativações de falhas entre 600 e 550 Ma. A partir de então os eventos geológicos que predominam são o soerguimento, o intemperismo e a erosão deste conjunto de rochas do ESRG, formados ao longo de sua história geológica.

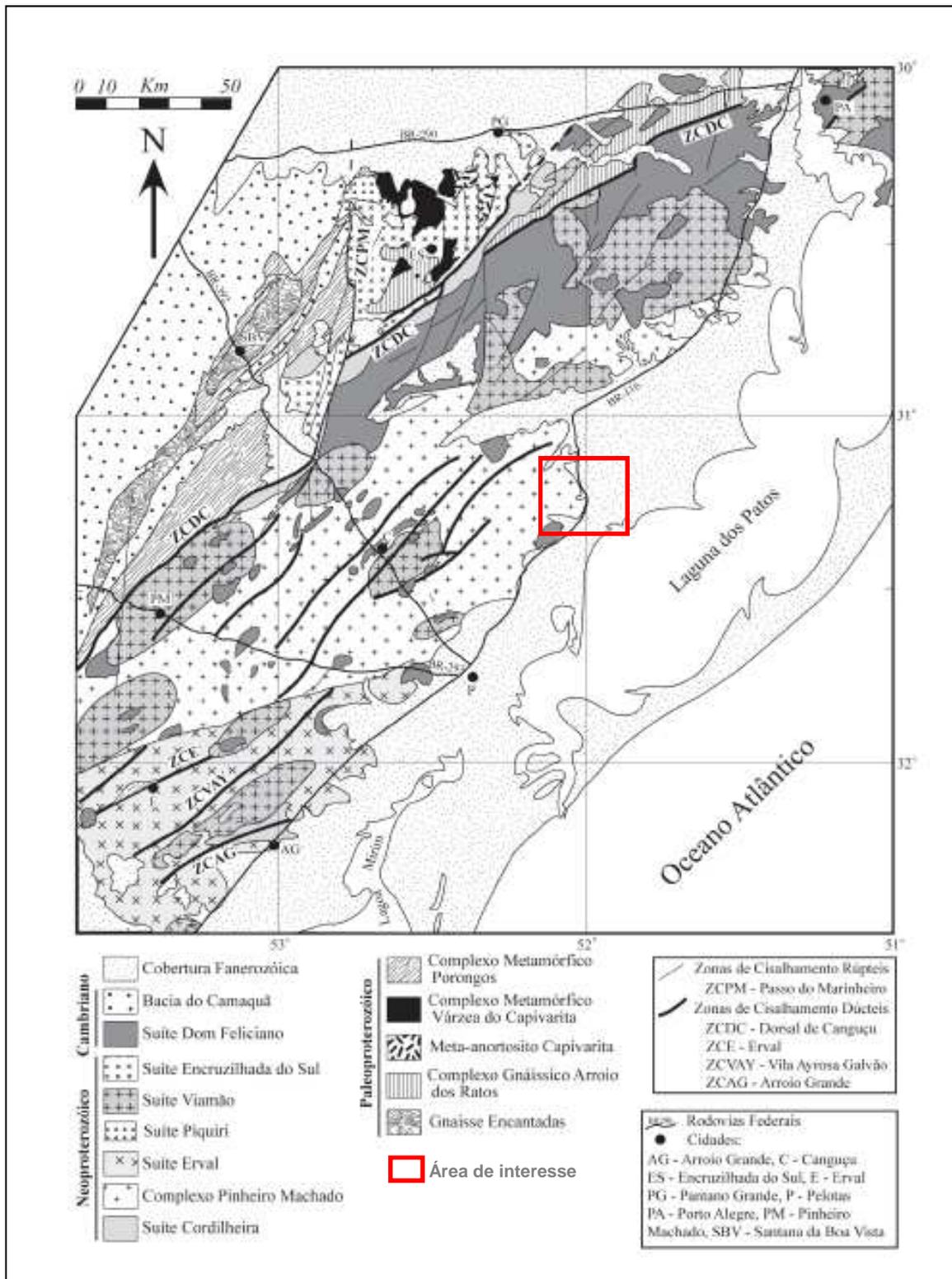


Figura 6: Mapa geológico esquemático de parte do Escudo Sul-Rio-Grandense e da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase nas unidades geológicas do Batólito de Pelotas e a localização da área de estudo (retângulo vermelho). Fonte: Philipp (1998).

A Suíte Intrusiva Pinheiro Machado é datada do NeoProterozóico (620 Ma), e foi formada durante o ciclo Brasiliano, sendo até o fim deste retrabalhada pela intrusão das demais rochas de outras suítes. As rochas da SIPM tem composições que variam de granodiorítica a monzogranítica, sendo a coloração geralmente cinza com textura equigranular de média a grossa. Nesta suíte geralmente estão associados xenólitos de rochas metamórficas que são chamados por Philipp (1998) de septos do embasamento e são em geral restritos a escala de afloramento. As rochas desta suíte estão representando as litologias mais precoces da região leste do ESRG.

A Suíte Granítica Dom Feliciano é a mais nova identificada na área de estudo. Esta possui duas fácies: fácies Serra do Herval e Cerro Grande e segundo análises de Fragozo César (1991), (CPRM, 2007) estas apresentam rochas de idade Rb-Sr de cerca de 550 Ma.

A Fácies Serra do Herval caracteriza-se pela presença de Sienogranitos equigranulares a porfiríticos, médios a grossos, rosados a avermelhados, com feldspato alcalino, quartzo e rara biotita.

A Fácies Cerro Grande é composta de monzogranitos cinza-claros a levemente amarelados, inequigranulares porfiríticos com fenocristais cinza-claros de feldspatos em matriz grossa a muito grossa.

A Planície Costeira, no Rio Grande do Sul, tem cerca de 33.000 km², representando a porção superficial do pacote sedimentar da Bacia de Pelotas. Para o entendimento da formação da Planície Costeira é preciso entender que os sedimentos foram depositados como fácies sedimentares agrupadas em sistemas deposicionais, divididas em sistemas de leques aluviais e sistemas do tipo laguna-barreira (Tomazeli e Vilwock, 1996).

Os leques aluviais compreendem o conjunto de depósitos sedimentares resultantes de transporte de sedimentos das encostas de terras altas adjacentes. Os processos dominantes dos depósitos são gravitacionais e acabaram sendo depositados em meio aquoso. Na região a que pertence à área de estudo o material tem a sua principal proveniência das rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense.

O sistema de laguna-barreira (Fig. 7) é dividido em quatro barreiras ocasionadas por transgressões marinhas, às três primeiras são do período Pleistocênico e a última, que se localiza na parte distal da planície, é do Holoceno.

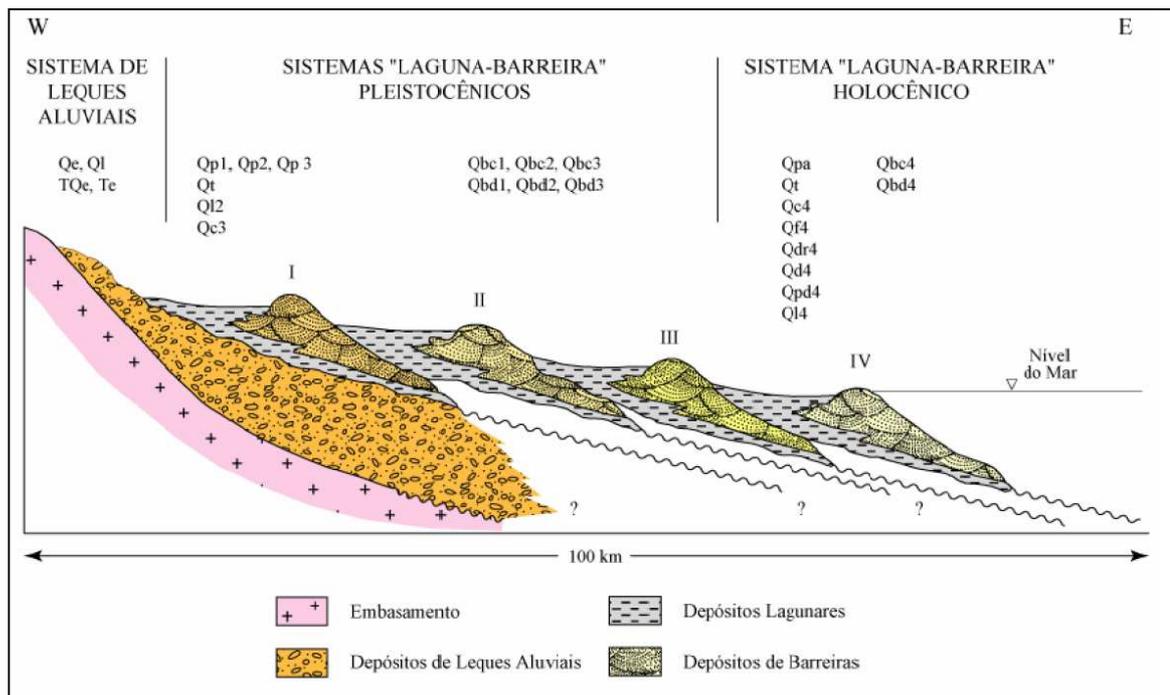


Figura 7: Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira. Fonte: Tomazelli e Villwock (2005).

Conforme IBGE (1986) há quatro unidades geomorfológicas presentes na região onde a área de estudo está situada, estas são: Planaltos residuais Canguçu-Caçapava, Planalto Rebaixado Marginal, Planície Aluvio-Coluvionar e Planície Lagunar.

Na Figura 8 essas unidades podem ser vistas através de uma atualização (IBGE, 2003) das informações da temática geomorfologia contidas no Projeto RADAM-BRASIL.

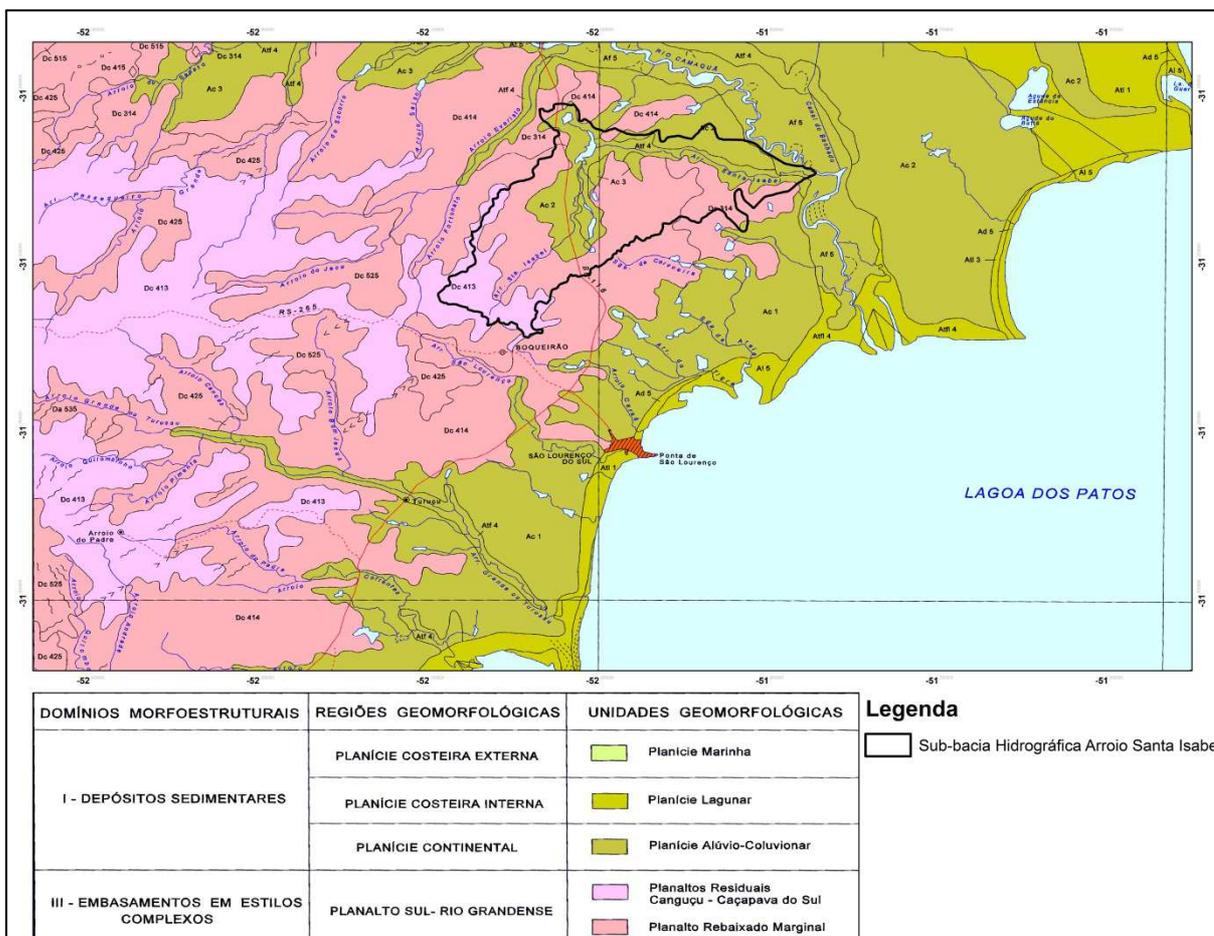


Figura 8: Geomorfologia regional com a delimitação da SbHASI. Fonte (IBGE, 2003).

A morfoescultura Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava constitui uma área de relevo dissecado em forma de colinas com topos convexos, estreitos e vertentes íngremes (IBGE, 1986). Nos topos encontram-se lajeados e pavimentos detríticos, sendo estas unidades entalhadas por sulcos e canais de 1ª ordem. Na região de interesse a densidade de drenagens desta unidade é classificada como fina e o aprofundamento das drenagens é muito fraco (IBGE, 2003), tendo média instabilidade morfodinâmica (predisposição a erosão).

O Planalto Rebaixado Marginal é uma morfoescultura com superfície dissecada, que segundo (IBGE, 1986) encontra-se predominantemente posicionada entre as cotas de 100 e 200 m de elevação. A denominação da unidade se deve ao fato desta encontrar-se rebaixada em relação aos relevos elevados que representam a unidade Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava. O contato entre as duas se dá na maioria das áreas através de escarpas e ressaltos topográficos (IBGE, 1986).

O relevo do planalto rebaixado encontra-se bastante dissecado em rochas Pré-Cambrianas do ESRG, configurando colinas, interflúvios tabulares e secundariamente cristas. A dissecção ocorreu de maneira diferenciada dentro desta unidade, não havendo predominância de nenhum tipo. Nos compartimentos alveolares encontram-se solos mais profundos (IBGE, 1986).

Na região de interesse a densidade de drenagens da morfoescultura Planalto Rebaixado Marginal varia de média a fina e o aprofundamento de drenagens é considerado muito fraco (IBGE, 2003), sendo classificada de forte instabilidade morfodinâmica (predisposição a erosão).

A morfoescultura Planície Aluvio-Coluvionar apresenta um relevo plano constituído por depósitos pretéritos decorrentes da convergência de leques de espraiamento ou de concentrações de depósitos de enxurradas, localmente selecionados pela ação das águas correntes concentradas e posteriormente pedogenizados (IBGE, 1986).

Nos contatos com as elevações residuais estes depósitos podem apresentar maior inclinação e dissecção, fazendo assim com que os processos morfogenéticos atuantes (escoamento freático e escoamento superficial difuso) se combinem com movimentos de massa lentos e deslizamentos (IBGE, 1986). A predisposição a erosão desta unidade varia de muito fraca a média na região.

A morfoescultura Planície Lagunar se caracteriza por áreas planas oriunda de processos de acumulação lacustre. Há nesta unidade pacotes sedimentares arenosos e argilosos intercalados, que foram depositados durante os eventos transgressivos-regressivos marinhos e retrabalhados em ambiente costeiro. Nesta unidade predominam os modelados de acumulação representados predominantemente por planícies e terraços lagunares.

4.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA

Conforme EMBRAPA (2005), o clima na região é temperado com a temperatura média de 18,5°C. A máxima supera os 30°C durante alguns dias no verão e no inverno pode chegar abaixo de 0°C. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro e os meses mais frios são junho e julho.

Nos anos normais, durante os meses de setembro, outubro e novembro, época de plantio das culturas de verão, a distribuição das chuvas é regular. Já nos meses

de dezembro, janeiro, fevereiro, abril e maio, o volume de chuvas é esparsa ocorrendo por vezes secas ocasionais (EMBRAPA, 2005).

Segundo a série histórica de Precipitação analisada neste trabalho, os meses mais chuvosos na SbHASI são fevereiro, julho e setembro e os meses menos chuvosos são abril e novembro, estes dados podem ser vistos na Figura 9, que traz as médias desta série histórica para a SbHASI.

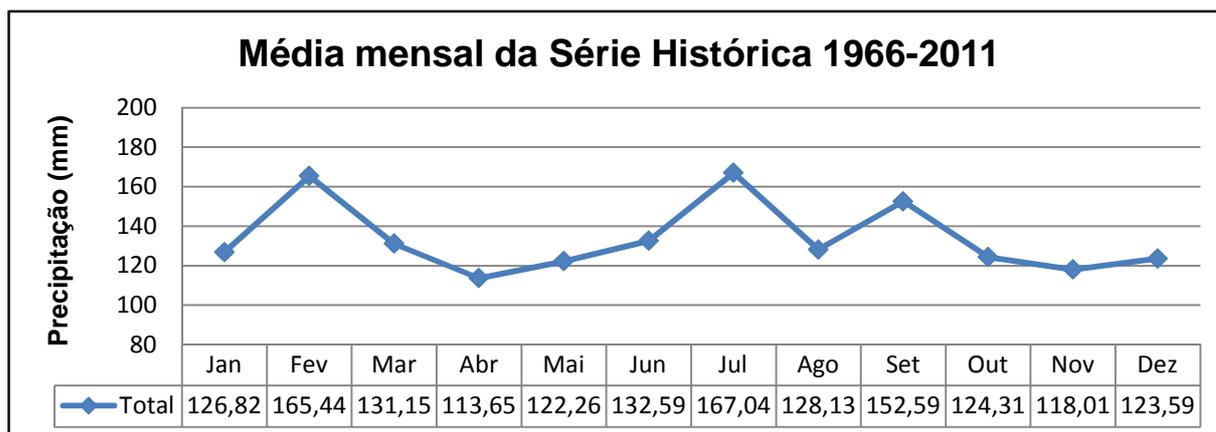


Figura 9: Média das precipitações por mês na área da SbHASI (1966-2011).

A distribuição da precipitação no RS é homogênea em todas as estações do ano, porém, há diferenças em relação aos sistemas precipitantes responsáveis pelas chuvas. Os sistemas que atuam na região sul do estado são divididos em duas escalas de movimento, os sistemas sinóticos frequentemente associados ao inverno e os sistemas de mesoescala, que são associados ao verão (SCAGLIONI e SARAIVA, 2004).

Nos meses mais frios os sistemas frontais são responsáveis pelas precipitações no estado, já para as estações mais quentes tem-se a atuação dos sistemas convectivos de mesoescala, responsáveis pelas chuvas do verão (SCAGLIONI e SARAIVA, 2004).

Os sistemas frontais correspondem ao encontro de duas massas de diferentes origens e por consequência, diferentes características, geralmente na região há o encontro de frentes frias com frentes quentes (SCAGLIONI e SARAIVA, 2004).

Os sistemas convectivos de mesoescala são fenômenos atmosféricos que provocam excessivas quantidades de precipitação em superfície, muitas vezes acompanhadas por granizo, descargas elétricas e ventos fortes (DÍAZ e ACETUNO,

2003). Estes sistemas se desenvolvem de duas maneiras distintas devido a forças (a) externas ou (b) internas:

(a) Quando uma parcela de ar potencialmente instável, próxima à superfície, é forçada a ascender em uma zona frontal, ou ascender devido ao deslocamento da corrente de jato em altos níveis ou a circulações de mesoescala (ANABOR, 2004).

(b) Após a maturidade do sistema aparecem correntes descendentes frias (rajadas de vento da nuvem), forma-se então uma massa de ar frio que serve de rampa para as correntes ascendentes úmidas e quentes que alimentam o processo convectivo (ANABOR, 2004).

O clima da região sofre influências da movimentação e do encontro de massas de ar oriundas da região polar e da área tropical atlântica conforme afirma Cargnin *et al.* (2002).

A massa Polar Atlântica é formada sobre o oceano no sul da Argentina. Esta provoca na região quedas de temperatura e precipitação pluviométrica, seguidas de ventos fortes de sul, sudoeste e oeste (secos e frios). No inverno esta massa, ao avançar sobre o RS, encontra-se com a Massa Tropical Atlântica, formando sistemas frontais responsáveis pelas chuvas de inverno. A ação desta no verão é reduzida e sua restrita penetração pode provocar chuvas intermitentes e chuveiros (Britto, 2008).

No verão a massa de ar que tem maior atuação é a Tropical Atlântica, que é formada no oceano Atlântico em área tropical, sendo úmida e quente. Esta massa se desloca mais para o sul, podendo penetrar sem dificuldades para o interior do continente pela planície costeira, acrescentando desta forma umidade à atmosfera. A intensidade das chuvas no verão depende da quantidade de umidade acumulada, tendo influência neste processo a Zona de Convergência do Atlântico Sul (Britto, 2008).

Os fenômenos *El Niño* e *La Niña*, também condicionam o clima na região. O primeiro aumenta a temperatura média e ocasiona precipitações abundantes no RS, principalmente na primavera e início de verão do 1º ano do evento e no final de outono e começo de inverno do ano seguinte ao início do evento. O segundo (*La Niña*) ocasiona chuvas abaixo da média climatológica (estiagem), sendo o período principal o mesmo do fenômeno *El Niño* (BERLATO e FONTANA, 2003). Estudos da climatologia estatística destes fenômenos no Rio Grande do Sul mostram que no

período de maior impacto (outubro-novembro-dezembro) há uma probabilidade de mais de 80 % de eventos *El Niño* determinarem precipitações acima da média e uma probabilidade maior que 75 % de eventos *La Niña* ocasionarem precipitações abaixo da média climatológica (BERLATO e FONTANA, 2003).

Em geral, estes fenômenos começam em meados de um ano, atingem seu máximo no final do ano e terminam em meados do ano seguinte, com uma duração média de 12 a 14 meses, mas podem durar até dois anos ou mais (BERLATO e FONTANA, 2003).

Nas últimas décadas os anos considerados mais severos em relação aos efeitos destes fenômenos foram: em 1982-1983, 1990-1993 e 1997-1998 para *El Niño* e 1988-1989 e 2007-2008 para *La Niña* conforme (INPE, 2010).

Na série histórica foram selecionados para caracterização dois anos: 1968 (1003,9 mm) e 1998 (2210,3 mm), que obtiveram respectivamente a menor (Fig. 10) e maior precipitação (Fig. 11) anual.

