

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA ‘Júlio de Mesquita Filho’
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

A DINÂMICA DE USO DA TERRA E SUA INTERFERÊNCIA NA
MORFOHIDROGRAFIA DA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - PELOTAS (RS).

ADRIANO LUÍS HECK SIMON

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de
Organização do Espaço, para a obtenção do título de
Mestre em Geografia.

Rio Claro (SP)
2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA ‘Júlio de Mesquita Filho’
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

A DINÂMICA DO USO DA TERRA E SUA INTERFERÊNCIA NA
MORFOHIDROGRAFIA DA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - PELOTAS (RS).

ADRIANO LUÍS HECK SIMON

Orientadora: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Co-orientadora: Profa. Dra. Rosa Elena Noal

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de
Organização do Espaço, para a obtenção do título de
Mestre em Geografia.

Rio Claro (SP)
2007

551.46 Simon, Adriano Luís Heck
S594d A dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS) / Adriano Luís Heck Simon. - Rio Claro: [s.n.], 2007
185 f. : il., gráfs., quadros, fots., mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha
Co-orientador: Rosa Elena Noal

1. Hidrografia. 2. Bacia hidrográfica. 3. Dinâmica do uso da terra. 4. Alterações morfohidrográficas. 5. Análise sistêmica. 6. Cartografia geomorfológica. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha – Orientadora – (IGCE/UNESP/Rio Claro)

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho (IGE/UNICAMP)

Profa. Dra. Regina Célia de Oliveira (IGE/UNICAMP)

Adriano Luís Heck Simon
(Aluno)

Rio Claro, 11 de Outubro de 2007.

Resultado: APROVADO

**Dedico este trabalho a duas pessoas muito especiais:
meu pai Mauri e minha mãe Marta;
Sem todos os seus ensinamentos, amizade, diálogo e compreensão, certamente
eu não seria ninguém. Amo muito vocês!**

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas foram importantes para mim durante a realização do curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UNESP de Rio Claro. Algumas delas me acompanham desde outras caminhadas, procurando estar sempre em contato para compartilhar dos meus momentos. Outras pessoas, que conheci durante estes anos de Rio Claro, foram fundamentais para que pudessem ocorrer ocasiões de troca, descontração, fortalecimento pessoal e principalmente aprendizado.

Desta forma eu agradeço a Deus, em primeiro lugar, por se fazer presente diante de questionamentos pessoais e profissionais em que a minha racionalidade não foi suficiente.

Ao meu pai Mauri, minha mãe Marta e minha irmã Patrícia, minha família, que sempre apoiou meu trabalho, compreendendo meus ideais e meu esforço, superando as saudades durante estes sete anos longe de casa, mantendo-se unida acima de tudo.

À Fernanda Ludwig, minha companheira, que me compreende e me faz ser uma pessoa feliz e serena. Agradeço por compartilhar todos os momentos, bons em sua quase totalidade.

A Profa. Dra. Rosa Elena Noal, por revelar a Geografia para mim, contribuindo para a base de meu conhecimento geográfico e por sempre estimular a continuidade dos meus estudos de forma amiga e profissional.

A Profa. Dra. Iandara Alves Mendes pelo voto de confiança depositado em mim ao aceitar as idéias iniciais do projeto de mestrado e propiciar minha entrada no Programa de Pós-Graduação em Geografia. Aproveito também para agradecer as importantes contribuições prestadas no exame de qualificação.

Manifesto minha gratidão especial a Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci Cunha, pelo seu profissionalismo, rigor, dedicação e confiança enquanto Orientadora, proporcionando, sem dúvida, um grande crescimento profissional e também pessoal.

À Profa. Dra. Lucia Helena de Oliveira Gerardi, pelas importantes considerações durante o exame de qualificação.

À Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita filho', especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Geografia de Rio Claro, pela oportunidade concedida. Aproveito para agradecer também aos funcionários e professores do programa, principalmente a Inajara e a Maíca.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento pela estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

À Prefeitura Municipal de Pelotas, a Agencia de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (Pelotas) e à Secretaria Estadual da Agricultura (Porto Alegre), pela disponibilidade dos materiais cartográficos e bibliográficos.

À equipe do Laboratório de Cartografia e Estudos Ambientais (LACEA) do curso de Geografia da Universidade Federal de Pelotas, pelo auxílio estrutural e pessoal prestado durante as atividades de campo em Pelotas.

À Lucimari Rossetti, por auxiliar em cada dúvida sobre o AutoCAD.

À Rosane Balsan, pela ajuda na minha chegada em Rio Claro e pela grande amizade.