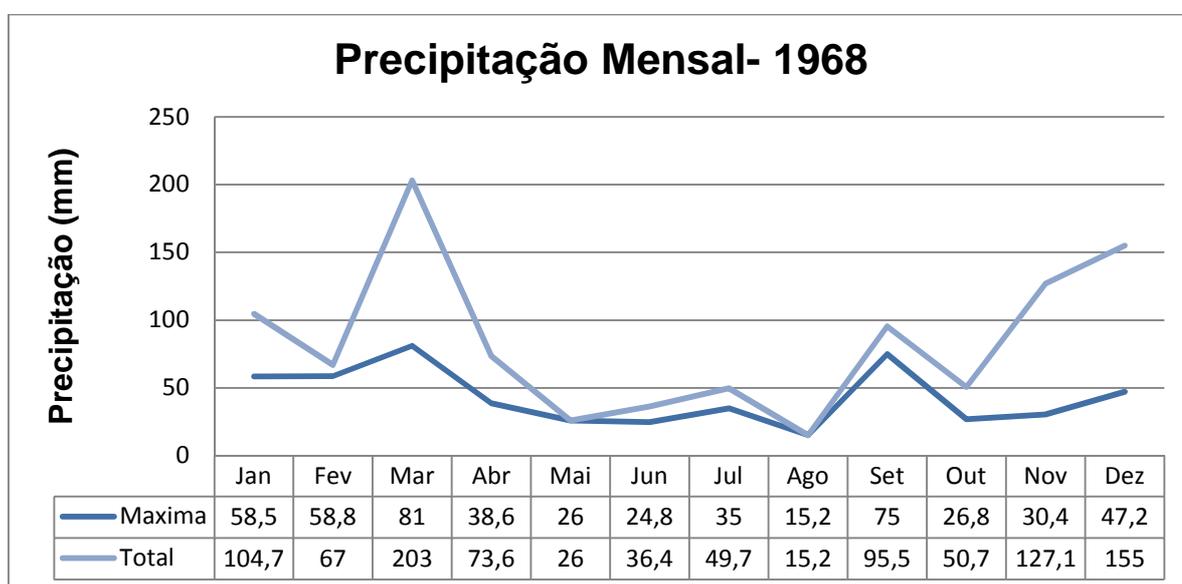


Figura 10: Precipitação mensal e precipitação máxima por mês no ano de menor precipitação da série histórica (1968).

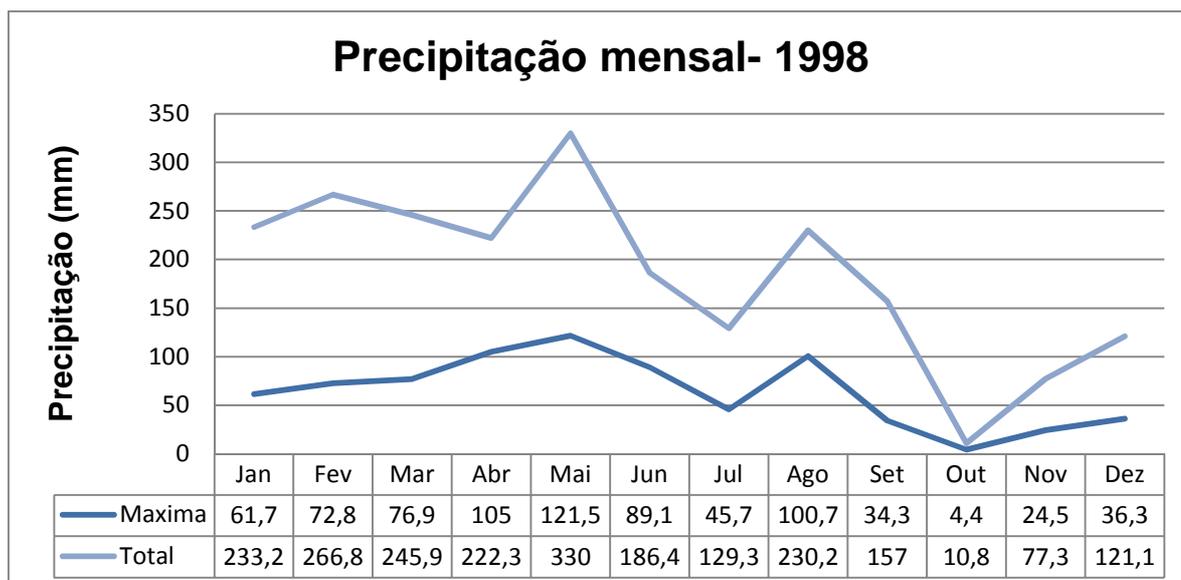


Figura 11: Precipitação mensal e precipitação máxima por mês no ano de maior precipitação da série histórica (1998).

Nota-se que durante nove meses o total de precipitação do ano de 1998, que é um ano de fenômeno *El Niño*, é maior que no ano de 1968. Há indícios de eventos intensos no outono e inverno do ano de 1998, que corresponde ao período típico de aumento das precipitações decorrentes do fenômeno *El Niño*.

Ao analisar as características do clima regional e a série histórica de precipitação, percebeu-se um grande número de eventos de alta precipitação, que foram considerados neste trabalho como eventos extremos. Estes eventos consistem em um alto índice de chuvas concentradas no período de um dia. Estas chuvas provocam enxurradas, afetando diretamente o sistema de vertentes e interflúvios, causando também o extravasamento das águas do leito menor, afetando desta forma o sistema fluvial.

A média de todas as precipitações diárias acima de 1mm ocorridas na SbHASI entre janeiro de 1966 e agosto de 2011 é de 17,31 mm por dia de chuva. Com base na média este trabalho considerou eventos extremos as precipitações acima de 50 mm, chegando a um número de 253 dias com precipitações acima deste gradiente. Isto mostra a atuação das chuvas em relação aos processos erosivos e até mesmo a inundações causadas por enxurradas.

Também foram averiguadas as chuvas acumuladas, que consistem em precipitações ocorridas em uma sequência de dias. Este tipo de evento acaba por saturar os solos, provocando alagamentos.

No período pesquisado houve 166 eventos (anexo 1), que estão associados as chuvas acumuladas, sendo que o mês de maior ocorrência deste tipo de evento foi Julho, com 25 eventos.

Ao dividir o número destes eventos de chuvas acumuladas pelos 46 anos de dados de pluviosidade percebeu-se que há em média quase 4 eventos de inundação por ano associado somente a chuvas acumuladas.

5. ANÁLISE FÍSICA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA ISABEL

5.1 CARACTERÍSTICAS DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DA SbHASI

Na SbHASI foram identificados 6 unidades geológicas (Fig. 12), sendo três delas constituídas por rochas graníticas do Escudo Sul-Rio-Grandense (Neoproterozóico) e as demais associadas a deposições sedimentares atuais e sub-atuais (Quaternário e Terciário). As unidades mapeadas são: Suíte intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Granítico Dom Feliciano - Fácies Serra do Herval, Suíte Granítico Dom Feliciano - Fácies Cerro Grande, depósitos Coluvio-aluviais, depósitos de Planície Lagunar e depósitos Aluviais. As áreas das unidades podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7: Área das unidades geológicas da SbHASI.

Unidade Geológica	Área em km ²
Suíte intrusiva Pinheiro Machado	158,99
Suíte Granítico Dom Feliciano - Fácies Serra do Herval	7,64
Suíte Granítico Dom Feliciano - Fácies Cerro Grande	25,88
depósitos Coluvio-aluviais	33,26
depósitos de Planície Lagunar	54,68
depósitos Aluviais	13,77
Total	294,25

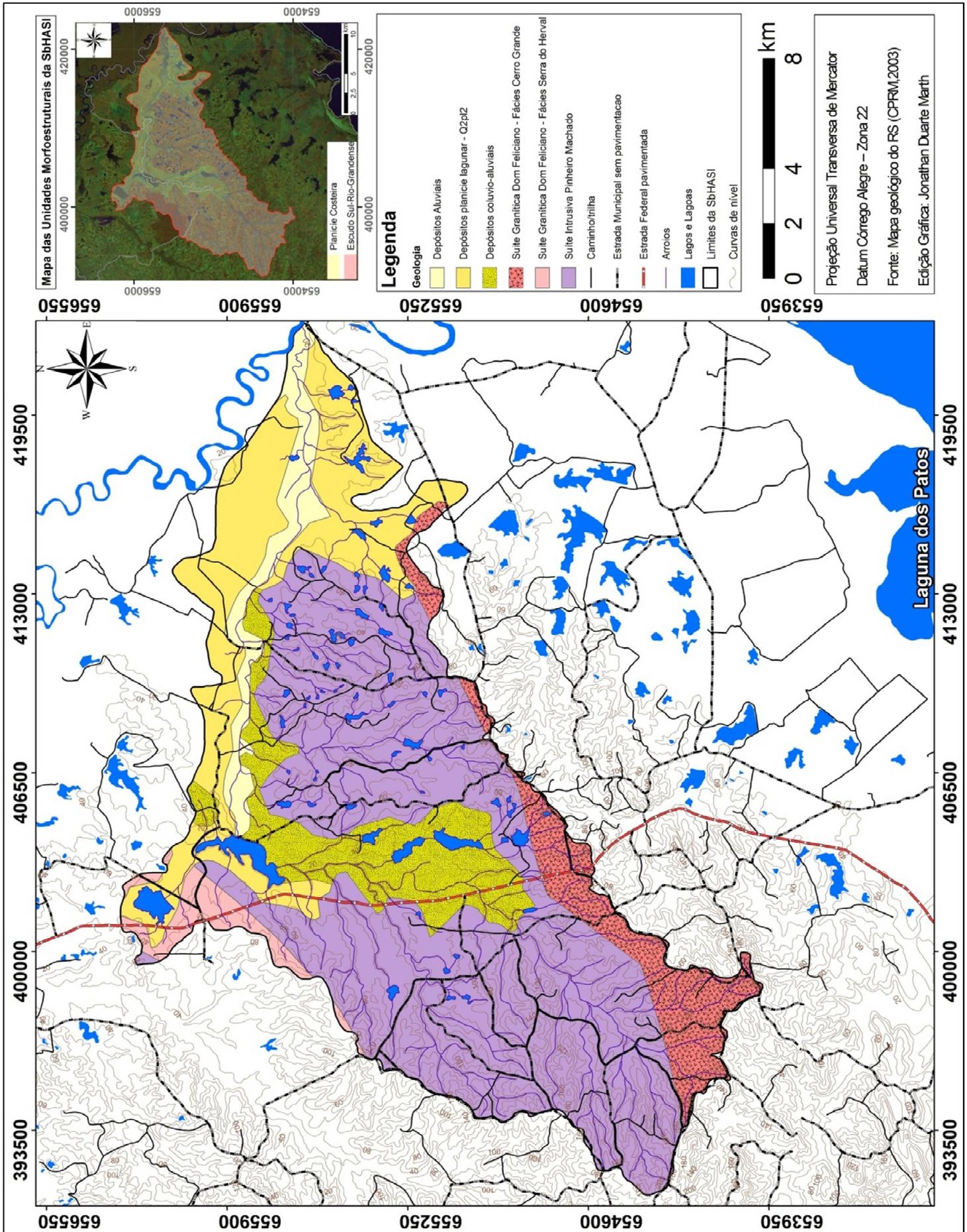


Figura 12: Mapa das unidades geológicas da SbHASI.

Suíte intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Granítico Dom Feliciano - Fácies Serra do Herval e Suíte Granítico Dom Feliciano - Fácies Cerro Grande

Estas unidades já foram anteriormente caracterizadas no item 4.1. Cabe destacar, que apesar das diferenças antes elencadas as rochas destas unidades tem apresentado um mesmo padrão de entalhamento e uma mesma resposta em relação ao intemperismo, tanto que as formas de relevo não apresentam diferenças significativas entre estes diferentes granitóides.

As rochas da Suíte intrusiva Pinheiro Machado apresentam-se mais fragmentadas de maneira geral, com presença de quartzo milonitos (Fig. 13) com espessuras variáveis com disposição longitudinal SW – NE. Esta unidade também está associada aos topos mais planos.



Figura 13: Quartzo milonito com aproximadamente 100 metros de comprimento e 15 de largura. (05/08/2010).

Depósitos Colúvio-aluviais

Esta unidade possui sedimentos depositados a partir do final do Terciário (Tomazelli e Villwock, 2005). Há nesta unidade desde pequenos blocos de deposição gravitacional até sedimentos transportados e depositados em meio aquoso na porção mais distal.

Depósitos de Planície Lagunar

Esta unidade corresponde ao segundo evento transgressivo-regressivo ocorrido na planície costeira do RS, correspondendo há uma idade absoluta de 325 ka. Litologicamente ela corresponde a areias quartzo-feldspáticas (arredondadas), castanho amareladas (Fig. 14), envoltas por uma matriz siltico-argilosa de natureza diagenética, como afirmam Tomazelli e Villwock (2005).

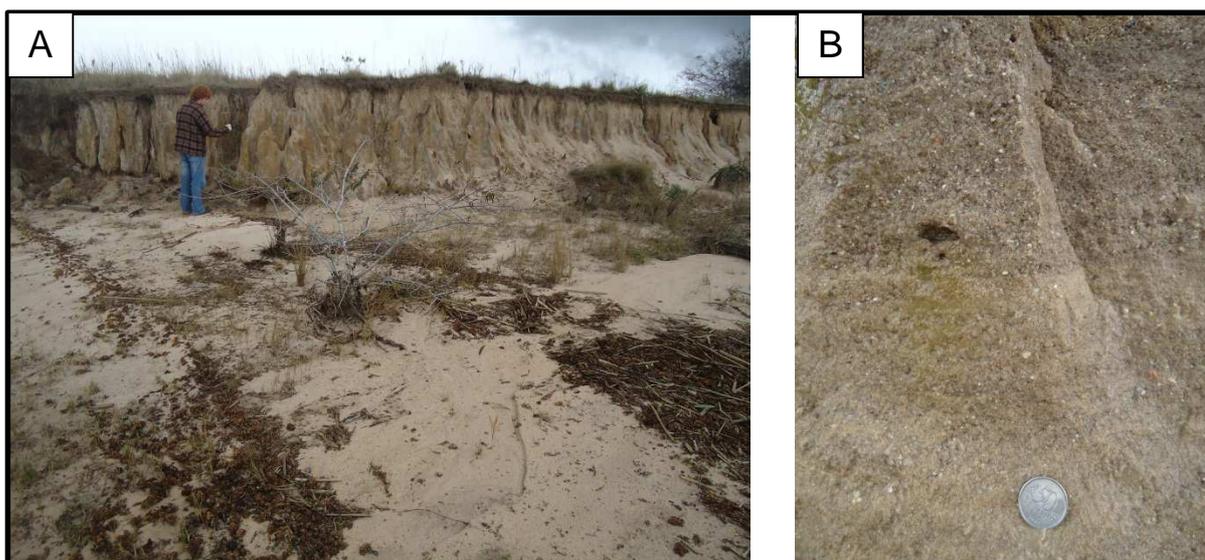


Figura 14: A) Depósitos de planície lagunar e B) características dos sedimentos lagunares (arenosos).

Depósitos Aluviais

Estes depósitos são compostos de areias, seixos e cascalhos imaturos, mal classificados, podendo ser encontrados nos leitos e nas margens do arroio Santa Isabel (Fig. 15) e seus afluentes. Nas planícies fluviais têm-se areias finas, siltes e argilas orgânicas.

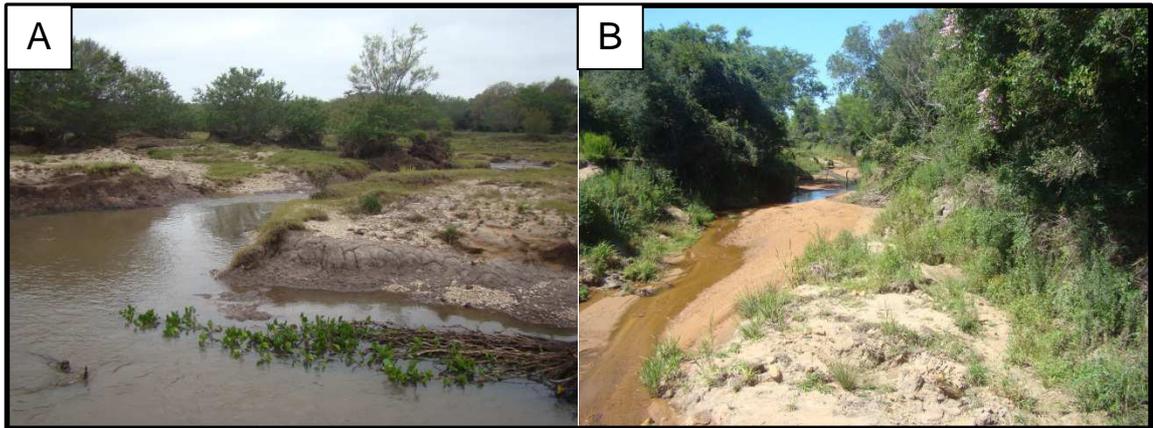


Figura 15: A) Depósitos de sedimentos na borda do canal do arroio Santa Isabel e B) depósitos no leito do arroio Santa Isabel (alto curso).

5.2 CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES DE RELEVO DA SbHASI

O relevo da SbHASI tem uma amplitude de 201 metros (Fig. 16), sendo as áreas mais elevadas encontradas no setor sudoeste e as áreas mais baixas encontradas próximas a foz do canal principal no setor leste. A maior elevação encontrada na área foi de 205 metros e a menor de 4 metros em relação ao nível do mar.

As declividades predominantes na SbHASI são menores que 6% (Fig. 17), sendo o relevo em sua maior parte constituído de colinas e terraços. No setor sudoeste são predominantes as declividades acima de 6%, excedendo os 30% nas nascentes.

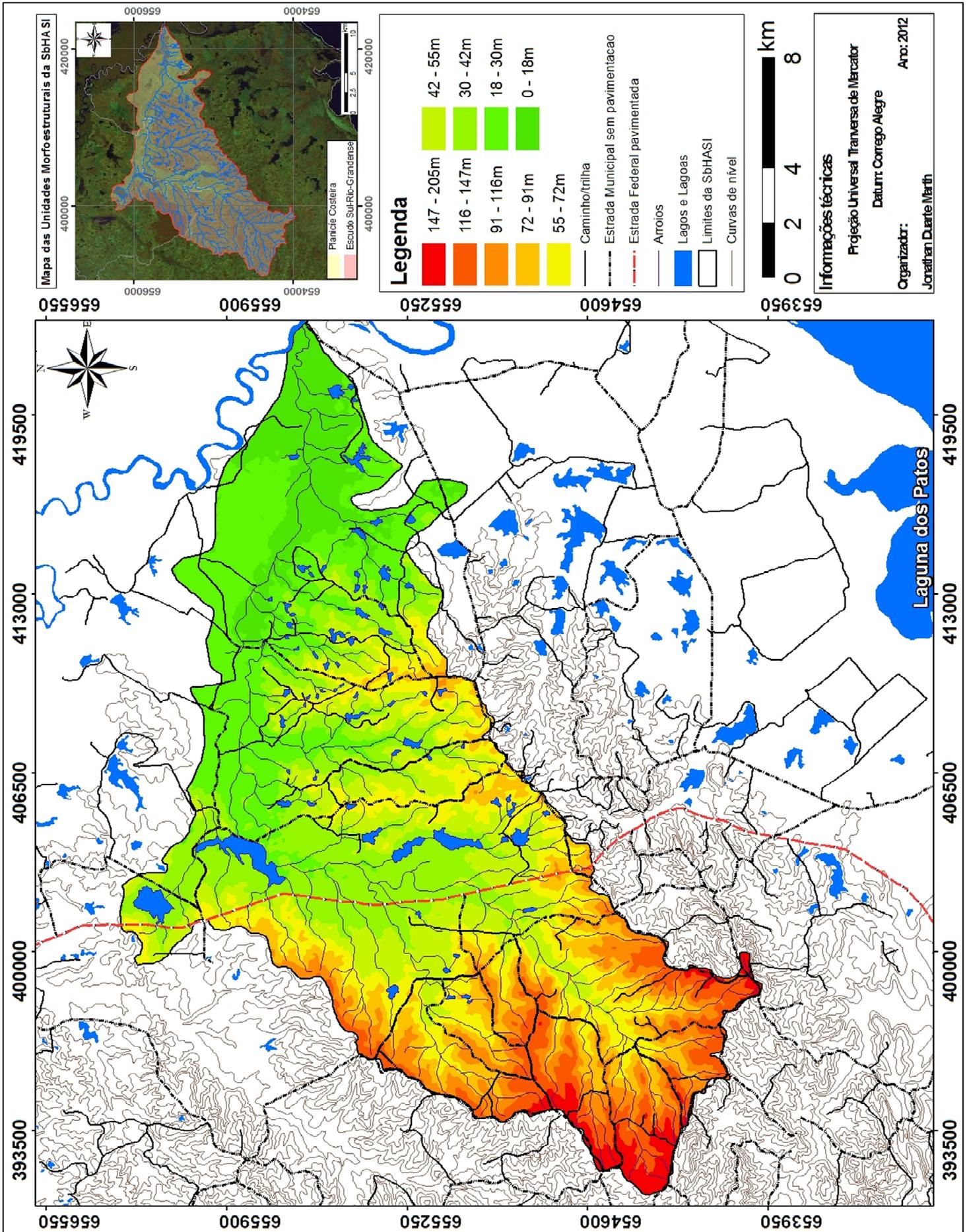


Figura 16: Mapa hipsométrico da SbhASI

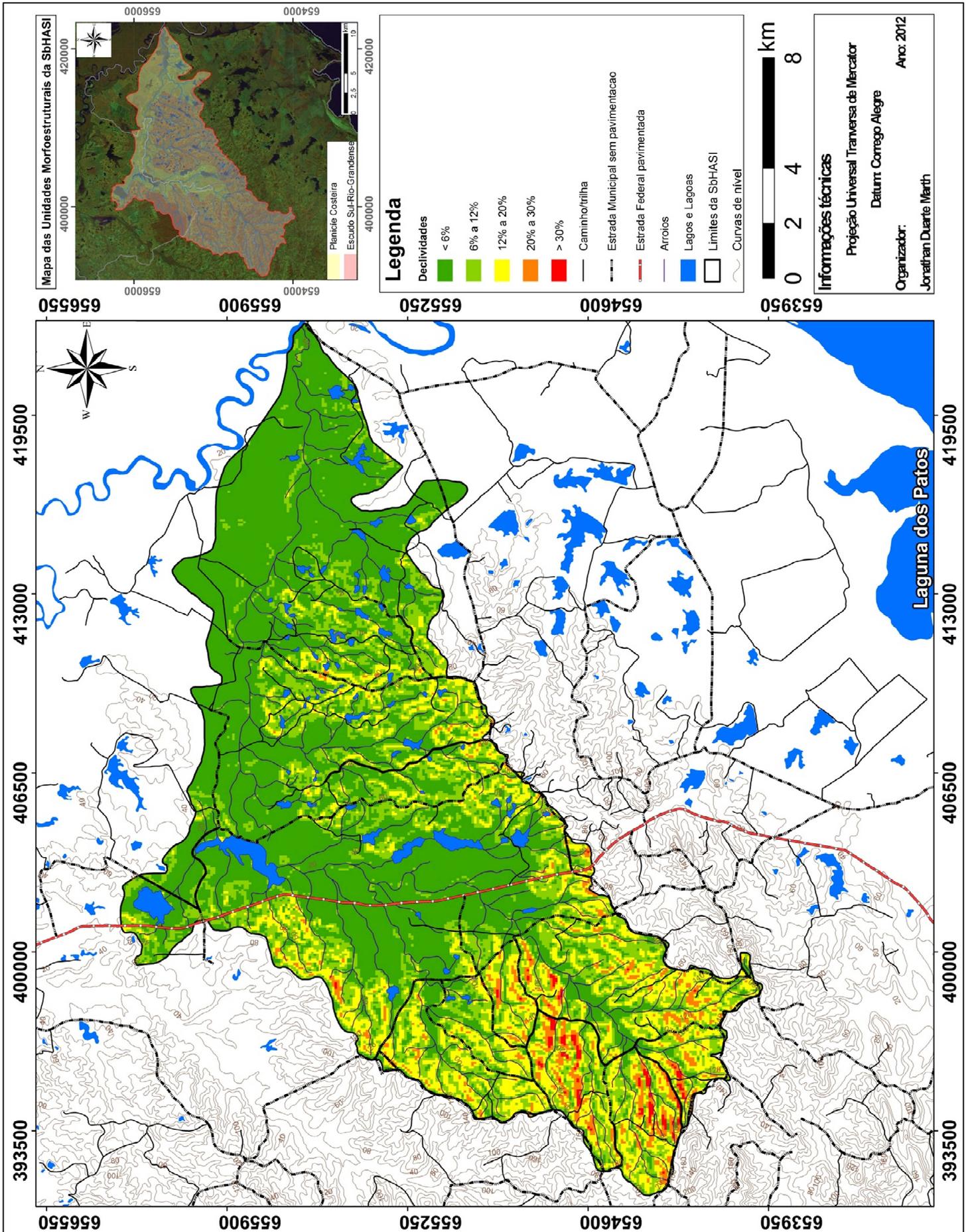


Figura 17: Mapa clinográfico da SbhASI.

O aprofundamento das drenagens e a amplitude da planície de inundação são distintos ao longo da SbHASI, isto pode ser visto através dos perfis topográficos identificados na Figura 18.

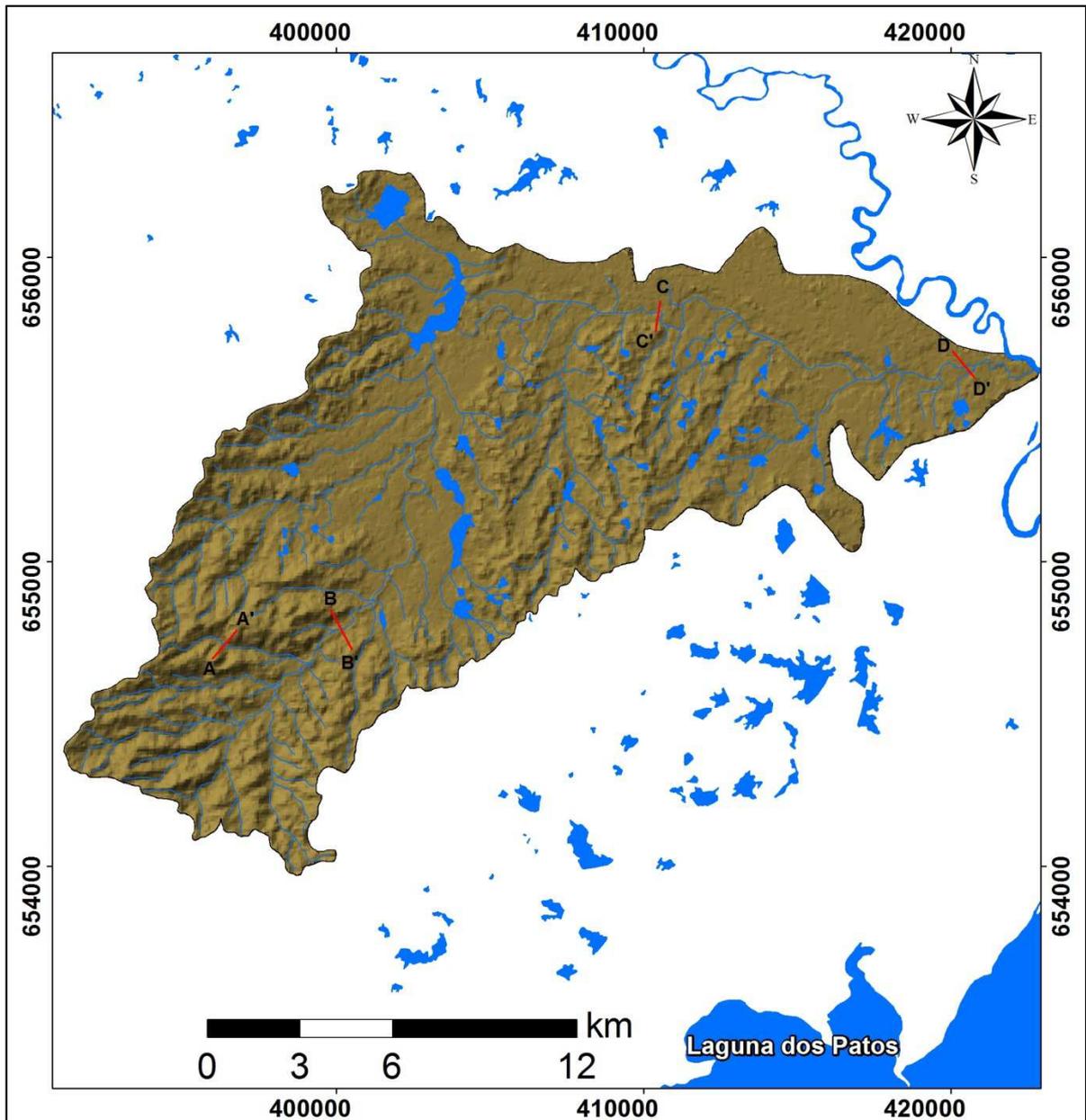


Figura 18: Mapa de localização dos perfis topográficos (transversais) na SbHASI.

Nas áreas correspondentes ao Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense as drenagens estão mais encaixadas, como pode se observar no perfil A – A' na Figura 19, que corresponde ao alto curso da SbHASI. Neste setor da bacia é comum

trechos com canais retilíneos, devido principalmente a homogeneidade do substrato rochoso (granitos).

O perfil B – B' (Fig. 19) apresenta uma amplitude maior do vale, sinalizando uma transição do Planalto para os depósitos Colúvio-aluviais adjacentes, mesmo assim, a amplitude das vertentes em ambas as margens ainda permanece elevada. Já nos perfis C - C' (Fig. 19) e D – D' (Fig. 19), percebe-se que há uma diferença entre as margens direita e esquerda, a primeira corresponde ao planalto e representa maiores elevações e a segunda corresponde ao terraço lagunar, que apesar de uma ruptura mais abrupta, principalmente no Perfil D – D', possui uma diferença altimétrica menor que a outra margem. Percebe-se que o leito do arroio Santa Isabel divaga entre a margem esquerda e direita, assumindo um papel mais meandrante do canal na planície de inundação, que no baixo curso já se mostra mais ampla.

O padrão de drenagem da SbHASI é dendrítico a paralelo de SW-NE conforme afirma Hansen (2007), apresentando somente um canal de 4ª ordem (Santa Isabel).

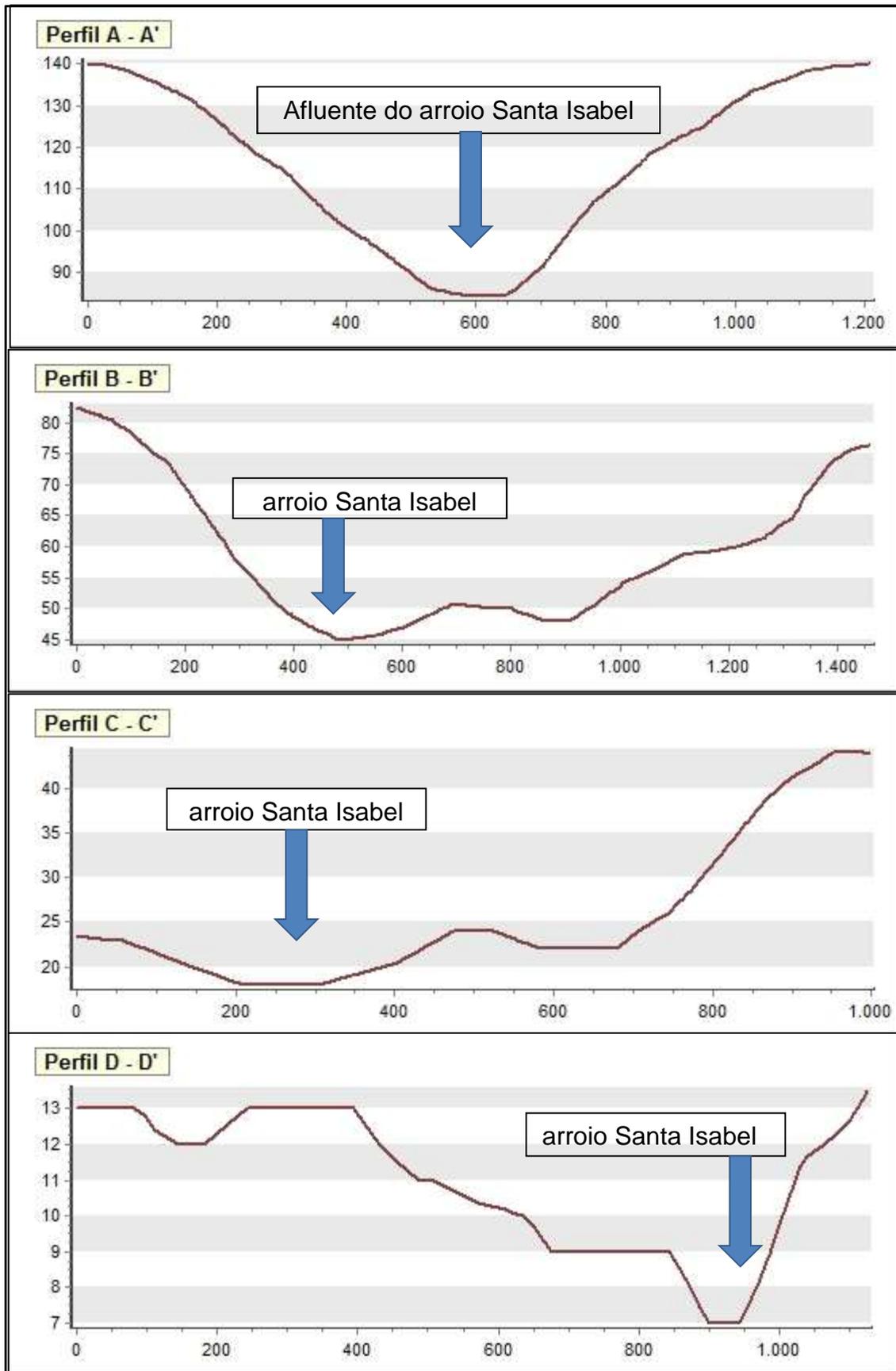
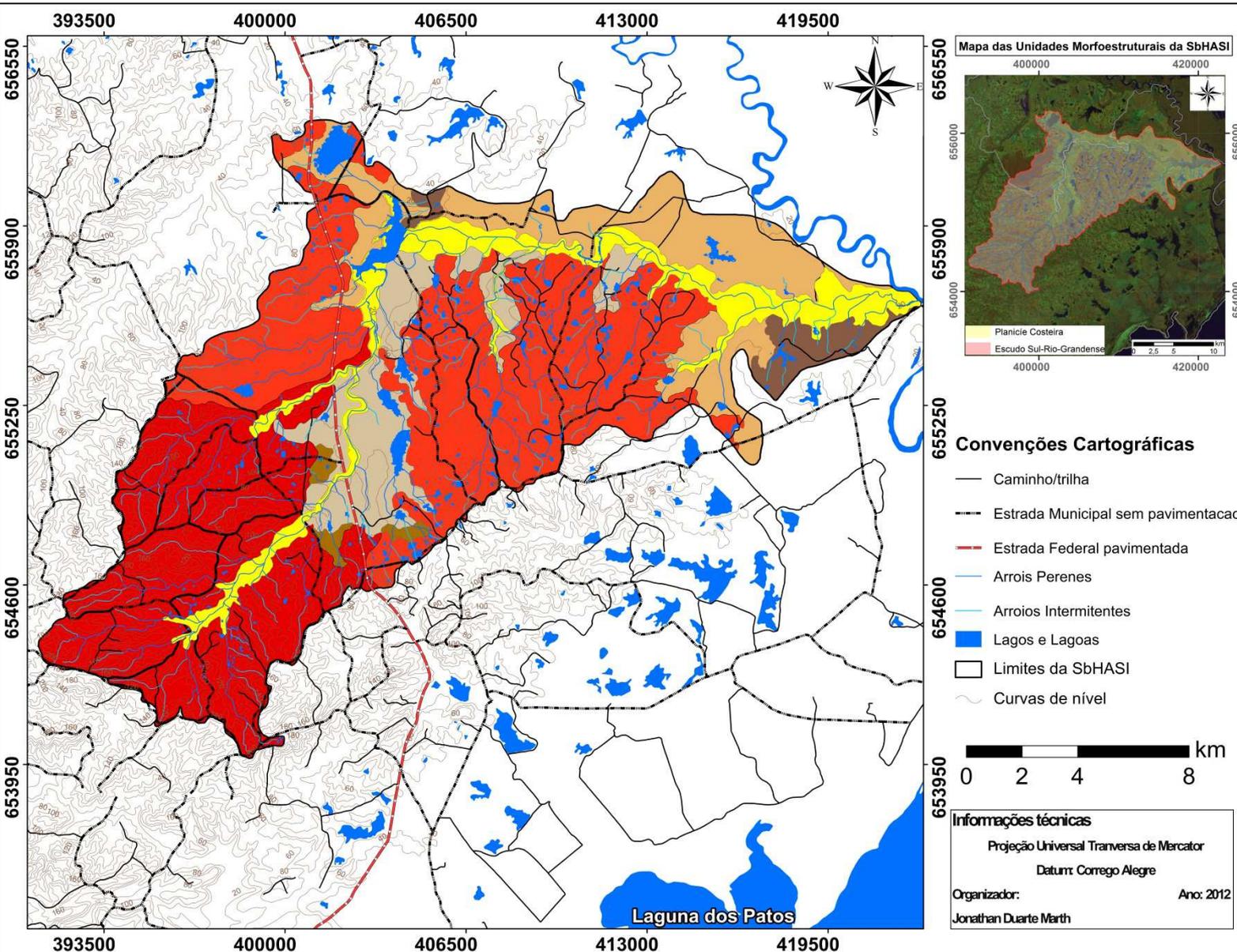


Figura 19: Perfis de interflúvios ao longo da SbHASI, contendo elevação (m) no eixo y e extensão (m) no eixo x.

Seguindo a metodologia de mapeamento de Ross (1994), a área de estudo foi dividida em padrões de formas semelhantes de duas naturezas genéticas: formas denudacionais para a morfoescultura Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e formas agradacionais para a morfoescultura Planície e terras baixas costeiras. O mapeamento das unidades de relevo (Fig. 20) resultou em oito classes, estas são: Colinas com Interflúvios estreitos, Colinas com Interflúvios médios, Colinas com Interflúvios amplos, Rampas Coluviais, Terraços Coluvio-aluvionares, Terraços Lagunares e Planícies Fluviais. A área abrangida por cada unidade pode ser vista na Tabela 8.

Tabela 8: área dos padrões de forma semelhantes da SbHASI.

Morfoescultura	Padrão de formas semelhantes	Área em km²
Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense	Colinas com Interflúvios estreitos	82,37
	Colinas com Interflúvios médios	101,27
	Colinas com Interflúvios amplos	7,90
Planície e terras baixas costeiras	Rampa Coluvial	2,64
	Terraço Coluvio-Aluvionar	28,94
	Terraço Lagunar	41,75
	Planície Fluvial	29,36
	Total	294,25



Unidade Morfoestrutural	Escudo Sul-rio-grandense			Bacia de Pelotas			
Unidade Morfoescultural	Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense			Planície e terras baixas costeiras			
Padrão de formas semelhantes	Colinas com interflúvios estreitos	Colinas com interflúvios médios	Colinas com interflúvios amplos	Rampa Coluvial	Terraço Colúvio-Aluvionar	Terraço Lagunar	Planície Fluvial
Médias morfométricas (altitudes / declividades)	205 m a 29 m / 12% a 20%	150 m a 13 m / 6% a 12%	54 m a 9 m / Menos de 12%	61 m a 42 m / Até 6%	50 m a 30 m / até 6%	50 m a 12 m / até 6%	50 m a 5 m / Menos de 6%
Solos	Predominantemente Neossolos e Argissolos nas altas e médias vertentes e Gleissolos na baixas vertentes.			Constituídos de solos com alto grau de hidromorfismo: Gleissolos, planossolos e Neossolos.			

Figura 20: Mapa das unidades de relevo da SbHASI.

Colinas com Interflúvios estreitos

A Unidade de Colinas com interflúvios estreitos encontra-se no setor Sudoeste da SbHASI onde localizam-se as nascentes mais elevadas, inclusive a nascente do arroio principal da bacia. Esta unidade possui canais de até 3ª ordem, apresentando uma densidade de drenagem média. A amplitude altimétrica destas formas de relevo é de 176 metros variando de 205m a 29m. As declividades encontradas nesta unidade são as maiores da bacia, em alguns pontos ultrapassando 30%, mas a declividade predominante fica entre 12% e 20%.

O relevo possui características de entalhamento de drenagem e amplitude altimétrica diferenciadas, isto se deve as duas morfoesculturas em que esta se situa de acordo com IBGE (1986). As áreas inseridas na morfoescultura Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava possuem maiores altitudes e declividades, estando associada às nascentes da SbHASI. Neste setor ocorre a predominância de canais de primeira ordem, formada principalmente por canais intermitentes. O setor inserido na morfoescultura Planalto Rebaixado Marginal possui um relevo menos acentuado (Fig. 21) fazendo contato com unidades mais baixas como as rampas coluviais e terraços colúvio-aluvionares.

Quanto à morfologia das colinas desta unidade, estas são diversificadas: Há o predomínio de colinas com topos convexos e pequena parcela de colinas com topos planos, já quanto a curvatura vertical, há o predomínio de rampas com perfil convexizado e plano, como foi visto no perfil A – A' (Fig. 18). Não se podem descartar as colinas com elementos de relevo mistos (ex. perfil B, Fig. 18), que estão presentes em todos os setores desta unidade.



Figura 21: Colinas da unidade de interflúvios estreitos com caráter suavizado.

Os solos predominantes nesta unidade de colinas são os Argissolos, com predominância de Argissolos Vermelhos, possuindo ainda Neossolos litólicos e Gleissolos Húmicos. Nas colinas com topos planos os solos são mais rasos. Já os solos mais profundos são encontrados nas colinas com elementos côncavos (Fig. 22), inclusive nestas áreas há vegetação de médio e grande porte preservada.



Figura 22: Elementos côncavos com presença de vegetação densa nas colinas com interflúvios estreitos.

Colinas com Interflúvios médios

A unidade de colinas com interflúvios médios é a maior das unidades do relevo e se encontra em diversas áreas da SbHASI, sendo as duas maiores áreas localizadas no setor centro-sul e no setor noroeste. Estas unidades possuem respectivamente amplitude altimétrica de 89 m e 120 m, a primeira variando de 102 m no setor sul à 13 m junto a planície de inundação do Arroio Santa Isabel e a segunda variando de 150 m no setor oeste à 30 m junto a planície de inundação do arroio principal da bacia. As declividades máximas desta unidade são de 30%, sendo que a maior parte desta encontra-se entre 6% e 12%.

De maneira geral estas colinas (Fig 23) são suavizadas e possuem topos convexos e vertentes alongadas com elementos variados, fazendo contato com as planícies adjacentes.



Figura 23: Colinas de Interflúvios médios no setor Noroeste da SbHASI.

Na unidade de colinas de interflúvios médios há uma grande quantidade de barragens construídas (Fig. 24), que auxiliam na obtenção de água para a agricultura, isto se deve principalmente pela facilidade propiciada pelo relevo nas confluências fluviais nas colinas presentes neste setor.

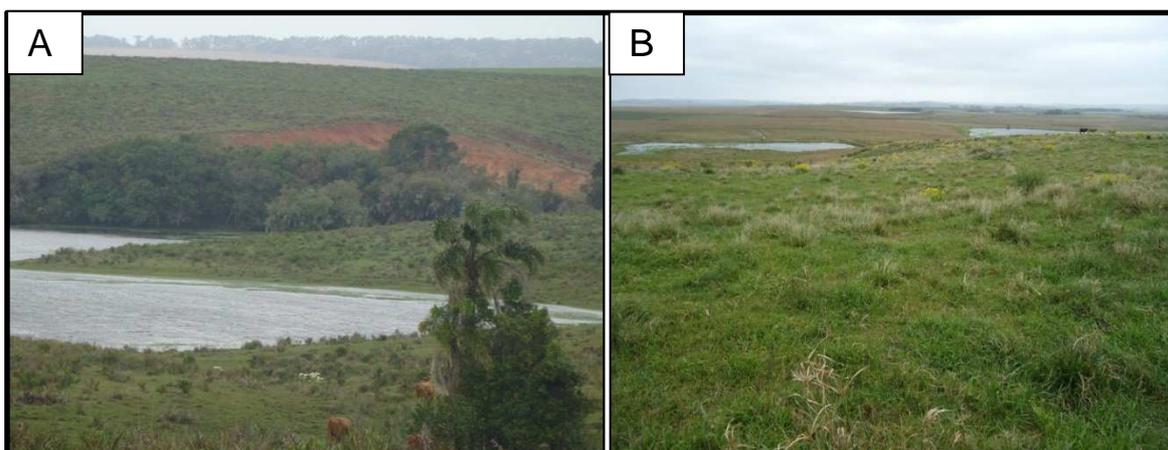


Figura 24: A) e B) Barragens construídas entre colinas da unidade de colinas de interflúvio médio.

Os solos presentes nesta unidade de relevo são basicamente Argissolos Vermelhos associados com Gleissolos, que aparecem nas baixas vertentes. No contato com os terraços lagunares há ainda Planossolos.

Colinas com Interflúvios amplos

A unidade de colinas com interflúvios amplos encontra-se em dois setores da SbHASI, sendo a maior área situada no setor sudeste desta, na margem direita do Arroio Santa Isabel. Neste setor a unidade possui uma amplitude altimétrica de 45 m, variando de 54 m nos divisores de água a 9 m próximo a planície fluvial do Arroio Santa Isabel. Esta unidade se caracteriza por colinas rebaixadas (Fig. 25) que foram recobertas em parte por sedimentos de Planície Lagunar, mas que possuem declividades maiores que os terraços lagunares existentes na área de estudo. As declividades predominantes estão abaixo de 12%.



Figura 25: Colinas com interflúvios amplos ao norte da SbHASI, apresentando processos erosivos.