À Bruna Arenare, pela amizade que ajudou a reduzir o tempo dos fins de semana e pelas discussões profissionais e pessoais que sempre acalmavam e davam ânimo para seguir.

Aos amigos, Gracieli Trentin, Leila Limberger, Flávia Madruga, Paulo Nobokuni, Jorge e Rita Jaqueline Chiapetti, Amanda Vasques, Amanda Gonçalves, Silvia Venturini, Márcia Zabotto, Cecília Hauresko, Eracilda Fontanella, Marcelo Werner, Valdir Herrmann, Marisa Ruckhaber e Rúbia C. Rambo por toda a ajuda, presença, companheirismo, incentivo, dicas e críticas, obrigado!.

Ao Leandro Aquino, à Glória Cubas, à Ana Maria Gonçalves e ao Rafael Ludwig pelo auxílio prestado durante a realização dos trabalhos de campo em Pelotas.

As funcionárias da biblioteca da Unesp de Rio Claro, em especial a Mônica, a Nilza e a Maria Aparecida.

A todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, meus agradecimentos.

Adriano Luís Heck Simon.

RESUMO

A evolução das atividades antrópicas, a partir do aperfeiçoamento das técnicas utilizadas na exploração dos recursos naturais, ocasionou a gradual alteração dos elementos do sistema ambiental mediante a imposição de mecanismos de controle que determinaram transformações na estrutura e nos fluxos de matéria e energia. Por meio desta perspectiva o presente estudo teve como objetivo identificar e analisar as alterações e as condições de controle que a dinâmica do uso da terra impôs ao sistema ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara ao longo de 53 anos (1953-2006), procurando enfatizar as transformações nas formas do relevo, na rede hidrográfica e na cobertura vegetal original. A área situa-se na porção sudoeste do município de Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul, inserindo-se no conjunto de bacias do sistema lacustre Patos-Mirim. Com base na Teoria Geral dos Sistemas aplicada à Geografia, que possibilitou a compreensão das relações existentes entre os sistemas ambiental e socioeconômico na estruturação das organizações espaciais, foram realizados mapeamentos da área em estudo, destacando o uso da terra e as feições geomorfológicas de forma multitemporal. A análise dos resultados obtidos constatou que a dinâmica do sistema socioeconômico impôs mecanismos de controle diretos e indiretos sobre o sistema ambiental, desencadeando alterações na hidrografia, a partir de intervenções na dinâmica fluvial; no relevo, diante das transformações impostas às feições geomorfológicas pela ação antropogênica e do conseqüente desequilíbrio dos processos erosivos; e na cobertura vegetal original, por meio de mudanças nos padrões de uso da terra que desencadearam a redução de zonas de terras úmidas cobertas por vegetação rasteira.

Palavras-chave: Dinâmica de Uso da Terra; Bacia Hidrográfica Santa Bárbara; Alterações Morfohidrográficas; Análise Sistêmica e Cartografia Geomorfológica.

THE LAND USE DYNAMICS AND ITS INTERFERENCE IN SANTA BÁRBARA STREAM WATERSHED MORPHOHYDROGRAPHY - PELOTAS (RS).

SUMMARY

The evolution of the human activities made possible the optimization of techniques used in the exploration of natural resources, causing the gradual alteration of the environmental system elements through the imposition of control mechanisms that had determined transformations in the structure and the flows of substance and energy. In this context, the present study had as objective to identify and to analyze the alterations and the control conditions that the land use dynamics imposed to the environmental system of the Santa Bárbara Stream watershed during 53 years (1953-2006), trying to emphasize the transformations in landforms, hydrographic net and in the original covering. The area lies in the southwestern part of Pelotas Municipal District, State of Rio Grande do Sul, composing the set basins of Patos-Mirim lacustrine system. According to the General Systems Theory applied to Geography, which provided the understanding of relationships between the environmental and socioeconomics systems in the spatial organizations structuring, mappings of the study area had been accomplished, detaching the land's use and the geomorphological features of multitemporal form. The gotten results analysis evidenced that the dynamics of the socioeconomics system imposed direct and indirect control mechanisms on the environmental system, unchaining alterations on hydrography, through interventions on the fluvial dynamics; on landforms, with the transformations imposed to the geomorphological features by the anthropogenic action and the consequent erosive processes disequilibrium; and the original vegetal covering, through changes in the standards of land use that had unchained the reduction of humid land zones covered by creeping vegetation.

Keywords: Land Use Dynamics; Santa Bárbara Watershed; Morphohydrographyc Alterations; System Approach and Geomorphological Cartography.

LISTA DE FIGURAS.