Os solos predominantes nesta unidade de relevo são Planossolos e Argissolos (vermelhos e amarelos), havendo ainda Gleissolos nas partes mais rebaixadas desta.

Rampa Coluvial

Esta unidade consiste em rampas (Fig. 26) de materiais depositados preteritamente no sopé das colinas, que ocorrem da média para a baixa vertente destas e em alguns casos já apresentam retrabalhamento pela drenagem. Estas rampas podem ser encontradas entre as colinas de interflúvios estreitos e médios no setor centro-sul da área de estudo. Torna-se importante salientar que há um número maior destas, que não estão contempladas neste mapeamento devido à escala de trabalho, já que são feições menores.



Figura 26: Rampa coluvial no sentido W-E com plantio de soja.

O material presente nesta unidade é decorrente da convergência de leques de espraiamento ou de concentrações de depósitos de enxurradas, apresentando um relevo alongado e com baixa amplitude altimétrica (de 7m a 13m) como pode ser visto na Figura 27.

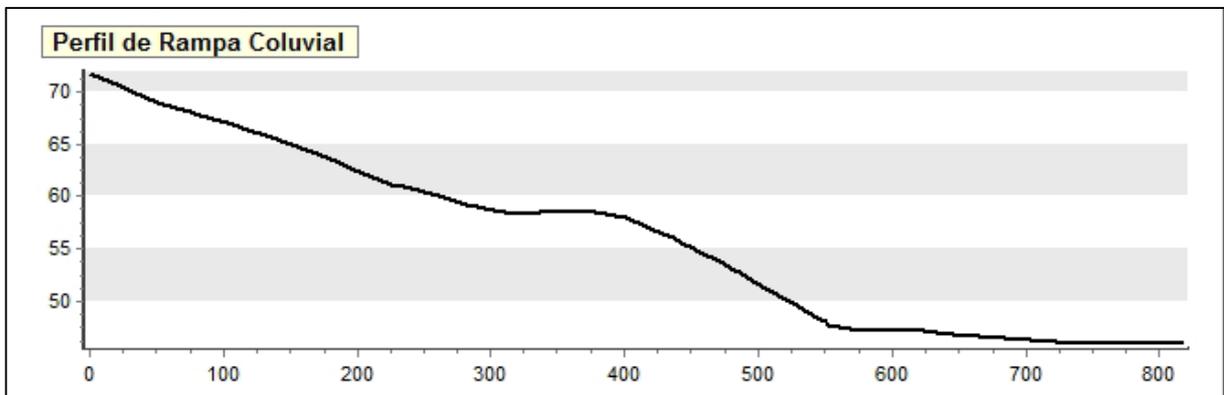


Figura 27: perfil de Rampa coluvial. Coordenadas (401244 – 6550626).

Os solos mais comuns neste tipo de relevo são Planossolos, Argissolos vermelhos e Gleissolos, havendo em algumas partes solos mais profundos. As declividades desta unidade geralmente são menores de 6% não excedendo os 12%.

Terraço Colúvio-Aluvionar

Os Terraços colúvio-Aluvionares (Fig. 28) consistem em superfícies extremamente planas localizadas em áreas entre colinas. A composição do material

que compõem este pacote de sedimentos é mista, contendo depósitos aluviais e coluviais provenientes do planalto e retrabalhados pelos arroios desde o Terciário. A maior unidade deste terraço possui uma variação altimétrica que vai de 50 m junto as colinas a 30 m nas proximidades da planície de inundação do Arroio Santa Isabel.



Figura 28: Terraço colúvio-aluvionar visto das colinas com interflúvios médios.

As declividades desta unidade ficam abaixo de 6% e as formações são alongadas no sentido Sul–Norte. Os solos em sua maioria são Gleissolos e Planossolos, havendo ainda a presença de Argissolos Vermelhos no contato com as colinas. Estas áreas comumente são utilizadas para cultivo de soja e arroz.

Terraço Lagunar

Esta unidade corresponde a depósitos pleistocênicos do sistema laguna-barreira, que possuem uma superfície que varia de pouco ondulada a plana (Fig. 29) com altitudes que variam de 50 m no noroeste desta para 12 m próximo a foz do Arroio Santa Isabel. As declividades desta unidade estão abaixo de 6% e mesmo com a pequena amplitude altimétrica este relevo é o divisor de águas da SbHASI em todo o setor norte. Este terraço também circunda a planície de inundação do Arroio Santa Isabel, havendo uma ruptura de relevo de aproximadamente 5 metros entre elas (Fig. 30).



Figura 29: Terraço Lagunar no norte da SbHASI.



Figura 30: Ruptura do terraço Lagunar no contato com a planície de inundação do Arroio Santa Isabel.

Nesta unidade os solos possuem forte hidromorfismo, havendo Planossolos, Gleissolos e Neossolos Flúvicos e Quartzarênicos. Em relação as drenagens. A densidade de drenagens é baixa com no máximo canais de 2ª ordem.

Planície Fluvial

Esta unidade é constituída de sedimentos depositados no entorno do canal principal da SbHASI e de alguns afluentes, possuindo diferentes patamares de elevação, com áreas planas nas cotas de 50 m (Fig. 31) até 5 m próximo da foz do Arroio Santa Isabel (Fig. 32).



Figura 31: Patamar plano em áreas elevadas da unidade Planície de Inundação. (21/12/2011).



Figura 32: Foz do Arroio Santa Isabel no Rio Camaquã. (05/07/2011).

Nestas formas de relevo frequentemente as águas transbordam do leito menor dos arroios, criando características diferenciadas de vegetação e até mesmo restringindo o uso.

A largura desta unidade também é variável, indo de 120 m em algumas áreas na qual esta se encontra confinada até 2 km próximo a foz da bacia, onde esta se expande lateralmente até mesmo em função do grande aporte de água do Rio Camaquã.

5.3 CARACTERÍSTICAS DO SOLOS DA SbHASI

Na SbHASI foram encontrados 11 associações de solos diferentes (Fig. 33), divididos em quatro classes (Argilssolos, Gleissolos, Neossolos e Planossolos) conforme Embrapa (2005; 2006). Essa variação dos solos ocorre devido às características do relevo local e a vegetação presente nas unidades.

Torna-se importante ressaltar que as informações sobre os solos auxiliam na análise das fragilidades da SbHASI. Propriedades como: textura, profundidade, classes de drenagem auxiliam no conhecimento das susceptibilidades do solo à erosão e à Inundação.

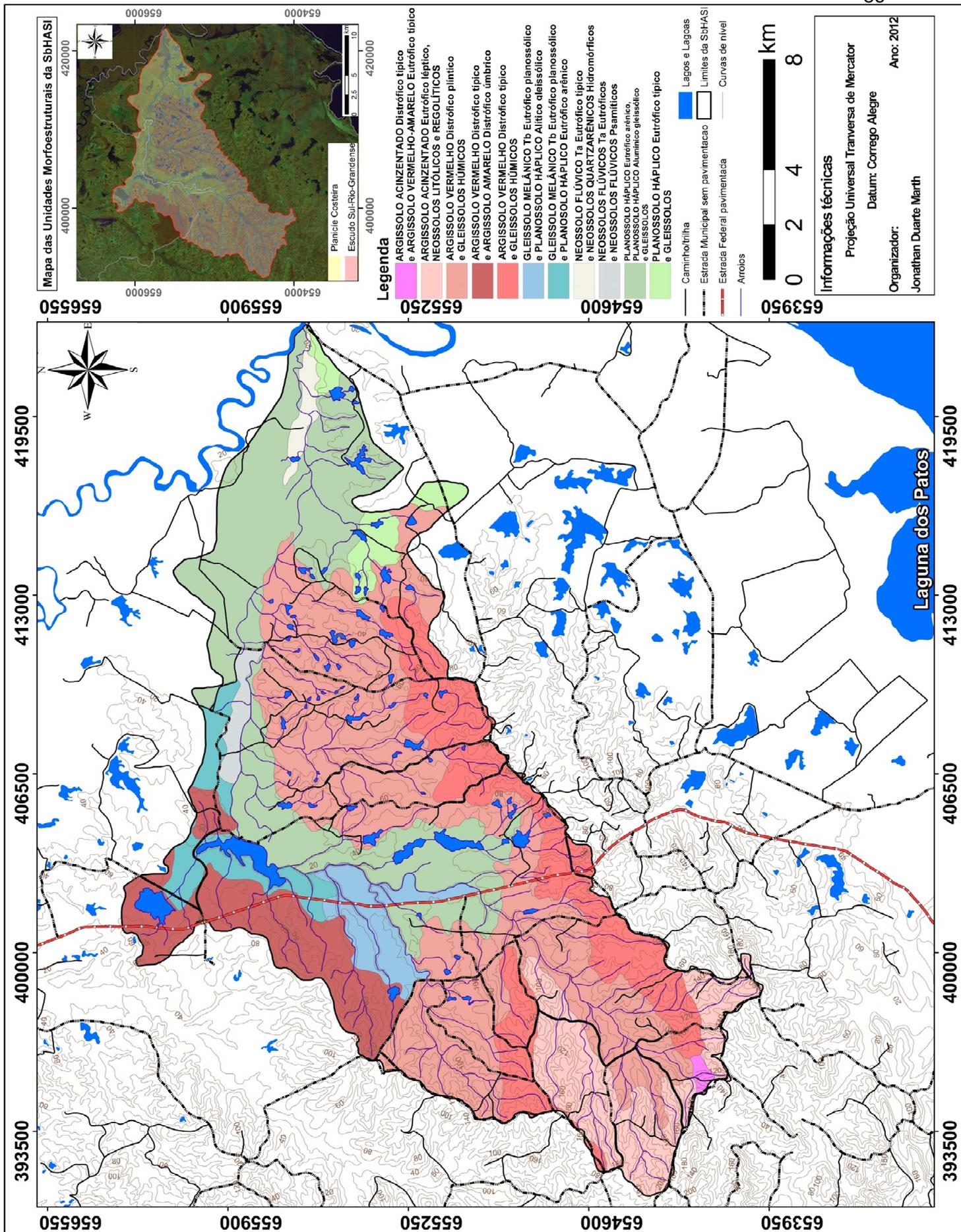


Figura 33: Mapa de solos da SbhASI.

ARGISSOLOS

Os Argissolos têm como características diferenciais a presença do horizonte B textural de argila. Estas argilas podem ser de atividade baixa ou de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico.

Estes solos são encontrados principalmente nas áreas do ESRG, associados às unidades de colinas. Os Argissolos da área de estudo (Fig. 34) são de maneira geral profundos, variando de moderadamente drenados à bem drenados. A textura varia de Franco-arenosa a Argilosa nos perfis.

Os Argissolos Acinzentados são encontrados nos topos e altas vertentes da unidade de colinas de interflúvios médios, existindo dois tipos destes: A) Argissolo Acinzentado Distrófico típico ocorre uma variação de Bruno-acinzentado escuro à Bruno-avermelhado no perfil, possuindo baixa saturação por bases. B) Argissolo Acinzentado Eutrófico léptico, acinzentados apresentam alta saturação por bases e contato lítico entre 50 cm e 100 cm, sendo mais rasos que o primeiro.

Os Argissolos Vermelhos ocupam a maior porção da área de estudo, sendo de dois tipos:

A) Argissolos Vermelhos Distróficos plínticos, que se encontram nas médias e baixas vertentes das colinas com interflúvios estreitos e médios. O horizonte plíntico destes solos ocorre abaixo dos 150 cm de profundidade e a água permanece mais tempo no perfil porque o horizonte ocorre em uma maior profundidade agindo como uma barreira física a percolação da água em direção ao lençol freático. Estes solos ainda apresentam baixa saturação por bases.

B) Já os Argissolos Vermelhos Distróficos típicos possuem baixa saturação por bases, sendo fortemente ácidos. Estes são encontrados nas altas vertentes das unidades de colinas e em alguns topos.

Os Argissolos Vermelho-amarelo Eutrófico típico e os Argissolos Amarelos Distróficos úmbricos aparecem secundariamente na unidade de colinas com interflúvios estreitos e nas colinas com interflúvios médios e amplos, respectivamente.

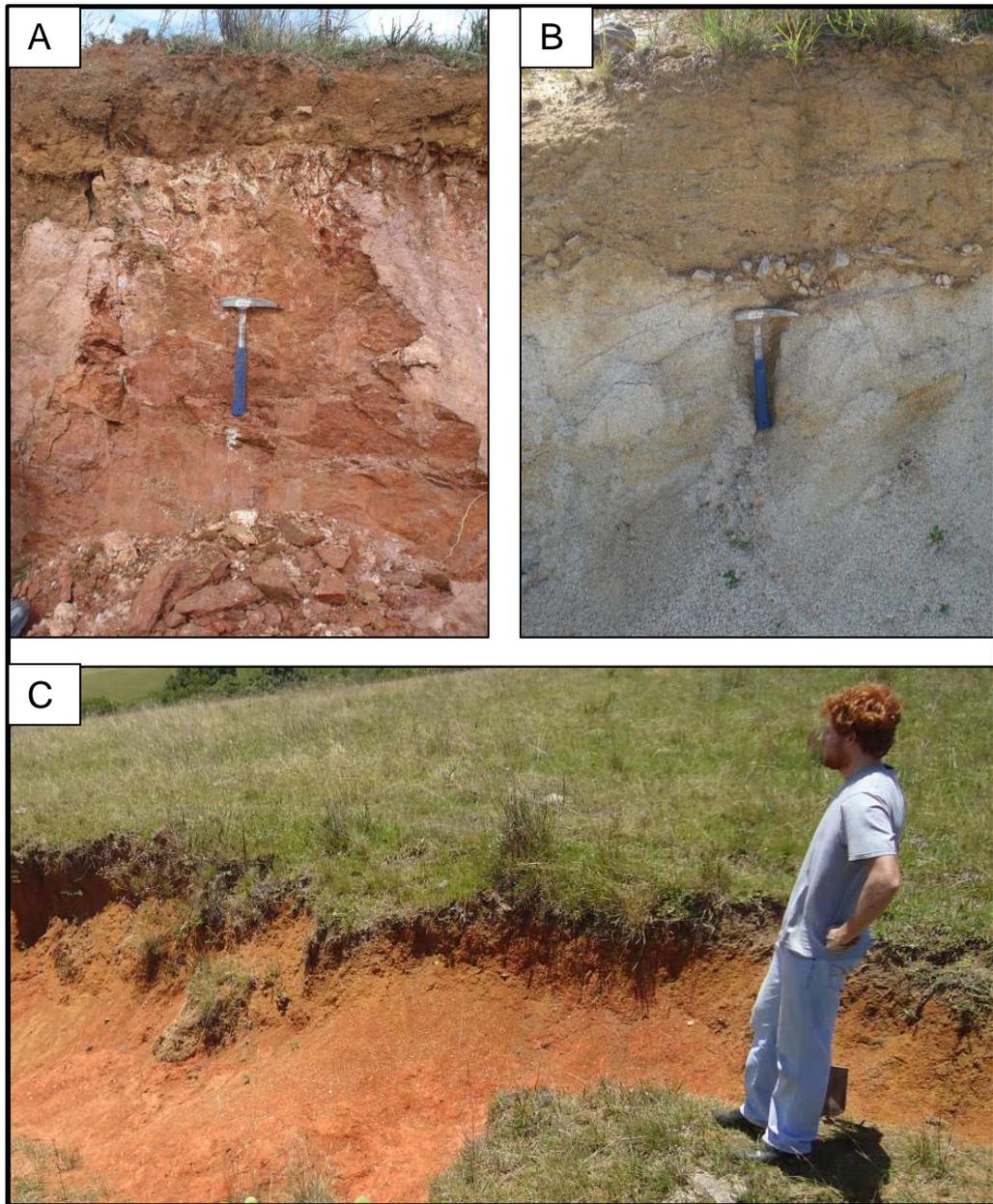


Figura 34: A) Argissolo Vermelho Distrófico típico (02/04/2009), B) Argissolo Amarelo Distrófico úmbrico na unidade de colinas com interflúvios amplos(02/04/2009) e C) Argissolo Vermelho Distrófico típico na unidade de colinas com interflúvios estreitos (21/12/2011).

GLEISSOLOS

Esta unidade se encontra desde as colinas do setor oeste, nos Terraços Colúvio-aluvionares até a planície fluvial do arroio Santa Isabel, tendo como material de origem sedimentos fluviais e colúviais do terciário e sedimentos lagunares do Pleistoceno.

A coloração destes solos (Fig. 35) varia de Bruno-escuro nos horizontes superficiais à Bruno-amarelado e Bruno-pálido nos horizontes mais profundos, possuindo atividade baixa no que diz respeito à troca de cátions pelas argilas, variando de textura franco-arenosa à argilosa no perfil (EMBRAPA, 2006).



Figura 35: Gleissolos na área da SbHASI. Fonte: (EMBRAPA, 2006).

Os Gleissolos também aparecem secundariamente nas unidades de colinas com interflúvios médios e estreitos, geralmente junto aos arroios e nas baixas vertentes destas, associados aos Argissolos Vermelhos.

NEOSSOLOS

São solos incipientes com presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano, estando associados a deposições aluvionares do Holoceno, coincidindo com a atual planície de inundação do arroio Santa Isabel.

As camadas do solo, principalmente a partir dos 80 cm de profundidade, são estratificadas, representando deposições sucessivas constituídos de estratos longitudinais espessos de areia. Estes solos são adicionados de estratos coesos de silte, que se depositam nas cheias, quando do transbordamento do leito normal do arroio (EMBRAPA, 2006).

. Estes solos (Fig. 36) possuem argilas de atividade alta e saturação por bases alta na maior parte dos primeiros 120 cm de profundidade. A textura dos solos desta unidade é arenosa/argilosa, sendo predominantemente arenosa a partir dos 40 cm de profundidade, e a cor varia de bruno-acinzentado escuro no topo à Bruno na base (EMBRAPA, 2005),.



Figura 36: Neossolos Flúvicos Psamíticos. Fonte: (EMBRAPA, 2006).

Na classe dos Neossolos também são encontrados na área de estudo os Neossolos Litólicos e Regolíticos. Estes são solos pouco profundos apresentando contato lítico antes dos 50 cm, com presença de blocos subangulares médios a grande a partir dos 25 cm. Estes solos podem ser encontrados nos topos e vertentes íngremes das colinas de interflúvios estreitos (Fig. 37), associados aos Argissolos Acinzentados.



Figura 37: Topo de colina com presença de afloramento rochoso e Neossolos Litólicos na unidade de relevo Colinas com interflúvios estreitos (29/09/2011).

PLANOSSOLOS

Os Planossolos na SbHASI possuem alta saturação por bases no horizonte B e textura arenosa desde a superfície do solo até o início do B Plânico, que ocorre a aproximadamente 50 cm de profundidade (EMBRAPA, 2005). Estes são encontrados nas áreas de rampas coluviais, de terraços colúvio-aluvionares, de terraços lagunares, na planície de inundação do arroio Santa Isabel e secundariamente nas baixas vertentes das unidades de colinas.

Os Planossolos arênicos (Fig. 38) possuem coloração que varia de brunocinzentado muito escuro à cinzento no perfil e possuem textura arenosa até o início do horizonte B plânico.

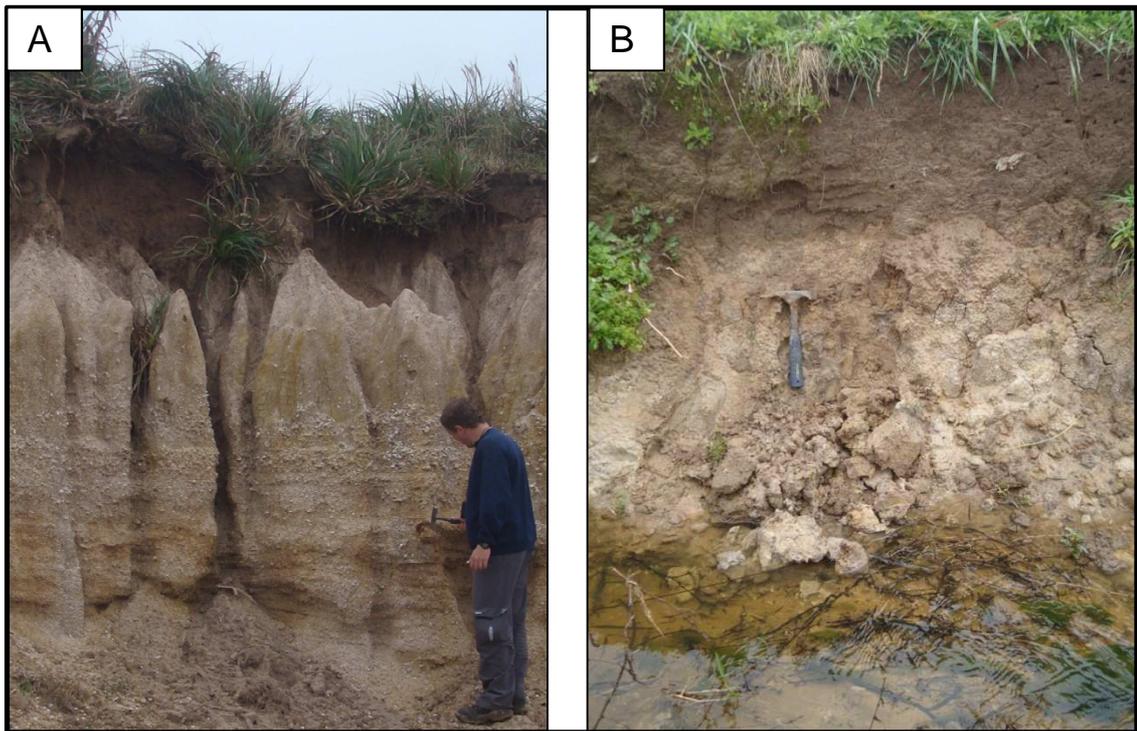


Figura 38: A) Planossolos arênicos encontrados entre o terraço lagunar e planície fluvial do arroio Santa Isabel (07/10/2011) e B) Planossolo Háplico Eutrófico arênico em terraço lagunar (24/10/2011).

O Planossolo Háplico Alumínico gleissólico na área de estudo possui uma variação de cor no perfil, que varia de bruno-amarelado escuro à cinzento-oliváceo (EMBRAPA, 2005), com grande quantidade de silte e argila. Estes solos possuem horizonte glei abaixo do horizonte B plânico.

O Planossolo Háplico Eutrófico típico possui uma variação de cor que vai de bruno-acinzentado muito escuro à bruno-acinzentado no perfil, conforme Embrapa (2005). O material de origem destes solos é basicamente material de planície lagunar, correspondente ao sistema deposicional Laguna-barreira II (Pleistoceno). O alto grau de hidromorfismo destes solos se deve principalmente pelas argilas que tornam o horizonte B impermeável, não permitindo assim a drenagem profunda do solo. Há ainda os Planossolos Háplicos Alíticos gleissólicos, que estão associados aos Gleissolos nos Terraços Colúvio-aluvionares e na planície fluvial. Estes possuem um horizonte B Glei abaixo do horizonte E, variando de textura franco-arenosa à argilosa no perfil, tendo como origem os sedimentos fluviais do terciário (EMBRAPA, 2006). Os valores de Ph em água enquadram estes solos na classe de fortemente ácidos.

6. CONDICIONANTES HISTÓRICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS

6.1 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

O processo de colonização meridional do Brasil desenvolveu-se a partir da metade do século XVIII, fundamentalmente a partir do litoral. No contexto regional a ocupação se deu pelo Porto de Rio Grande, devido ao fácil acesso das embarcações. Para consolidar esta ocupação o principal instrumento foi o sistema das Sesmarias no extremo sul do Brasil. Este sistema foi instituído em Portugal em 1375 pelo Rei Fernando I e consistia na concessão de terras a título precário com algumas obrigações por parte do concessionário, como em lavrá-la e cultivá-la, não necessariamente através de sua própria força de trabalho. Para tanto, era concedido uma área de aproximadamente 13.000 ha a cada família postulante ou três léguas de campo. Indivíduos ligados ao governo ou que participaram com certa influência nas lutas contra os espanhóis, ajudando no delineamento das fronteiras eram os beneficiários, a partir de 1822 com a extinção do regime Sesmarial os posseiros continuaram a se apropriar das terras. Este movimento, que já era praticado tornou-se o principal mecanismo de aquisição de terras.

Em sua maioria os Sesmeiros utilizavam suas propriedades para a pecuária extensiva mesclando a mão de obra escrava e os peões, que vendiam a força de trabalho e a de suas famílias.

Até o século XIX a pequena propriedade esteve alheia à região sul do RS, sendo que de 1780 até o final da primeira guerra mundial, o ciclo do charque predominou, porém, a partir desta época com a vinda de frigoríficos estrangeiros para a região mudou o processo de produção.

Outra ocupação marcante, que foge ao modelo dos estancieiros é a imigração dos Pomeranos que vieram para o Brasil a partir do ano de 1856, se estabelecendo principalmente nos Estados de Espírito Santo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo que no último se destacam a região de São Leopoldo e no que hoje correspondem os municípios de São Lourenço do Sul, Pelotas, Cristal, Turuçu, Arroio do Padre e Canguçu.

A intenção da Coroa Portuguesa era de ocupar e desenvolver essas regiões, visto que os açorianos não haviam conseguido desenvolver a agricultura devido aos frequentes combates com os espanhóis. Tal fato justificava a criação de gado, pois este dava mobilidade perante a ameaça de invasão. Então, partir de 1850 a política de colonização toma um novo rumo, o governo cria uma série de iniciativas para incrementar e sistematizar a imigração de elementos que viessem a se dedicar a agricultura.

Na região da Serra dos Tapes, como grande “organizador” dos assentamentos de imigrantes pomeranos, destaca-se Jacob Rheingantz, natural da Alemanha e que firmou contrato de colonização com o governo imperial em 1856, formando uma sociedade com o lourençiano José Antônio de Oliveira Guimarães no ano seguinte. Esse contrato teria uma duração mínima de cinco anos, podendo ser prorrogado. Em termos práticos José Antonio compraria as terras e Jacob seria o responsável por encaminhar os colonos e tratar das partes legais. Há uma estimativa de que para o Brasil tenham vindo trinta mil pessoas (Rölke, 1996), sendo que na região sul do Rio Grande do Sul tem-se registro de 1186 famílias vindas da Alemanha Setentrional (Pomerânia, Baixada Saxônia e Westfália), o que dificulta precisar o número de pomeranos vindos para região.

Os principais produtos agrícolas dos Pomeranos na região sul do Rio Grande do Sul foram: feijão preto, batata, cebola, árvores frutíferas e arroz, acrescentando a isto a criação de equinos, suínos, bovinos e aves; esses produtos não só serviam para o consumo próprio como também eram comercializados através de pequenos postos de venda e acabavam por suprir as necessidades dos habitantes nos aglomerados urbanos da região.

A infra-estrutura que os pomeranos encontraram nestes locais estava abaixo do que havia sido difundida em propagandas por pessoas como o General Prussiano Joham Jakob Sturz. As terras oferecidas na Serra dos Tapes tinham muitas áreas de

mata virgem, que foram logo desmatadas devido à necessidade de plantio. Os lotes tinham aproximadamente quarenta e oito hectares, mas como a maioria das famílias chegou sem dinheiro, parte delas ficava com os lotes mínimos, que eram menores. A partir desse momento foram formadas algumas comunidades como Picada Moinho, Boa Vista, Bom Jesus e São Vicente, hoje município de São Lourenço do Sul.

As primeiras casas construídas constituíam-se em barracões feitos de coqueiros com teto coberto por folhas, esse material utilizado como matéria prima na construção das habitações provinha das matas derrubadas para as lavouras. As primeiras casas de alvenaria foram feitas em regime de mutirão com tijolos fabricados em formas de madeira, sendo que o rejunte era feito com barro.

Importante lembrar que, junto ao processo de imigração, foi instituída a Lei das Terras em 1850, que serviu de transição da propriedade condicional, típica do regime das sesmarias, para o sistema de propriedade plena. Neste momento os proprietários foram chamados a regularizar as suas terras, o que consistia na medição, demarcação e o registro destas. Para o processo valer, várias iniciativas foram tomadas, mas todas falharam até que em 1852 a inspetoria de terras e colonização foi criada, atuante até o fim do Império. Segundo Ligia Osório da Silva, o Rio Grande do Sul apareceu como uma exceção neste contexto, pois:

“Foi a Província que apresentou às autoridades maiores informações sobre o serviço de terras. Os relatórios dos presidentes da Província apresentaram resultados desde a década de 1870. Provavelmente, o fato de ser uma província que atraía mais a intenção das correntes migratórias levou os possuidores de terras a se interessarem mais pela legalização de suas propriedades” (SILVA, 1996, p. 200).

O custeio do processo de regularização da propriedade era por conta do proprietário, que, ao final deste tinha a plena propriedade do imóvel regularizado. Tal despesa tornava-se uma vantagem, pois a partir daquele momento a única maneira de se adquirir uma propriedade era através da compra.

Ao analisar as duas formas predominantes de ocupação da região onde se encontra a SbHASI é notável a distinção entre as áreas ocupadas na morfoescultura

do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e na morfoescultura da Planície de Terras Baixas Costeiras.

A primeira corresponde a grandes e médias propriedades, que foram mantidas do regime sesmarial e que ao longo do tempo acabaram agregando algumas atividades agrícolas à tradicional pecuária. Estas culturas são principalmente as monoculturas do arroz e da soja.

Na segunda, há o predomínio de pequenas propriedades, que estão associadas ao processo de imigração Germânica (Pomeranos). Nestas propriedades, apesar das origens ligadas ao plantio para subsistência, nos últimos anos nota-se um aumento da monocultura do fumo e diminuição da diversificação dos produtos.

Percebe-se que esta distinção se deve a três fatores principais: os primeiros habitantes a ocuparem a região optaram por locais mais acessíveis; os portugueses tiveram vantagens em relação à aquisição das propriedades e o relevo condiciona os tipos de plantio e tamanho de propriedade.

Os dados do Censo Demográfico de 2010 apontam uma população de 43.111 habitantes no município de São Lourenço do Sul, sendo 43,78 % rural, já o município de Cristal possui 7.280 habitantes, sendo que destes 44 % também é rural. Ao comparar a população rural destes municípios em relação ao censo demográfico do ano 2000 percebe-se que a percentagem da população rural aumentou no município de Cristal e diminuiu levemente em São Lourenço do Sul, pois era de 39,18 % e 46,30 % respectivamente. Ambos os municípios apresentam um número elevado de população rural tanto em relação ao País, que atualmente apresenta 15,64 %, como em relação a micro-região a que pertencem (Pelotas), que nos dois últimos censos apresentou cerca de 19 % de população rural.

Com base nos dados do censo de 2010, a população total nos setores censitários (Fig. 39) inseridas na SbHASI se encontra é de 3.150 habitantes, sendo 52,6% de homens.

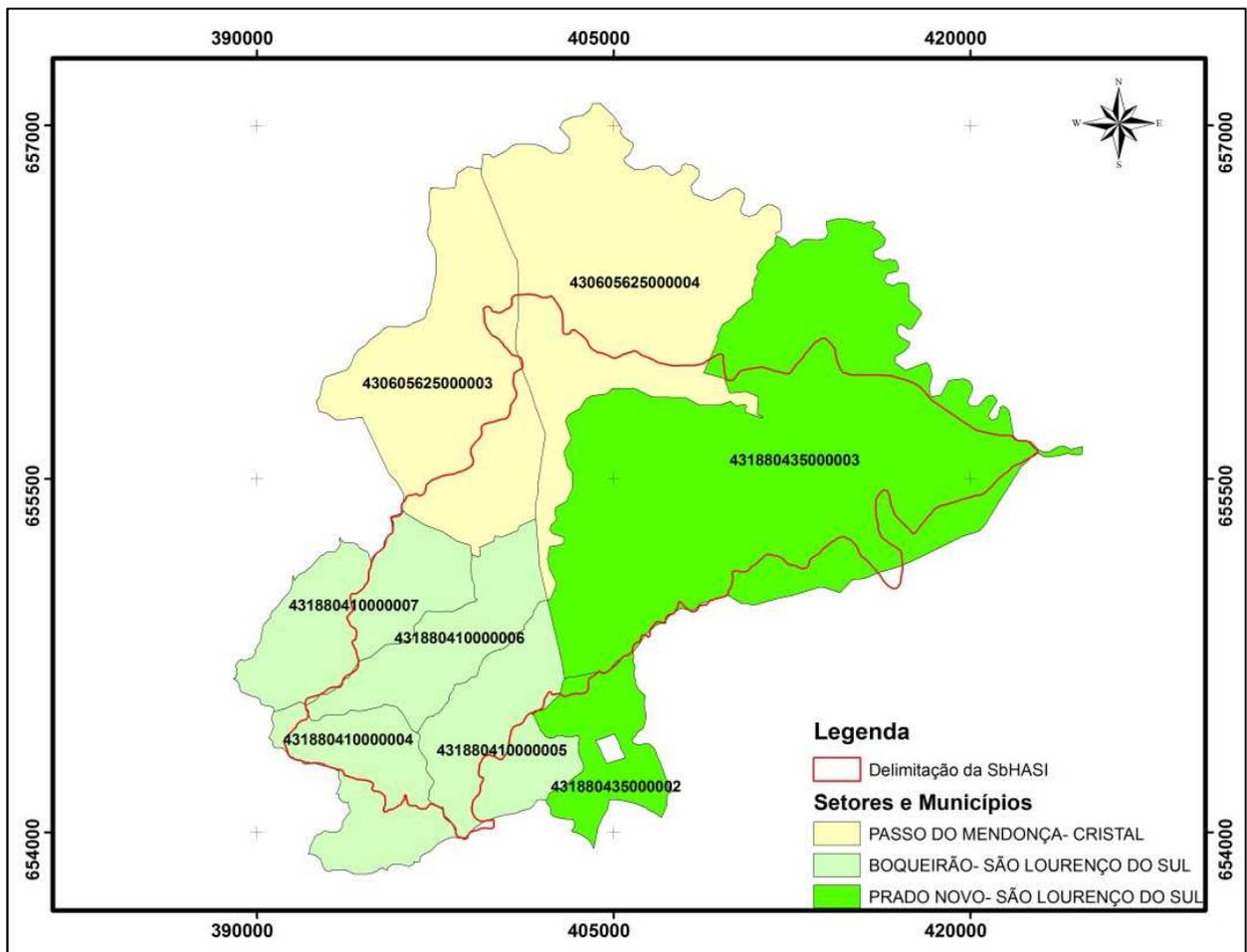


Figura 39: Setores Censitários inseridos na SbHASI conforme IBGE.

6.2 ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA ISABEL

Em mapeamento da vegetação original pretérita e atual do RS, realizado por IBGE (1986), dividiu-se o estado em sete regiões fitoecológicas⁶ e duas áreas sob condições especiais. Na área de interesse somente três destas regiões são encontradas: Floresta estacional semidecidual, Savana e Formações pioneiras.

A Floresta estacional semidecidual se caracteriza por apresentar de 20% a 50% de árvores caducifófilas no conjunto florestal na época desfavorável (inverno). Esta foi dividida em três formações na classificação de IBGE (1986), mas somente duas são encontradas na área de estudo, estas são: Floresta Sub-montana e Floresta Aluvial. Esta divisão se deu basicamente por padrões altimétricos, que interferem

⁶ “É uma área de florística típica, com formas biológicas características, submetida a um mesmo clima, podendo ocorrer em litologias variadas, porém com relevo bem demarcado” (IBGE,1986).

nas condições de drenagem e profundidade dos solos, alterando assim características da vegetação (IBGE, 1986).

A formação Sub-montana está situada em elevações acima de 30 m em relação ao nível do mar, basicamente em áreas do ESRG. Associado a este conjunto florestal tem-se a vegetação secundária (capoeira), que corresponde à vegetação de porte menor (arbustiva), evidenciando regeneração de floresta anteriormente desmatada (imigração).

A formação floresta Aluvial encontra-se nas áreas de depósitos coluvionares do quaternário situando-se em altitudes de até 40 m do nível do mar. Esta é associada a solos mal drenados e consiste nas matas ripárias, associadas aos arroios.

A região de savana consiste em uma formação gramíneo-lenhosa, sendo caracterizada por uma cobertura herbácea, com predomínio de gramíneas. Encontra-se regularmente nestas formações plantas lenhosas (principalmente arbustos e árvores) isoladas ou em forma de capões, acompanhados ou não por florestas de galeria ao longo dos cursos d'água.

As formações pioneiras segundo IBGE (1986) são caracterizadas pela ocorrência de uma vegetação típica das primeiras fases de ocupação de novos solos (planossolos, aluviais), estas independem de clima. Na região de estudo esta se caracteriza por extensas várzeas, possuindo desde espécies herbáceas até espécies arbóreas. Na área de interesse encontram-se juncais de gravatá e gramíneas altas, capões de espécies fanerófitas como o Maricá e a Corticeira (IBGE, 1986).

A apropriação do ambiente pelo homem e as mudanças nos cultivos e nas criações faz muitas vezes com que haja alterações na vegetação natural de um determinado local. Desta forma, para melhor entender as mudanças ocorridas na SbHASI e suas relações com as fragilidades deste ambiente, tornou-se importante resgatar os usos em diferentes períodos de tempo.

As classes usadas neste mapeamento buscam retratar tanto as vegetações naturais preservadas, quanto às intervenções antrópicas, sendo divididas nas seguintes classes: Mata Nativa, Silvicultura, Lavouras, Campos-Pastagens e Solos Expostos.

A classe mata nativa (Fig. 40) refere-se à floresta estacional semidecidual e as espécies arbóreas das formações pioneiras, consistindo na parte florestal.



Figura 40: Floresta estacional semidecidual em áreas do ESRG na SbHASI.

A classe de Silvicultura diz respeito ao eucalipto plantado para as estufas de fumo, quebra de vento para o gado e nas sedes de fazenda ou ao longo das estradas, assim como o plantio de acácia negra (Fig. 41) que já se tornou tradicional na área de estudo.



Figura 41: Plantação de Acácia ao norte da SbHASI na unidade de interflúvios médios.

A classe de lavouras (Fig. 42) trata tanto do cultivo de monoculturas como soja, arroz e fumo, quanto de policultura (feijão, milho, tomate,...).

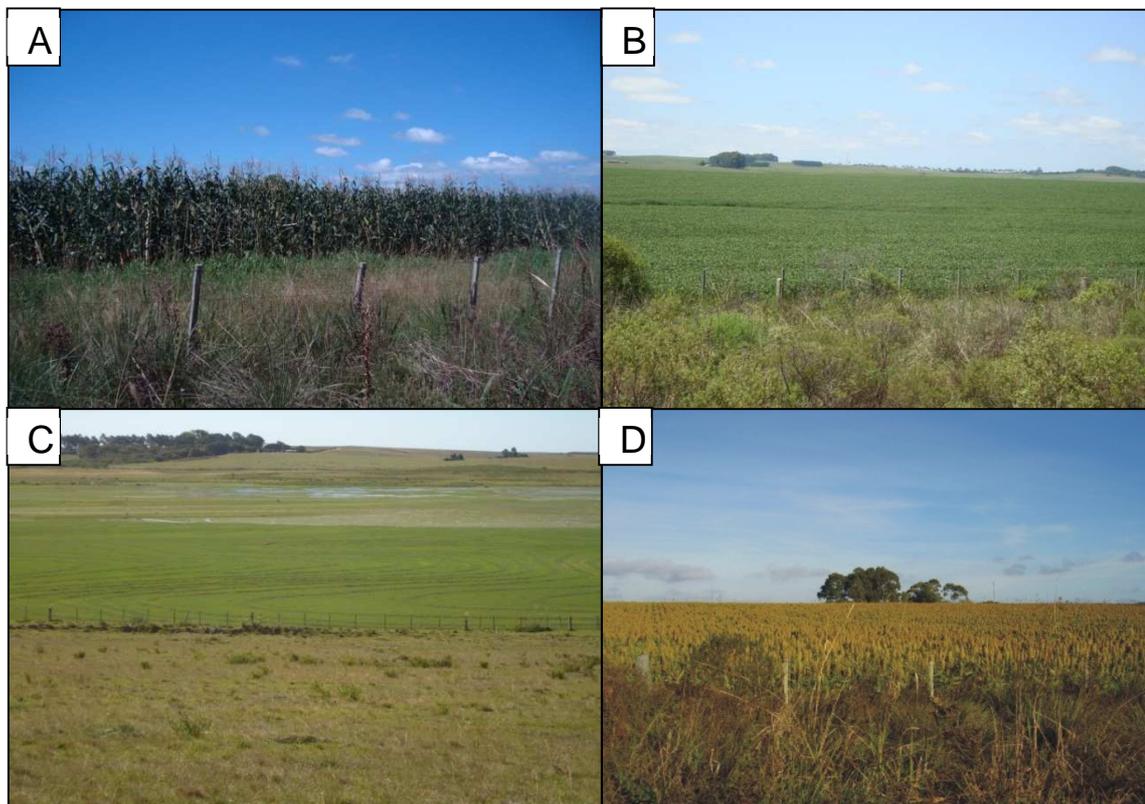


Figura 42: A) Plantio de milho na área do ESRG, B) Plantio de soja na PC, C) Plantio de arroz na PC e D) Plantio de sorgo em terraço coluviais.

A classe de campos-pastagens (Fig. 43) contém áreas com vegetação gramínea e herbácea, que podem pertencer a formações naturais ou terem sido plantadas para alimentar as criações.



Figura 43: Campos utilizados para criação de gado na unidade de colinas com vertentes suaves ao sul da SbHASI.

A classe de solo exposto trata de toda e qualquer área sem cobertura vegetal, por se tratar de uma área totalmente rural, estas se restringem as estradas, processos erosivos e terras das quais foi colhida alguma cultura ou esta sendo preparada para o plantio (Fig. 44), deixando desta forma o solo desprotegido da ação das chuvas.



Figura 44: área com solos expostos devido ao preparo da terra para plantio. (04/03/2012).

O primeiro mapa é referente ao ano de 1988 (Fig. 45) e a área de cada classe pode ser vista na Tabela 9.

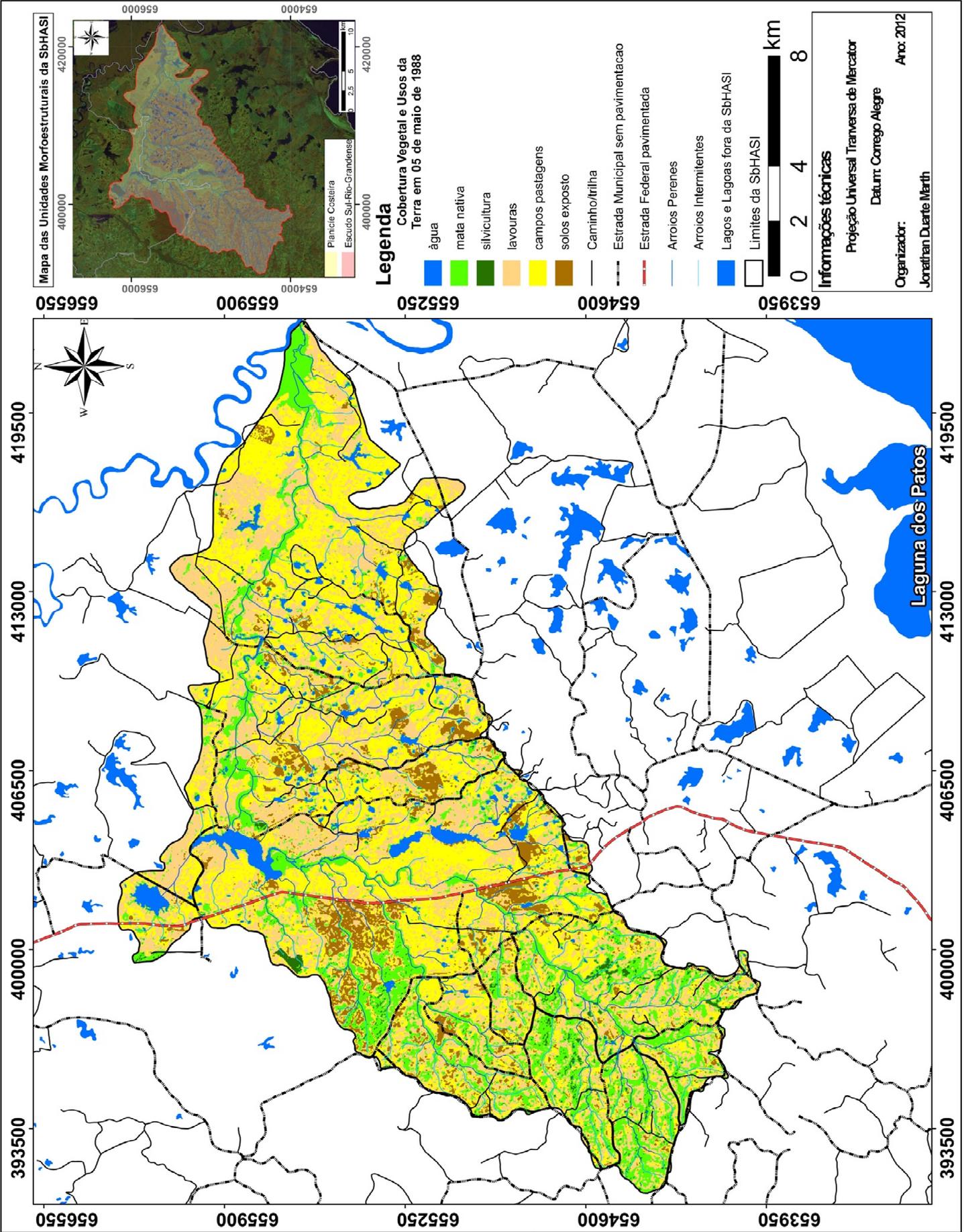


Figura 45: Mapa de usos da terra e cobertura vegetal da SbhASI em 05/05/1988.

Tabela 9: Área dos Usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 1988.

Uso da terra e cobertura vegetal	Área em km²
Água	9,21
Mata Nativa	49,54
Silvicultura	3,30
Lavouras	112,84
Campos Pastagens	98,70
Solos Expostos	20,60
Total	294,25

Ao analisar a quantidade de área ocupada por cada classe, cabe destacar a pequena quantidade da classe de silvicultura, que se encontra fragmentada na área da SbHASI.