	Páginas
Figura 1: Características geomorfológicas e da cobertura vegetal original do Estado do Rio Grande do Sul.....	37
Figura 2: Localização do Município de Pelotas no Estado do Rio Grande do Sul	43
Figura 3: Localização da Bacia do Arroio Santa Bárbara no Município de Pelotas.....	47
Figura 4: Bacia Hidrografia do Arroio Santa Bárbara.....	48
Figura 5: Unidades Geomorfológicas e de Solos na Bacia do Arroio Santa Bárbara.....	57
Figura 6: Interconexão dos grandes conjuntos do Sistema Ambiental.....	69
Figura 7: Reação do Sistema Ambiental perante um esforço ou tensão que lhe é imposto.....	70
Figura 8: Origem e seleção da simbologia utilizada no mapeamento geomorfológico da bacia do Arroio Santa Bárbara: a) Simbologia proposta por Tricart (1965); b) Simbologia proposta Verstappen; Zuidan (1975).....	88
Figura 9: Adaptação das simbologias de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975) aplicadas ao mapeamento geomorfológico na bacia do Arroio Santa Bárbara.....	89
Figura 10: Mapa do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1953.....	99
Figura 11: Mapa Geomorfológico da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1953.....	100
Figura 12: Mapa do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1965.....	101
Figura 13: Mapa Geomorfológico da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1965.....	102
Figura 14: Mapa do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1995.....	103
Figura 15: Mapa Geomorfológico da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1995.....	104

Figura 16: Representação Cartográfica do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.....	105
Figura 17: Setores de análise dos dados na bacia do Arroio Santa Bárbara.....	106
Figura 18: Representação Cartográfica das Principais Alterações Morfohidrográficas no Setor de Várzea da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.....	124
Figura 19: Evolução espacial do uso da terra urbano e das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS (1953-2006).....	125
Figura 20: Representação Cartográfica das Principais Alterações Morfohidrográficas no Setor dos Patamares de Expansão Urbana Leste e Oeste da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.....	137
Figura 21: Evolução espacial das áreas de pastagem e das terras de culturas na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS (1953-2006).....	141
Figura 22: Características das alterações morfohidrográficas desencadeadas pelas lavouras de arroz na bacia Santa Bárbara, Pelotas – RS.....	143
Figura 23: Representação Cartográfica das Principais Alterações Morfohidrográficas no Setor de Transição de Litologias da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.....	146
Figura 24: Evolução espacial das áreas de mata nativa, minas a céu aberto e lagos e reservatórios na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS (2006).....	148
Figura 25: Representação Cartográfica das Principais Alterações Morfohidrográficas no Setor de Nascentes da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.....	160

LISTA DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 1: a) Médias anuais de Temperatura e Precipitação no Município de Pelotas/RS, 1971 – 2000; b) Média Anuais de Umidade no Município de Pelotas/RS, 1971 – 2000.....	52
Gráfico 2: a) Médias Mensais de Precipitação e Temperatura no Município de Pelotas/RS, 1971 – 2000; b) Médias Mensais de Umidade no Município de Pelotas/RS, 1971 – 2000.....	53
Gráfico 3: Evolução espacial das classes de uso da terra na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas (RS).....	108

LISTA DE QUADROS

	Páginas
Quadro 1: Caracterização esquemática dos aspectos geográficos do território gaúcho.....	38
Quadro 2: Organização da Paisagem Natural na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara.....	55
Quadro 3: Critérios de classificação e tipologia dos sistemas.....	64
Quadro 4: Níveis de detalhamento dos dados de sensores remotos.....	81
Quadro 5: Sistema de uso da terra e revestimento do solo para utilização com dados de sensoriamento remoto.....	82
Quadro 6: Sistema de Classificação do Uso da Terra e Revestimento do Solo para a Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS.....	84

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	112
2 DINÂMICA DE USO DA TERRA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: Algumas Questões Teóricas.....	20
3 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA	35
3.1 O contexto regional	35
3.2 A bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara	46
4 MÉTODO E TÉCNICAS	60
4.1 Método.....	60
4.1.1 A Abordagem Sistêmica na Geografia	60
4.1.2 O Sistema Ambiental: conceitos, características e dinâmica evolutiva.....	67
4.2 Técnicas	77
4.2.1 Revisão bibliográfica e seleção do material cartográfico.....	77
4.2.2 Técnicas cartográficas	79
4.2.2.1 Elaboração do mapa base	79
4.2.2.2 Elaboração dos mapas de uso da terra dos anos de 1953, 1965 1995 e da representação cartográfica do uso da terra do ano de 2006.....	79
4.2.2.3 Elaboração dos mapas geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 e organização do esboço cartográfico correspondente às características geomorfológicas do ano de 2006.....	87
4.2.2.4 Trabalhos de campo e pesquisa documental.....	95
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	97
5.1 O Setor de várzea e as alterações morfohidrográficas vinculadas às obras de engenharia.....	109
5.1.1 Fase inicial das transformações: 1953 e 1965	114
5.1.2 Intervenções em maior escala no cenário de 1995 e nas representações cartográficas de 2006.....	119
5.2 Evolução da estrutura urbana nos patamares leste e oeste	128
5.3 A evolução das atividades agrícolas no setor de transição de litologias e as transformações na dinâmica fluvial e na morfologia original	140
5.4 Setor de Nascentes: transformações derivadas das atividades agropastoris e de mineração.....	153
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	167
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174