Há o predomínio das classes de lavouras e campos/pastagens, que se encontram espalhadas ao longo de toda a área de estudo, sendo fragmentadas nas áreas correspondentes ao ESRG. O predomínio destas classes reafirma a tradição de plantio e criação da área de estudo e as diferenças destas unidades nas áreas do ESRG e PC evidenciam os distintos usos e o tamanho das propriedades.

Cabe destacar também que a classe de vegetação nativa esta basicamente associada aos corpos hídricos, ganhando uma maior concentração próxima à foz da bacia, que é um local com limitações de uso, devido às enchentes.

A classe solos expostos apresentou uma área pequena, pois o período da imagem esta dentro do limite de colheita de praticamente todos os cultivos de primavera, sendo assim, nem todas as culturas foram colhidas neste momento. Pode haver uma modificação entre as áreas de solos expostos e lavouras principalmente nos meses de março, abril e maio, período de colheita (SAPA , 2012) das principais culturas da SbHASI (arroz e soja).

O mapa de usos da terra e cobertura vegetal da área de estudo para o ano de 1995 (Fig. 46) e as áreas das classes referentes a este mapa (Tab. 10) podem ser visualizadas a seguir.

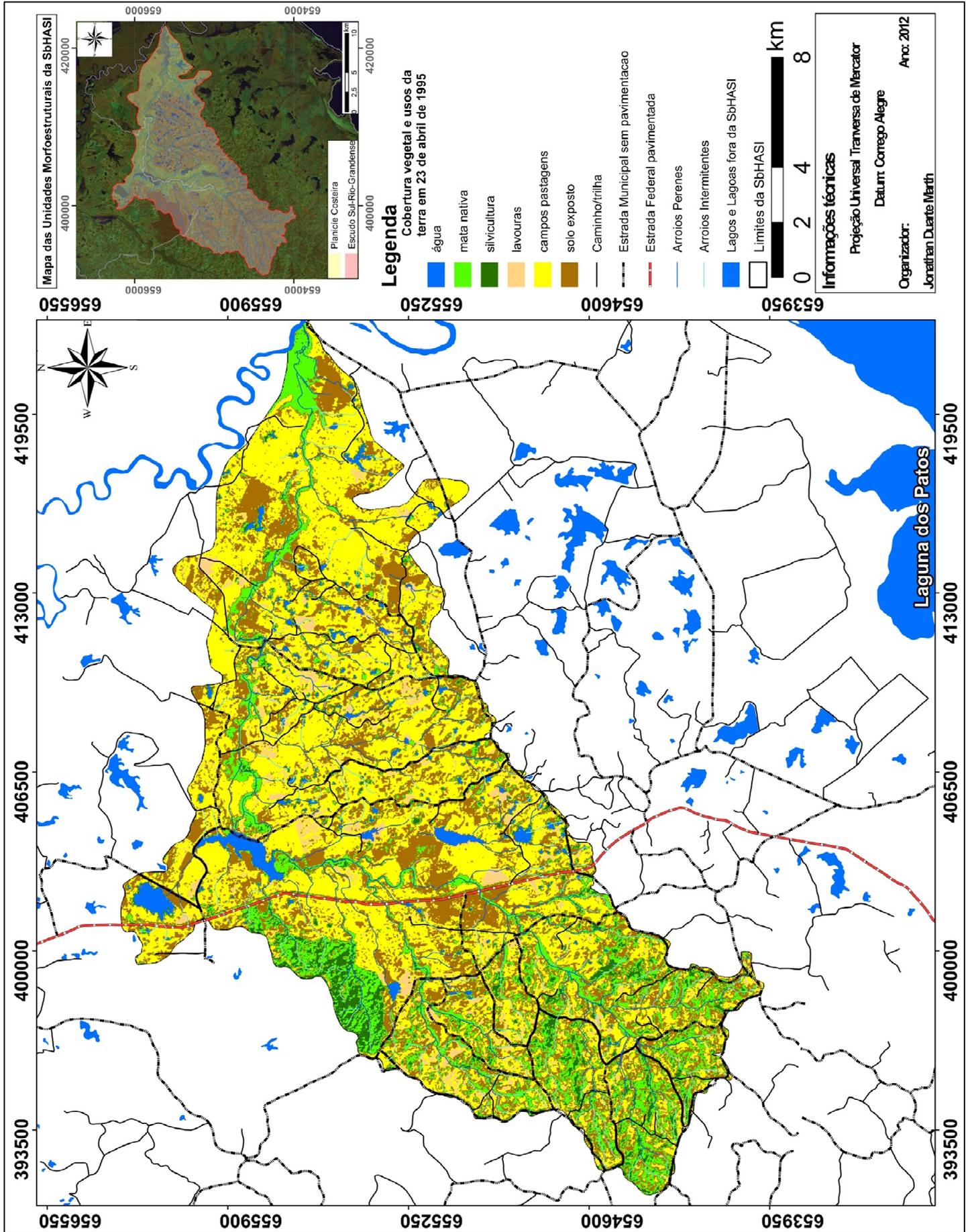


Figura 46: Mapa de usos da terra e cobertura vegetal da SbhASI em 23/04/1995.

Tabela 10: Área dos Usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 1995.

Uso da terra e cobertura vegetal	Área em km²
Água	7,59
Mata Nativa	39,55
Silvicultura	11,75
Lavouras	11,73
Campos Pastagens	135,77
Solos Expostos	87,86
Total	294,25

A área de estudo apresenta algumas diferenças nas classes mapeadas em relação ao primeiro ano da série. Percebe-se um aumento das áreas de silvicultura, principalmente devido ao plantio de acácia no setor oeste da bacia. O crescimento da produção de fumo na região também explica o aumento da área de floresta plantada, pois esta atividade demanda uma grande quantidade de lenha para secagem do fumo.

As áreas de solos expostos mostram um aumento, que possivelmente reflete um período em que praticamente todas as culturas já foram colhidas, o que pode se confirmar com a pequena área ocupada por lavouras. No setor leste do mapa encontra-se a maior concentração da classe solos expostos, que representa áreas de plantio de arroz e soja na PC.

Há uma inversão de valores entre as classes que representam as lavouras e as áreas que correspondem aos campos e pastagens, isto sinaliza para uma prática bem comum na região que consiste no rodízio entre culturas e criação de gado para descanso do solo.

Para melhor entendimento das culturas e criações dos municípios em que a SbHASI está situada são mostrados a seguir os dados referentes a criações (Tab. 11), lavouras temporárias e permanentes (Tabs. 12 e 13) dos municípios de São Lourenço do Sul e Cristal para este ano. Os dados mostram os principais rebanhos e principais culturas nos municípios em que a SbHASI se situa no ano de 1995.

Tabela 11: rebanhos (cabeças) em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal.

Tipo de rebanho	São Lourenço do Sul	Cristal
Bovino	76.500	28.500
Equino	8.800	3.100
Bubalino	1.800	1.500
Asinino	7	4
Muar	65	10
Suíno	18.700	6.000
Caprino	500	600
Ovino	17.000	6.900
Galos, frangas, frangos e pintos	140.000	33.000
Galinhas	60.000	4.500
Codornas	-	-
Coelhos	300	-

Cabe destacar que os rebanhos bovino e ovino dos municípios nos quais se situa a SbHASI são ligados principalmente a grande propriedade e que o rebanho suíno e a criação de frangos são de pequena propriedade, mostrando uma diferenciação entre o Planalto e a planície também nos rebanhos.

Tabela 12: área plantada (hectares) de Lavouras temporárias em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.

Lavoura temporária	São Lourenço do Sul	Cristal
Alho	15	1
Amendoim (em casca)	80	6
Arroz (em casca)	9.530	5.920
Batata-doce	250	15
Batata-inglesa	7.500	650
Cana-de-açúcar	-	21
Cebola	600	20
Feijão (em grão)	1.000	90
Fumo (em folha)	2.500	300
Mandioca	150	20
Melancia	50	20
Melão	-	4
Milho (em grão)	20.000	2.950
Soja (em grão)	4.000	2.100
Sorgo (em grão)	80	-
Tomate	3	2

Percebem-se algumas diferenças entre as principais culturas dos municípios, tendo o milho grande predomínio em São Lourenço do Sul e o arroz em Cristal, mas de maneira geral as culturas plantadas são as mesmas.

Tabela 13: área plantada (hectares) de Lavouras permanentes em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.

Lavoura permanente	São Lourenço do Sul	Cristal
Banana (cacho)	-	1
Caqui	2	-
Figo	1	1
Goiaba	7	-
Laranja	165	25
Limão	4	4
Pera	3	1
Pêssego	20	1
Tangerina	22	6
Uva	-	1

As lavouras permanentes apresentam uma área pequena se comparadas às lavouras temporárias, a explicação para isto está no fato destas serem relacionadas às pequenas propriedades e muitas das vezes suprirem uma demanda local ou até mesmo serem para o consumo familiar.

O mapa de usos da terra e cobertura vegetal da área de estudo do ano de 2010 (Fig. 47) e as áreas das classes referentes a este mapa (Tab. 14) podem ser visualizadas a seguir.

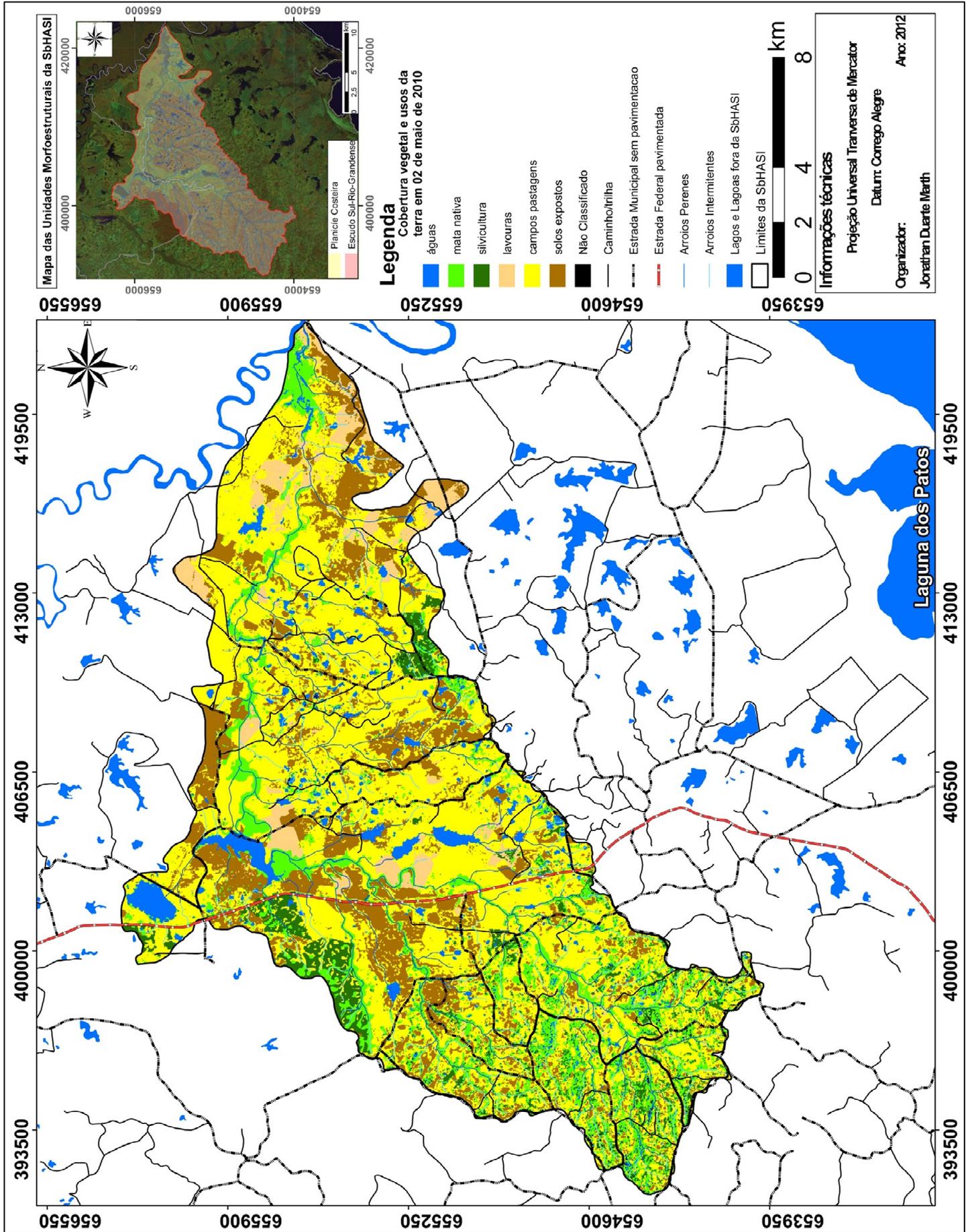


Figura 47: Mapa de usos da terra e cobertura vegetal da SbhASI em 02/05/2010.

Tabela 14: área dos Usos da terra e cobertura vegetal da SbHASI em 2010.

Uso da terra e cobertura vegetal	Área em km²
Água	14,04
Mata Nativa	40,12
Silvicultura	14,57
Lavouras	17,92
Campos Pastagens	152,31
Solos Expostos	54,60
Não Classificada	0,70
Total	294,25

Esta classificação apresenta a maior área da classe águas da série histórica, isto se deve pelo aumento de barragens em todos os setores da SbHASI, principalmente no setor de colinas com interflúvios médios.

A classe de campos e pastagens também foi a maior de toda a série, fato que pode ser explicado pelo aumento dos rebanhos que pode ser visto na tabela 15.

A classe não classificada representa pixels de confusão na interpretação visual e posterior classificação, mas apresenta uma área pequena em relação às outras classes, não interferindo na qualidade do mapeamento.

A classe de mata nativa apresentou área idêntica ao período de 1995, fato que representa certa estabilidade quanto ao desmatamento, pois ao longo destes 15 anos houve um aumento na produção de várias culturas (Tab. 16) e mesmo assim a vegetação nativa manteve uma área com cerca de 14% na SbHASI.

Tabela 15: rebanhos (cabeças) em São Lourenço do Sul e Cristal - 2010. Fonte: IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal

Tipo de rebanho	São Lourenço do Sul	Cristal
Bovino	107.926	39.000
Equino	9.981	1.650
Bubalino	312	285
Asinino	59	-
Muar	3	-
Suíno	17.843	3.082
Caprino	1.634	275
Ovino	10.772	4.180
Galos, frangas, frangos e pintos	49.785	25.400
Galinhas	55.975	4.700
Codornas	42	-
Coelhos	460	85

Tabela 16: área plantada (hectares) de Lavouras temporárias em São Lourenço do Sul e Cristal - 2010. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.

Lavoura temporária	São Lourenço do Sul	Cristal
Alho	15	1
Amendoim (em casca)	50	8
Arroz (em casca)	10.100	7.010
Batata-doce	250	10
Batata-inglesa	600	110
Cana-de-açúcar	-	10
Cebola	150	4
Feijão (em grão)	500	70
Fumo (em folha)	8.500	1.350
Girassol (em grão)	-	150
Mandioca	100	30
Melancia	50	8
Melão	-	1
Milho (em grão)	9.000	2.700
Soja (em grão)	8.000	3.350
Sorgo (em grão)	70	-
Tomate	5	2
Trigo (em grão)	300	-

A cultura do fumo é a que mais cresceu proporcionalmente em ambos os municípios, fato que aumentou o desgaste dos solos e está diretamente ligado à diminuição dos demais cultivos temporários de pequenas propriedades como a Batata inglesa, que já foi símbolo da região e chegou a ser uma das principais

culturas, principalmente no município de São Lourenço do Sul. O plantio de arroz aumentou em ambos os municípios, sendo atualmente a maior cultura destes.

A seguir a Tabela 17:

Tabela 17: área plantada (hectares) de Lavouras permanentes em São Lourenço do Sul e Cristal - 1995. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal.

Lavoura permanente	São Lourenço do Sul	Cristal
Banana (cacho)	-	1
Caqui	2	1
Figo	1	1
Goiaba	7	-
Laranja	200	33
Limão	4	3
Pera	-	1
Pêssego	150	12
Tangerina	22	4
Uva	-	5

Apesar de pequeno, houve um aumento no plantio de pêssego no município de São Lourenço, mas que pouco representa em relação ao município ou até mesmo a SbHASI.

Quando se analisa a cobertura vegetal e os usos da terra na SbHASI, é necessário entender que esta área começou a ser modificada desde a ocupação Luso-brasileira e se intensificou com a imigração germânica. Nos últimos anos a vegetação nativa que corresponde a floresta estacional semidecidual (submontana e aluvial) tem se mantido estável, mas esta se restringe praticamente as margens dos arroios.

As diferenças entre as áreas da morfoescultura do planalto e morfoescultura da Planície de terras baixas vão além do tamanho das propriedades, também se fazem presente tanto nas criações como nos cultivos. Isto mostra como o relevo condicionou os usos desta bacia.

Com base no que observou-se nos trabalhos de campo, são levadas em conta medidas de prevenção à erosão e desgaste dos solos na hora de plantar, havendo medidas como o plantio em curvas de nível até o pousio das terras para recuperação dos solos. De qualquer maneira a SbHASI possui uma área expressiva de terras utilizadas para agricultura e criações, que vem a ser o fruto do processo de ocupação.

7. ANÁLISE E MAPEAMENTO DAS FRAGILIDADES DO AMBIENTE

A análise das fragilidades do ambiente na SbHASI resultou em um mapa contendo as fragilidades emergentes e potenciais da bacia. Neste mapeamento o sistema de vertentes e interflúvios tem uma área de 264,91 km², apresentando as susceptibilidades à erosão e o sistema fluvial apresenta uma área de 29,36 km², que mostra as susceptibilidades a inundação. Os setores podem ser vistos na Figura 48:

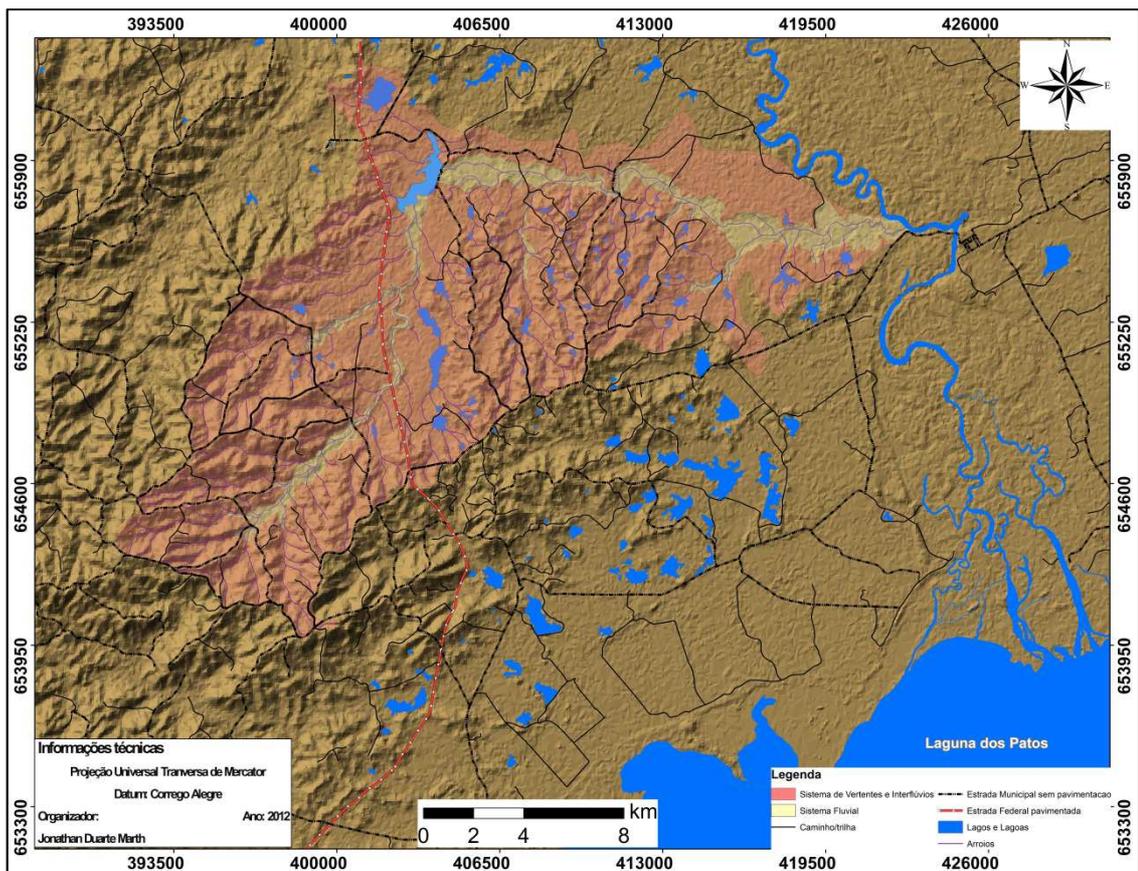


Figura 48: Mapa com a divisão entre o sistema de Vertentes e interflúvios e o sistema fluvial da SbHASI.

7.1 SISTEMA DE VERTENTES

O setor de vertentes foi classificado em três níveis hierárquicos de fragilidade (Fraca, média e forte). As classes encontradas são intermediárias, haja vista que não foram identificadas na área de estudo as classes muito forte e muito fraca. Isto se deve principalmente ao relevo suave ondulo de colinas, que predominam na SbHASI e a prevalência de solos com susceptibilidades médias aos processos erosivos (Argissolos). Ross (1994) cita a importância de se conhecer o papel de cada variável, pois cada uma destas apresenta um certo grau de influência no ambiente. O mapa de fragilidades do sistema de vertentes (Fig. 49) pode ser visualizado a seguir.

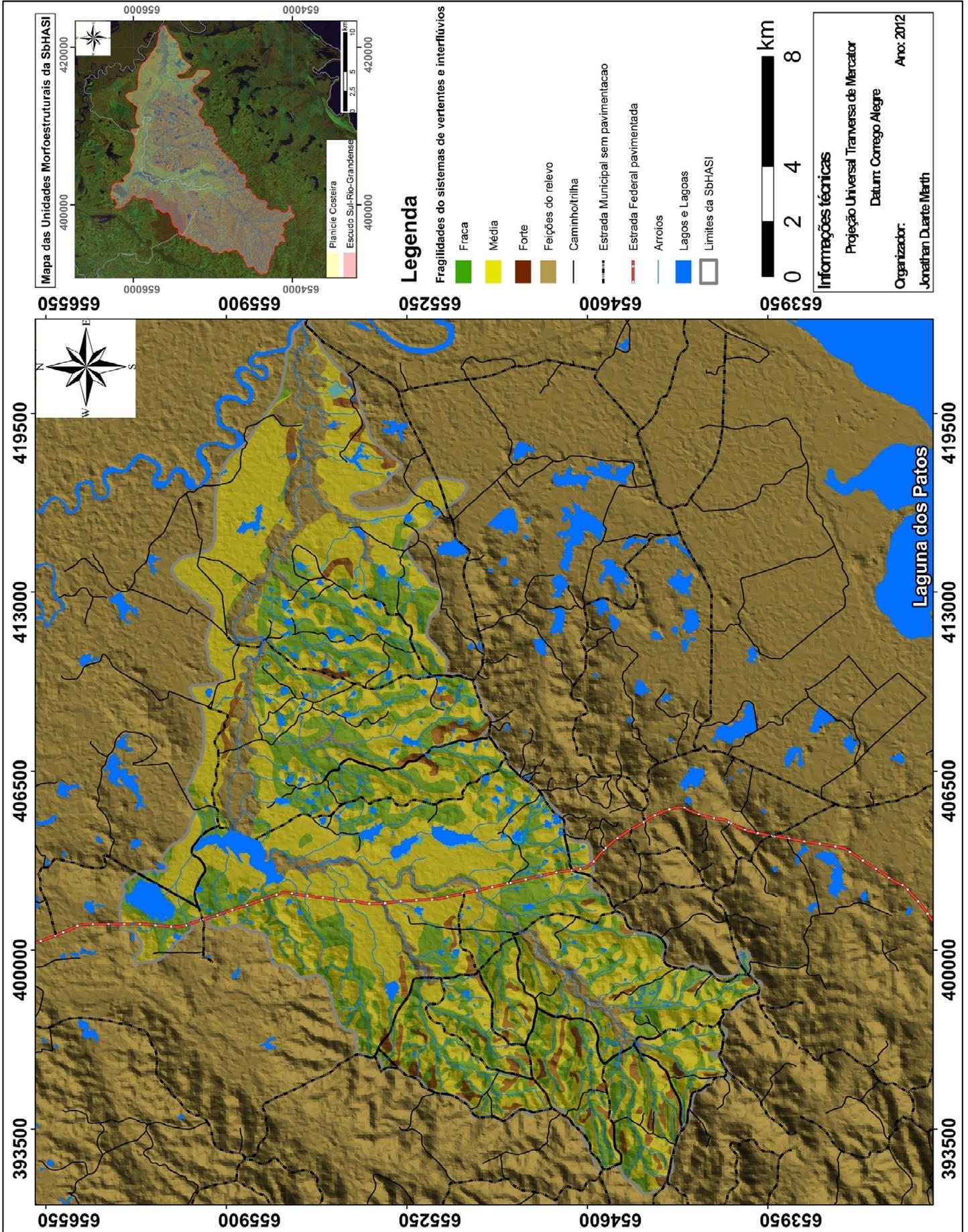


Figura 49: Mapa de fragilidades do sistema de vertentes da SbhASI.

A classe de fragilidade fraca corresponde a 34,26% da área do setor de vertentes com 90,71 km² de extensão. Esta classe está associada principalmente a áreas com declividades menores que 30% e com presença de vegetação nativa nas unidades de colinas. Os solos que predominam nesta classe de fragilidade são os argissolos, mas também podem ser encontradas Gleissolos nas baixas vertentes das unidades de colinas e nos terraços colúvio-aluvionares.

Esta unidade apresenta algum processo erosivo, geralmente principiado pela ação antrópica, como aterro, retirada material para manutenção de estradas e construção de taipas (barragens). De maneira geral, nas áreas que não há proteção da vegetação nativa, o principal processo erosivo é do tipo laminar, havendo uma perda gradual ao longo da vertente.

A classe de fragilidade média, que abrange a maior área do setor de vertentes com 162,06 km² (61,26%), predomina nas áreas de terraços lagunares e colúvio-aluvionares, aparecendo ainda nas baixas vertentes das unidades de colinas. A média fragilidade atribuída a esta classe se deve a interação de fatores sem fortes susceptibilidades, como áreas com vegetação gramínea, declividades baixas, que amenizam as susceptibilidades de solos como Planossolos e Gleissolos em relação aos processos erosivos.

Esta unidade apresenta alguns processos erosivos (Fig. 50), que em estágio avançado evoluem para Voçorocas.

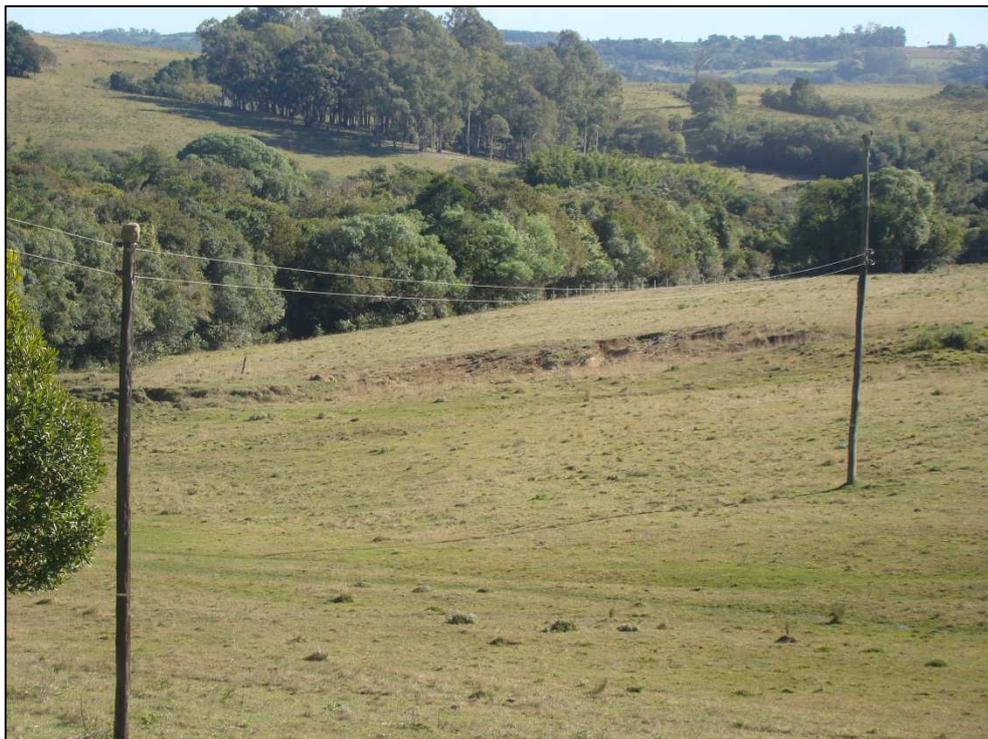


Figura 50: Processo erosivo em estágio avançado em baixa vertente de colinas de interflúvios estreitos (29/09/2011).

A classe de fragilidade forte foi a menor área mapeada na SbHASI, com uma extensão de 11,95 km², que corresponde a 4,51% do setor de vertentes. As áreas com este nível de fragilidade se encontram geralmente nos setores de altas e médias vertentes das unidades de colinas. Foram mapeadas duas unidades em áreas de terraço lagunar, devido principalmente ao Neossolos sem cobertura vegetal.

As áreas mapeadas nas colinas se devem principalmente pelas altas declividades, solos mais rasos e com horizonte superficial arenoso. Nestes locais foram encontrados alguns processos erosivos em estágio avançado (Fig. 51).



Figura 51: Processo erosivo em estágio avançado em alta vertente de colinas de interflúvios estreitos (21/12/2011).

Os processos erosivos ocorrem até mesmo em unidades com médias e fracas fragilidades. Isto evidencia o papel antrópico na instabilidade das unidades ecodinâmicas. Os resultados desta metodologia para o setor de vertentes possuem grande confiabilidade nas classes encontradas.

7.2 SISTEMA FLUVIAL

No sistema fluvial são vários os condicionantes das inundações, logo, os graus de fragilidade se diferenciam através da interação destes fatores. Para entender melhor as susceptibilidades do sistema fluvial, analisaram-se três imagens (Fig. 52), que representassem inundações na SbHASI (Tab. 18), fatores antrópicos, características geomorfológicas e características dos solos.

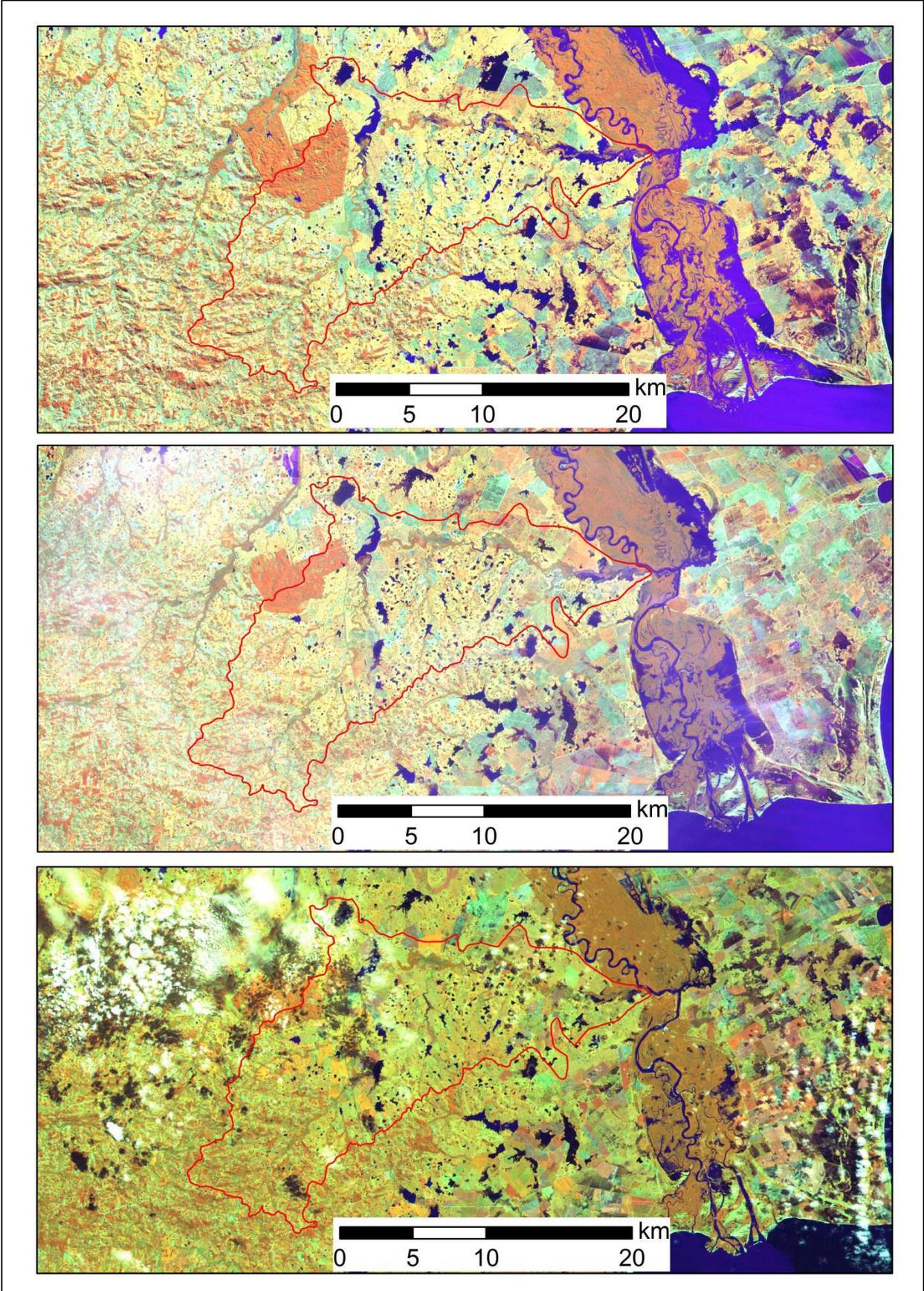


Figura 52: Imagens landsat, mostrando inundações na SbHASI.

Tabela 18: Imagens com lâmina d'água de inundação na SbHASI.

Imagens utilizadas	Dias de chuva	Precipitação total
Imagem <i>Landsat</i> de 01/06/1986	3	147,8 mm
Imagem <i>Landsat</i> de 27/09/2000	6	118,5 mm
Imagem <i>Landsat</i> de 23/03/2007	3	182,7 mm

O sistema fluvial foi classificado em cinco níveis categóricos hierárquicos de fragilidade, variando de muito fraca a muito forte. Estes podem ser visualizados na Figura 53.

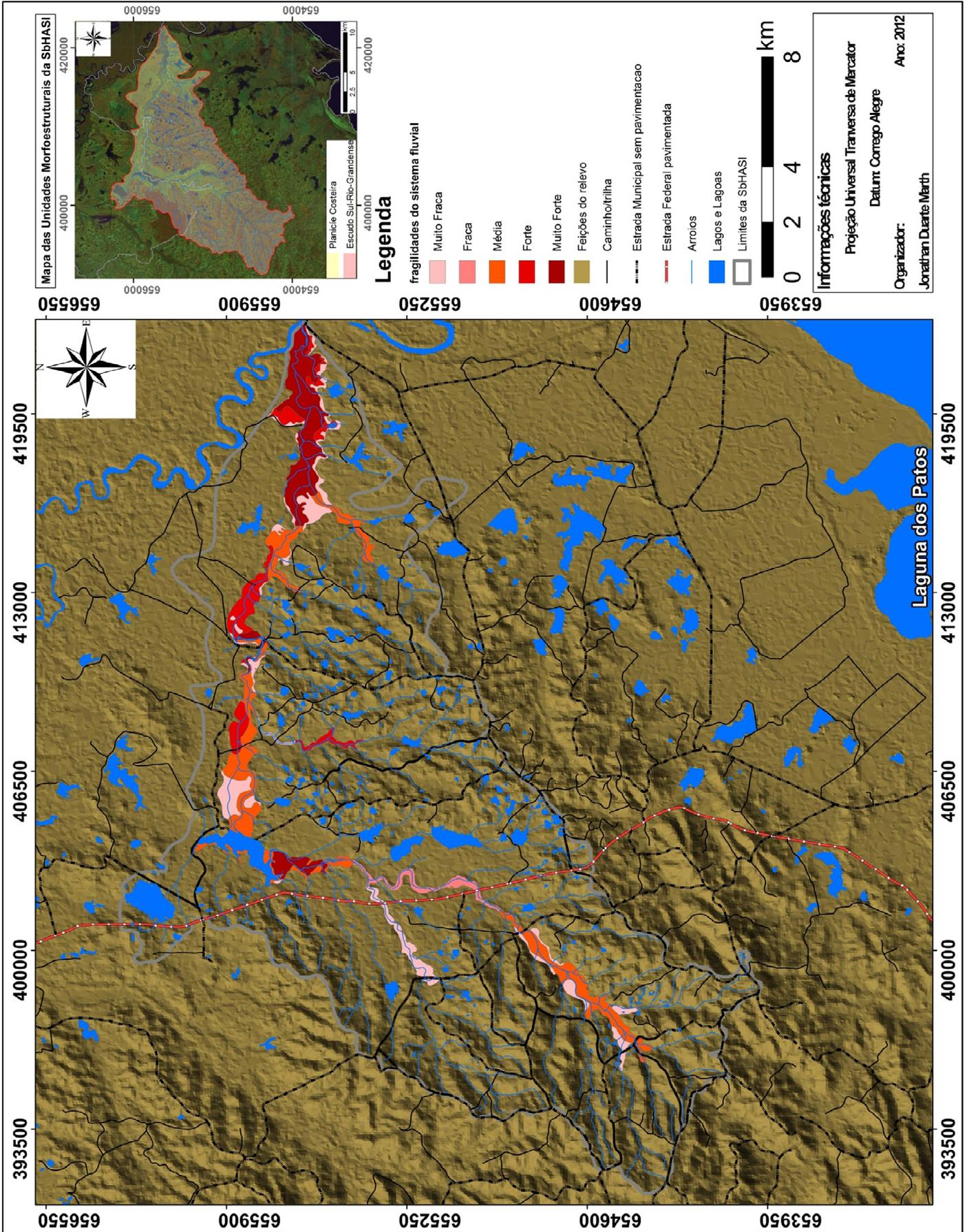


Figura 53: Mapa das fragilidades do sistema fluvial da SbHASI.

As áreas abrangidas por cada fragilidade podem ser vistas na Tabela 19 a seguir:

Tabela 19: Áreas das fragilidades do sistema fluvial.

Fragilidade	Área em km ²	Porcentagem
muito fraca	6,32	21,52 %
Fraca	1,30	4,43 %
Média	10,44	35,56 %
Forte	3,93	13,39 %
muito forte	7,37	25,10 %

A classe de fragilidade muito fraca está associada a setores da planície de inundação, que devido às altas elevações em comparação às áreas adjacentes e ao próprio leito menor dos arroios, dificilmente são inundadas.

As áreas correspondentes à classe de fragilidade fraca situam-se em um setor onde o canal do arroio Santa Isabel está encaixado na planície de inundação e esta se encontra confinada pelo terraço colúvio-aluvionar (Fig. 54), sendo estreitas e possuindo poucos pontos de extravasamento das águas do leito menor. Os solos desta unidade são Gleissolos e Planossolos.

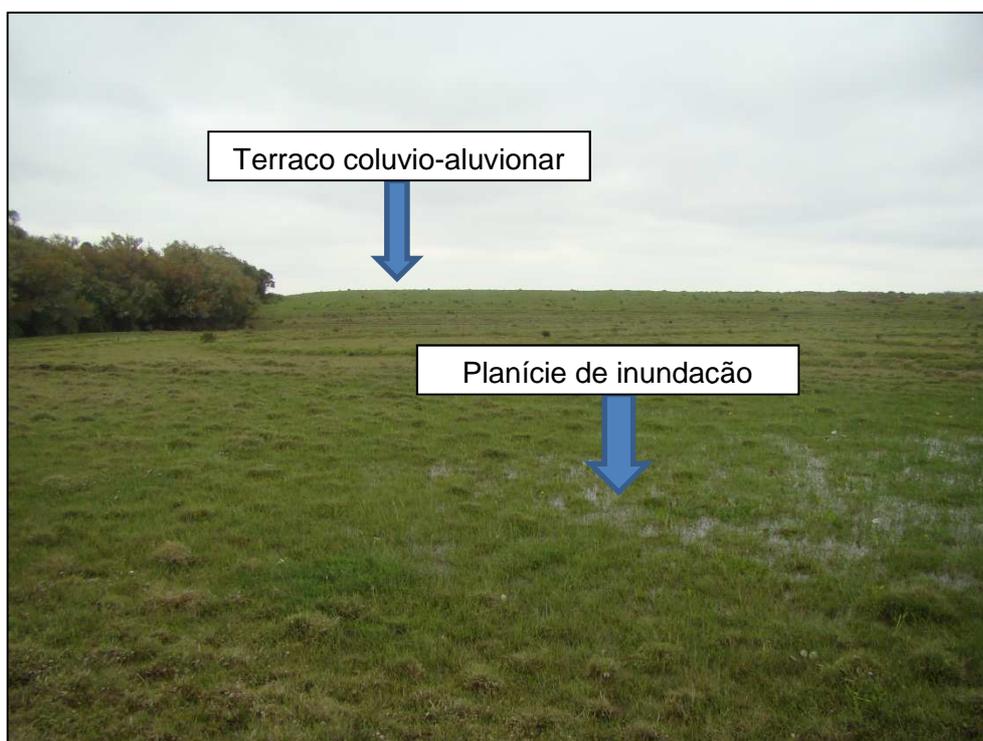


Figura 54: Área de fragilidade fraca no médio curso da SbHASI (07/10/2011).

A classe de fragilidade média é a de maior extensão do sistema fluvial. Esta se localiza no alto e médio curso do Arroio Santa Isabel e em dois afluentes de sua margem direita.

No alto curso (Fig. 55) esta unidade é caracterizada por áreas planas com situação topográfica deprimida em relação às colinas dissecadas. Nesta unidade também são mais comuns as enxurradas, pois em eventos intensos estas áreas não tem capacidade de drenar os fluxos superficiais vindos das vertentes adjacentes. Os solos de maneira geral possuem horizontes superficiais arenosos.



Figura 55: Planície de inundação do arroio Santa Isabel no alto curso da sub-bacia. (21/12/2011).

No médio curso esta unidade caracteriza-se por ser rebaixada em relação aos terraços colúvio-aluvionares, que não possuem gradientes altos de elevação. Os solos destas áreas são Gleissolos e Planossolos. Os canais de irrigação tem papel fundamental no caráter médio de susceptibilidade destas unidades, pois estas drenagens artificiais auxiliam no escoamento das águas pluviais. Ainda assim estas áreas podem ser inundadas devido a eventos acumulados, que são comuns na área de estudo.

Nos afluentes da margem direita o fator que condiciona a susceptibilidade é a relação entre as áreas de vertentes e a planície de inundação destes canais. Apesar de os solos serem rasos do tipo Gleissolos Húmicos as vertentes são suavizadas e com rampas compridas, que acabam por dar este caráter médio a essas áreas que não possuem vegetação no entorno dos canais.

A classe de fragilidade forte consiste em áreas rebaixadas ao longo da planície de inundação do arroio Santa Isabel posteriores a barragem (Fig. 56). Estas áreas encontram-se inundadas em duas das três imagens de inundação analisadas.



Figura 56: Planície de inundação do arroio Santa Isabel no baixo curso da sub-bacia. (07/10/2011).

Também pertence à classe de forte fragilidade um trecho de um afluente da margem direita do arroio Santa Isabel, que se encontra em sedimentos colúvio-aluvionares e está associado a solos mal drenados (gleissolos). Neste trecho há a confluência de vários canais de 2ª e 3ª ordem, o que faz com que esta área não consiga drenar as águas pluviais das vertentes adjacentes quando ocorrem eventos de chuva.

A classe de fragilidade muito forte está relacionada às áreas muito planas, que constantemente são inundadas. Em todas as imagens com inundações que foram

analisadas, estas áreas aparecem submersas. Há na sub-bacia três setores pertencentes a esta unidade, havendo diferentes condicionantes em cada um:

O primeiro setor encontra-se no segmento anterior a barragem no arroio principal da sub-bacia. Esta área possui solos hidromórficos e um relevo rebaixado em relação aos terraços colúvio-aluvionares adjacentes. Devido o controle da vazão feito pela barragem, em eventos de precipitação este é o primeiro setor a ser inundado.

O segundo setor encontra-se em uma curva acentuada do arroio Santa Isabel, onde a planície de inundação se encontra rebaixada e confinada à esquerda pelo terraço lagunar e à direita por colinas. Com o aumento da vazão devido às chuvas este setor é inundado. O condicionante aqui é geomorfológico.

O terceiro setor (Fig. 57) consiste em uma faixa extensa e ampla junto a foz da SbHASI com presença de Neossolos e Planossolos. Esta área sofre forte influência do Rio Camaquã, podendo ser inundada mesmo em eventos de baixa magnitude, simplesmente pela retenção da vazão devido o aporte de águas do Camaquã.