1 INTRODUÇÃO

A evolução da espécie humana, desde o período das comunidades nômades até o advento das sociedades modernas, demonstra o paulatino esforço do homem em garantir seu bem estar social, econômico e estrutural a partir da adequação e controle dos elementos do sistema ambiental. A necessidade de alimentos, moradia, comunicação, bem como a realização de trocas comerciais para a conseqüente obtenção de lucros, entre outros, fizeram com que as técnicas utilizadas pelos grupos sociais na consolidação dessas ações e relações fossem aperfeiçoadas, tornando-se complexas e dinâmicas, possibilitando um (re)conhecimento mais aprofundado das potencialidades do sistema ambiental que foi submetido a intervenções intensas e de diferentes magnitudes ao longo da história.

Cassetti (1991) explica que o meio natural é o substrato no qual atuam as atividades humanas, que por sua vez consolidam a organização espacial, obedecendo a padrões culturais e econômicos. Assim, quanto maior for o avanço técnico-científico de uma sociedade, maiores serão as imposições ao meio natural e as transformações decorrentes. O aperfeiçoamento e a especialização das atividades rurais e urbano-industriais, praticadas pelos grupos sociais, resultaram em organizações espaciais complexas, derivando em múltiplos usos da terra. A alteração dos elementos do sistema ambiental ocorreu de forma inerente a esse processo, para que a natureza possa suprir as necessidades do sistema socioeconômico, a partir de matérias primas que mantêm a estrutura e funcionamento daquele.

Nos últimos séculos, sobretudo após o avanço tecnológico promovido pela Revolução Industrial em meados do século XVIII, os procedimentos utilizados pelo sistema socioeconômico na apropriação dos elementos naturais vêm extrapolando a

capacidade de resiliência do sistema ambiental e desencadeando uma série de impactos ambientais de diversas proporções espaciais e graus de intensidade. Essa característica de apropriação muitas vezes não planejada, assumida pelas sociedades modernas, vincula-se não apenas às intervenções diretas e não-comedidas sobre elementos naturais, mas relaciona-se também às intervenções indiretas, caracterizadas pelas estruturas criadas para que esse processo pudesse se tornar dinâmico, como no caso dos distintos usos da terra.

Dentro desse contexto destacam-se: o adensamento e o inchaço urbano, o aprimoramento dos meios de transporte e o incremento de vias de circulação terrestres aéreas e marítimas, bem como o dinamismo das relações comerciais, econômicas e sobretudo sociais, que conduziram o sistema socioeconômico a patamares de consumo que exigem ciclos de produção cada vez mais dinâmicos e, conseqüentemente, maior demanda de matérias-primas. No meio rural, as atividades agropastoris também acompanharam esse conjunto de transformações, a partir da modernização das técnicas utilizadas no preparo e uso do solo, na implantação das lavouras, no melhoramento dos gêneros agrícolas e no controle fitossanitário das lavouras.

De forma geral, a introdução de mecanismos de controle antrópico sobre os fluxos de matéria e energia nos sistemas ambientais proporcionou o aumento na exploração e na produção de bens de consumo, conduzindo ao bem-estar de alguns grupos sociais. Assim, é preciso compreender que as mudanças tecnológicas não beneficiaram a todos, deflagrando o surgimento de classes menos favorecidas que vivem à margem desse progresso. Essa situação de degradação também se estendeu sobre o equilíbrio dinâmico do sistema ambiental, uma vez que as alterações e as intervenções antrópicas demonstraram-se cada vez mais intensas, visando à manutenção desse metabolismo social e provocando assim uma série de impactos ambientais.

De modo geral, o ponto de partida das transformações derivadas do controle antrópico exercido sobre o sistema ambiental decorre da remoção e substituição da cobertura vegetal original para a implantação das atividades humanas – em especial aquelas vinculadas a agricultura e pecuária – relacionando-se também com a evolução de estruturas urbanas que promoveram a impermeabilização das superfícies e o grande acúmulo de resíduos derivados das atividades realizadas nessas aglomerações populacionais.