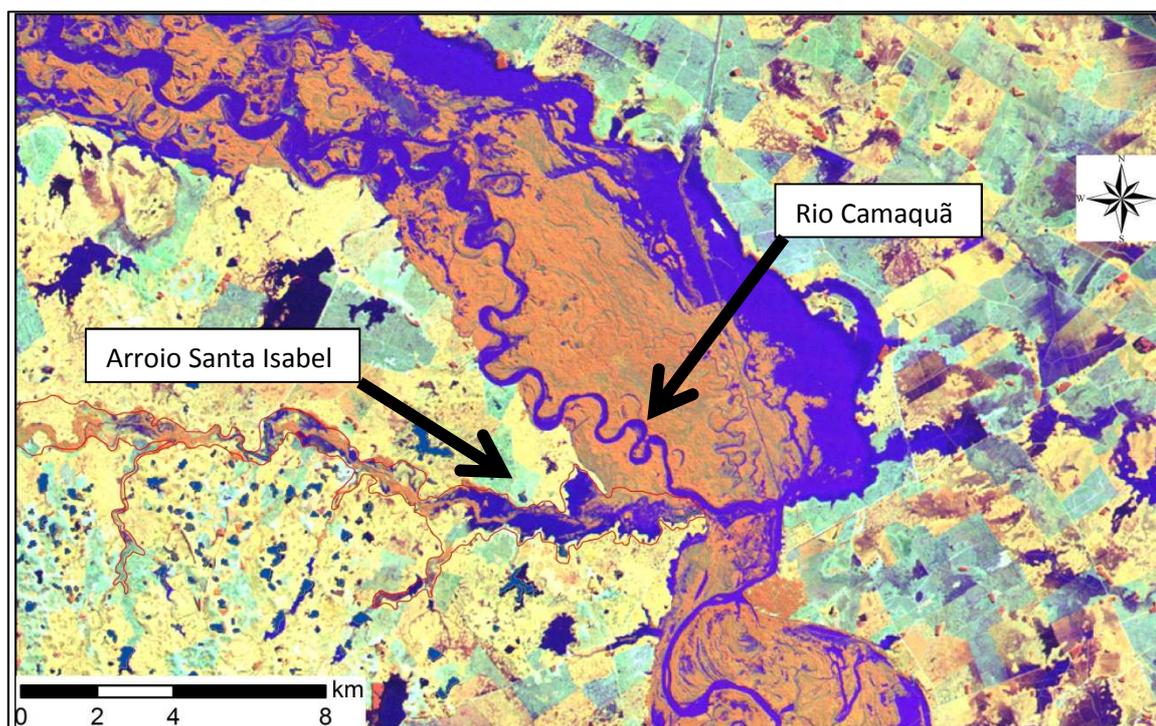


Figura 57: Foz do arroio Santa Isabel no rio Camaquã. Imagem *Landsat* de 01/06/1986.

Percebe-se que de maneira geral os fatores que tem maior peso na definição das classes de susceptibilidade a inundação são: amplitude do relevo; confluência de

corpos hídricos e a ação antrópica com o controle da vazão, seja na construção de barragens ou canais de irrigação.

A metodologia adotada e os procedimentos aplicados neste mapeamento se mostraram satisfatórios para identificação das susceptibilidades do ambiente, podendo servir de base para um futuro ordenamento territorial.

O mapa de fragilidades da SbHASI pode ser visualizado a seguir na Figura 58

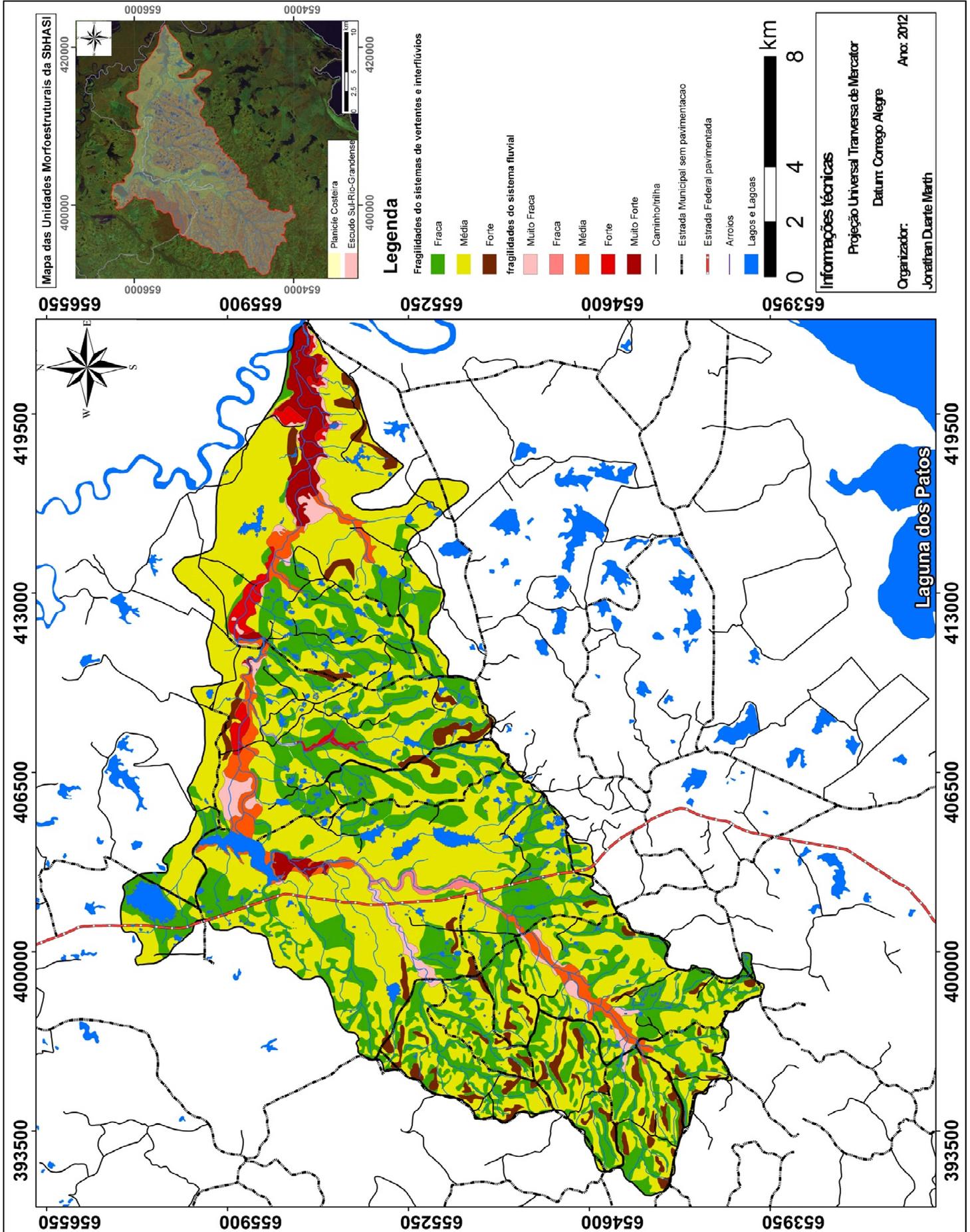


Figura 58: Mapa final das fragilidades do ambiente na SbhASI.

8. CONCLUSÕES

O histórico de ocupação da SbHASI pode ser analisado através de dois tipos principais de ocupação: o primeiro ligado aos portugueses, que ocuparam estas terras, a partir da metade do século XVIII, através do sistema de sesmarias e o segundo associado aos pomeranos, que vieram após a lei das terras e ocuparam basicamente as áreas do planalto, com pequenas propriedades, que contrastaram com as grandes propriedades do primeiro tipo de ocupação. Esta diferença refletiu também nos impactos gerados ao meio ambiente, havendo nas grandes propriedades um desgaste dos solos e modificações no sistema fluvial (canais de irrigação) através do plantio de arroz, soja e pecuária extensiva e nas áreas de pequenas propriedades o desmatamento, devido principalmente à ocupação inicial, e atualmente um desgaste dos solos devido à intensificação da cultura do fumo.

Em relação aos usos da terra, constatou-se uma estabilidade desde a década de 1980, pois apesar das diferenças de áreas nas classes adotadas para o mapeamento, percebe-se uma rotação entre culturas como o arroz e soja e a pecuária, que no decorrer de uma década alterna duas vezes em média.

Os padrões de formas do relevo encontrados na SbHASI são Colinas com interflúvios estreitos, médios e amplos, que estão situadas na morfoescultura de Planalto Uruguaio sul-rio-grandense e terraços colúvio-aluvionares, lagunares, rampas colúviais e planície de inundação dos canais principais, que estão inseridos na morfoescultura Planície e Terras Baixas Costeiras. As áreas de colinas abrangem a maior área na bacia (dois terços).

Os solos da área de estudo são basicamente dos tipos Argissolos, Gleissolos e Planossolos. Nas áreas do Planalto predominam os Argissolos, que podem estar associados à Neossolos nas altas vertentes e associados à Gleissolos nas baixas

vertentes. Nas áreas de planície os solos predominantes são os Gleissolos e os Planosolos, que tem como característica alto grau de hidromorfismo. Quanto a fragilidade dos solos, em sua maioria possuem média susceptibilidade aos processos erosivos nas vertentes e alta susceptibilidade a inundações nas áreas referentes às planícies de inundação.

A análise das fragilidades do ambiente na SbHASI resultou em um mapa contendo as fragilidades emergentes e potenciais da bacia. Neste mapeamento o sistema de vertentes e interflúvios tem uma área de 264,91 km², apresentando as susceptibilidades à erosão e o sistema fluvial apresentou uma área de 29,36 km², que mostrando as susceptibilidades à inundação.

No setor de vertentes e interflúvios foram encontradas três classes hierárquicas de fragilidade: Fraca (34,26%), média (61,26%) e forte (4,51%). Os processos erosivos ocorrem até mesmo em unidades com médias e fracas fragilidades. Isto evidencia o papel antrópico na instabilidade das unidades ecodinâmicas.

No sistema fluvial foram encontradas cinco classes hierárquicas de fragilidade: muito fraca (21,52 %), fraca (4,43 %), média (35,56 %), forte (13,39 %) e muito forte (25,10 %). De maneira geral os fatores que tem maior peso na definição das classes de susceptibilidade a inundação são: amplitude do relevo; confluência de corpos hídricos e a ação antrópica. A ação antrópica se dá principalmente através do controle da vazão, seja na construção de barragens ou canais de irrigação.

Os resultados obtidos com a aplicação das metodologias no setor de vertentes e interflúvios e no sistema fluvial mostram que estas podem ser um importante instrumento de ordenamento territorial, pois possuem grande confiabilidade nas classes encontradas, condizendo com a realidade vista nos trabalhos de campo e nos dados levantados neste trabalho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. R.; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos Sistemas Ambientais: Métodos e Indicadores. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

ANABOR, V. Análise descritiva dos Sistemas Convectivos de Escala Meso- α Através de Imagens de Satélite GOES-8. Porto Alegre: UFRGS, 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R. ; LEITÃO FILHO; H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. P.187-207.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BERMÚDEZ, F. L. Geomorfología. In: BERMÚDEZ, F. L.; RECIO, J. M. R.; CUADRAT, J. M. **Geografía Física**. Madrid: Cátedra, 1992.

BORSATO, F.H; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p.273-285, 2004.

BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C. ; GUERRA, A. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 1.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.153-188.

CAILLEUX, A. e TRICART, J. *Le problème de la classification des faits géomorphologiques. Annales de Géographie*, Paris, v. 65, n. 349, p. 162-185, 1956.

CARGNIN, A. P. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=340>>. Acessado em 10/03/2012.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. Goiânia: 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 25 nov.2010.

CASSETI, Valter. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil, estudos de risco e medicina de desastres**. 2ª. Ed. Brasília: Ministério do planejamento e orçamento, 1998. 283p.

CHAUÍ, M.. Natureza, cultura, patrimônio ambiental. In: DUARTE, Ana Lúcia (coord.). **Meio ambiente: patrimônio cultural da USP**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo; Comissão de Patrimônio Cultural, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed., São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. P. 93-148.

COLLINS, T. **Disaster risk for floods:1980 – 2000**. United Nations University. Tokyo:2004. 6p.Disponível em: <<http://unu.edu/news/ehs/floods.doc>> Acessado em:15/12/2010.

COOKE, R. U. e DOORNKAMP J. C. Drainage basins and sediment transfer. In:_____.**Geomorphology in environmental management. A New introduction**. 2. ed..New York: Clarendon Press, 1990 cap. 7, 409 p.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. INPE, São José dos Campos, SP, 2001.

CUNHA, S. B. **Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João**. Rio de Janeiro: Editora Instituto de Geociências, UFRJ, 1995.378p.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A. e SANCHES, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 4, n.1, p.1-9, 2003.

DEMEK, J. *Generalization of geomorphological maps*. In: DEMEK, J. (ed.) **Progress made in geomorphological mapping**. Berna: IGU. Commission on Applied Geomorphology, v. 9, p. 36-72, 1967.

DÍAZ, A.; ACETUNO, P. Atmospheric Circulation Anomalies during Episodes of Enhanced and Reduced Convective Cloudiness over Uruguay. **Journal of Climate**, v. 16, p. 3171-3185, 2003.

DYLIK, J. **Notion du versant en geomorphologie**. Bull. Acad.Pol. Sci. Série des Sc.Geol.Geogr., 16(2); 125-132, 1968.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Circular técnica 53. **Estudo de solos do município de Cristal – RS**. 2005, 50p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Circular técnica 52. **Estudo de solos do município de São Lourenço do Sul – RS**. 2006, 47 p.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: Catie, 1996. 90p.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

Gerasimov, I.P. *Essai d'interprétation geomorphologique du schéma general de la structure geologique de l'URSS*. **Problèmes de Geographie Physique**, Moscou, Vol. 12, p. 36-46, 1946.

FRAGOSO CESAR, A.R.S. *et al.* **O Batólito de Pelotas (Proterozóico superior/Eopaleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul**. In. Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia Anais, SBG, v.3, 1986, p.1322-1343.

GERASIMOV, I.P. e MESCHERIKOV, J.A. *Morphostructure*. In: **The encyclopedia of geomorphology**. Ed. R.W. Fairbridge, 731-732, New York:Reinhold Book Co., 1968.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**.1. ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**.3. ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. P. 149-209.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. e BOTELHO, R.G.M. (orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos-Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand, 1999.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M.. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984, 194p.

HANSEN, M. A. F. (Org.). **Unidades de conservação ambiental, Delta do Camaquã e matas e banhados da Pacheca, RS – Estudo de caso**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2007.

HANSEN, M. A. F. **Proposta e indicadores de sustentabilidade visando à síntese do diagnóstico ambiental, social e econômico para Bacias Hidrográficas**. IPH- Programa de Pós-graduação em Engenharia e Recursos hídricos e Saneamento Ambiental/UFRGS. Tese de Doutorado, 2001.

HAYDEN, R. S. *Geomorphological Mapping* in: SHORT, N. M. & BLAIR Jr., R. W (eds) **Geomorphology from space**. Washington: NASA, 1986. P.637-656. Disponível em <<http://disc.gsfc.nasa.gov/geomorphology/>> acessado em novembro de 2010.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 e SI.22 Lagoa Mirim** . Levantamento dos recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. V. 33.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de uso da terra**. Manual nº 7, 2º Ed. Rio de Janeiro, 2006.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>> acessado em novembro de 2010.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.. **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

LEFF, E. **Aventuras da epistemologia ambiental – da articulação das ciências ao diálogo dos saberes**. Trad.: Glória Maria Vargas, Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

LIMA, L. M. M. de. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MARTH, J. D. **Diagnóstico Ambiental de Cristal/RS através do zoneamento baseado nas fragilidades do Meio Ambiente**. Pelotas: UFPel, 2010. 104 f. Monografia do curso de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Pelotas, 2010.

MARTINS, F.B. et al. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MENDONÇA, F. **Geografia Física: Ciência Humana**. 3ª ed. São Paulo: Contexto, 1992.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/ CENTRO DE ESTUDOS E GESTÃO ESTRATÉGICA – MCT/CGE. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Brasília, 2002. Disponível em <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em ago. 2010.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

MORISAWA, M. E. *Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian plateau. Geological society of America bulletin*, v.73, n. 9, p. 1025-1046, 1962.

MOROZ, I. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo: USP, 2010. 363 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, FFLCH-USP, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, E. L. de A. **Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS.** Porto Alegre: UFRGS, 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

OLIVEIRA, G. G. de. **Modelos para Previsão, espacialização e Análise das áreas inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS.** Porto Alegre: UFRGS, 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PHILIPP, R. P. **A evolução geológica e tectônica do Batólito de Pelotas no Rio Grande do Sul.** São Paulo. 255p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Petrografia, Tectônica e aspectos petrogenéticos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 257-266, Setembro. 2001.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual integrado de bacias hidrográficas.** Santa Maria: UFSM, 1991.

ROLKE, H. R. **Descobrimos Raízes: Aspectos geográficos, históricos e culturais da Pomerânia.** Vitória: Gráfica UFES, 1996.

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

ROSS, J. L. S. Análise empírica da Fragilidade de ambientes naturais antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, FFLCH – USP, nº8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, nº6, FFLCH – USP, 1992.

SALOMÃO, F.X.T. & IWASA, O.Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 3.2, p.31-57.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.

SANTOS, C. A. dos e SOBREIRA, F. G.. Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do córrego carioca, córrego do bação e ribeirão carioca na região do alto rio das velhas-mg. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.65-73, 2008.

SCAGLIONI, Taís Pegoraro ; SARAIVA, J. M. B. . CLIMATOLOGIA DOS SISTEMAS PRECIPITANTES PARA O PERÍODO DE FEVEREIRO A DEZEMBRO DE 2003, NO RIO GRANDE DO SUL. In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2004, Fortaleza. Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 2004.

SILVA, Ligia Osório. **Terras devolutas e latifúndio. Efeitos da lei de 1850**. Campinas, São Paulo: Ed. Da Unicamp, 1996.

SOARES, B.E.C., NAVARRO, M. A. e FERREIRA, A.P. Desenvolvimento Sustentado e Consciência Ambiental: Natureza, Sociedade e Racionalidade. **Rev. Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, V. 02, n.1, p. 42-49, julho. 2004.

SOUSA, Maria Cristina Salvadeo. **As propostas metodológicas para a Cartografia Ambiental: Uma revisão**. Universidade de São Paulo- FFLCH, São Paulo, 2009,

122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, C. R. de G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 45-61, 2005.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com aplicação de três modelos alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. São Paulo: USP, 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), FFLCH-USP, USP São Paulo, 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A., FUJIMOTO, N. S. V. M. Morfogênese do relevo do Estado do Rio Grande do Sul. *In*: VERDUM, R., BASSO, L. A., SUERTEGARAY, D. M. A. (Orgs.) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. 11-26p.

SUGUIO, K. ; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2º ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. **Quaternary geological evolution of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 68(3): 1996, 373-382.

TRICART, J. **Principes e méthodes de la Geomorphologie**. Paris: Masson e Cie. Editeurs, 1965.

TRICART, J. As discontinuidades nos fenômenos da erosão. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 6, n. 12, p. 3-14, 1966.

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

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002, 943p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/paleotocas/RioGrandedoSul.html>. acessado em 17/11/2011.

UNESP. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao>>. acessado em 21/12/2010.

VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAM, R. A. V. system of geomorphologic survey: ITC textbook of photo – interpretation. ***Use of Aerial Photographs in Geomorphology***. ed.3, by: Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede. v.7, 1975, 52p.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. In: **Geografia AGETEO**. Rio Claro, V.28, n.3, p. 323-344, Setembro. 2003.

VIERO, A. C. **Análise da Geologia, Geomorfologia e solos no processo de erosão por Voçorocas: Bacia do Taboão, RS**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ANEXO 1: série com eventos de Precipitações acumuladas de 1966 à 2011.

1º semestre	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Ano	mm / dias	mm / dias	mm / dias	mm / dias	mm / dias	mm / dias
1966	101,8/2					
1967	94,4/2					
1968			167/5/3			
1969		123,2/2				
1970		127,8/5/4			113,4/5/4	109,2/2
1971	75,6/2	97/8/5			85,8/2	98,1/6
1972						199,8/4
1973	145,8/5	125,2/5				
1974	127,4/8/7					
1975			85/3			
1976	137/6		100,3/6			
1977		105,8/2		120/4		192,4/4
1978						
1979			102/6	92,4/2		
1980			98,8/3 134/4			91,4/4
1981						
1982		81,4/2				79,8/4/3
1983						108,8/2
1984	92,2/2	157/4	141,2/5/4		131,2/4 162/3	115/4 99/3
1985			152/2	82/2		
1986	100/2			157,6/3	147,8/3	
1987			118/2		115/3	
1988				100/3		
1989	79,6/3					
1990		315,8/6	104,8/3 125,4/2			
1991				93,6/5	76,8/2	
1992	97,4/6	101,4/2		209,4/5	108/3	
1993	167,6/3					
1994		141/5				87,6/2
1995		142/4			112/2	76/2
1996						
1997		131/4			130/2	
1998		115,4/4	93,2/2		293,5/6	130,4/2
1999				143,8/3	114,1/3	
2000			76,1/2		96,3/3	78,9/2
2001	130/5			231,4/8		
2002				131,4/3	137,6/3	
2003		237,2/5				107,8/2
2004					121,5/4	
2005						
2006						

2007			182,7/3			205,9/8
2008		105,7/3			172,9/4	
2009						
2010	X	X	X	X		
2011		111,3/2	X	X	X	X
Total de eventos	12	16	14	11	16	15
Obs.: Constam neste anexo os dados de precipitação/período de dias do total de precipitação/período de dias em que houve precipitação. O X corresponde a meses com dados inconsistentes.						

2º semestre	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ano	mm / dias	mm / dias	mm / dias	mm / dias	mm / dias	mm / dias
1966	205/2	134/4	168/5			132/4
1967						
1968					113,3/6	82,6/4
1969	127,2/3				113,5/3	
1970	100,1/7/6					
1971	111,8/6/5					
1972	82,8/2			123,6/4/3		
1973	175,6/4 99/3	84/2				76,7/4
1974	169,9/5	94/3				
1975		168/8			111/2	
1976	128/4	213,4/5	138/3			
1977	132,4/2 93,4/4			116/2		
1978	109,6/3					
1979		85,6/2	110/2			
1980				157/3	96/4	95,6/2
1981	99,6/4		176/4			
1982	86,4/4	85/3		90/2		
1983	83,6/3				109,2/3	87/3
1984					83/3	
1985	98,4/2	157/4				93/4
1986		81,6/2	165/4	75/3	103,6/6	
1987	214/4					
1988			89,6/4 97,4/5		112/4	
1989	90/3				75,4/3	
1990					116/2	
1991	172/2			99/2	138,2/5/ 4	259, 8/3
1992	76,6/2					86,4/2
1993	193,4/4		95/3		145/6	98/2
1994		113/6		103/4		

1995	156,2/8 121,4/3		78/2			210,8/3
1996						
1997						78,6/2
1998		192,5/4				
1999						
2000						
2001			221,3/4			
2002		83,5/2				131,6/3
2003						
2004			85,5/3			
2005						
2006			122,9/2	89,5/2		
2007		X	X	X	X	
2008		125,5/5	81,2/3			
2009			x		126/3	X
2010	104,7/3/2	X	77,7/3			
2011	X	X	X	X	X	X
Total de eventos	25	14	14	9	14	11
Obs.: Constam neste anexo os dados de precipitação/período de dias do total de precipitação/período de dias em que houve precipitação. O X corresponde a meses com dados inconsistentes.						