Como efeito desses processos, os elementos do sistema ambiental procuraram adequar seus atributos às novas condições impostas, reajustando-se às características que

regulam a entrada e a saída de matéria e energia. Muitas vezes, as alterações tornam-se tão profundas que a capacidade de resistência e resiliência dos atributos dos elementos pode ser comprometida, ocasionando impactos ambientais que levam a estruturação de um novo equilíbrio dinâmico no sistema, condicionado, sobretudo, pelos mecanismos de controle exercidos pelas atividades antrópicas.

Nesse contexto, as formas do relevo também se manifestam como elementos do sistema ambiental, onde incidem as interferências diretas do processo de ocupação e apropriação dos recursos naturais, pois caracterizam a base de ocorrência de tais ações, compartimentando-se em zonas de acesso onde as alterações são mais brandas, porém não deixando de ser impactantes, além de superfícies que oferecem resistência às atividades antrópicas, nas quais as transformações são intensas e repercutem em maiores implicações na morfodinâmica. Christofolletti (1999, p. 416) afirma que

as feições topográficas e os processos morfogenéticos atuantes em uma determinada área possuem papel relevante para as categorias de uso do solo, tanto nas atividades agrícolas como nas urbano-industriais. Acrescenta-se também a importância que assumem para as obras viárias, para a exploração dos recursos naturais, para o lazer e para o turismo.

Assim, a interferência antrópica sobre as formas de relevo manifesta-se principalmente pela alteração na morfodinâmica, por meio do desequilíbrio dos processos que atuam na morfogênese. Os distintos usos da terra atuam diretamente nesse sentido, pois conduzem a apropriações por vezes adequadas e, em outras situações, inadequadas, diante das características do relevo em suportar alterações na cobertura vegetal original e exposições mais severas aos eventos climáticos responsáveis pelo intemperismo.

Ainda inserido no grupo dos principais elementos do sistema ambiental que sofrem significativa interferência a partir da intervenção antrópica, encontra-se o ciclo hidrológico em sua fase terrestre. A utilização dos recursos hídricos em prol da manutenção dos distintos usos da terra rurais e urbano-industriais tem ocasionado interferências nos sistemas hidrográficos, mediante as alterações na rede de drenagem que modificam, barram ou extinguem cursos de água, acarretando implicações nos processos erosivos e na dinâmica fluvial.

De acordo com Park (1977), as transformações oriundas de modificações na rede de drenagem ocorrem de forma direta e indireta sobre a dinâmica fluvial. As ações diretas caracterizam-se como aquelas que ocorrem nos canais fluviais, com a efetivação de obras

de engenharia que têm por objetivo aliviar os efeitos de fluxo, erosão ou deposição, ocasionando mudanças na estrutura e nos processos fluviais.

Park (1977) ressalta ainda que o segundo grupo de mudanças, inserido nas ações indiretas, refere-se às alterações que ocorrem no uso da terra, como remoção da cobertura vegetal, reflorestamento, mudanças nas práticas agrícolas, construção de edificações/impermeabilização do solo e mineração. Essas transformações deflagram disfunções na dinâmica fluvial, por meio de deturpações na drenagem e na direção do escoamento superficial e subsuperficial, acelerando, retardando ou barrando os processos erosivos.

Verifica-se assim que a apropriação e a alteração dos elementos do sistema ambiental, entre eles de forma mais expressiva a cobertura vegetal original, o relevo e a hidrografia, possuem aspectos favoráveis geralmente ao sistema socioeconômico – embora de forma parcial – como a ampliação de áreas agropastoris, aglomerações urbanas e parques industriais, tendo a conseqüente geração de lucros e circulação de bens de consumo. Porém, derivações decorrentes de usos intensivos e desorientados, além de apropriações que vão além da capacidade de regeneração espontânea dos recursos naturais, têm causado inúmeros desequilíbrios aos ciclos, processos e às características dos sistemas ambientais a partir da transformação dos elementos citados.

A Geografia possui um papel de suma importância ao desvendar o que acontece nesse contexto, justamente por se preocupar com o estudo das relações do sistema ambiental com o sistema socioeconômico, as quais levam à produção das organizações espaciais (CHRISTOFOLETTI, 1999). De acordo com Mendonça (1998, p. 27), “a Geografia, ao lado de algumas outras ciências, desde a sua origem, tem tratado de perto a temática ambiental, elegendo-a de maneira geral, como uma de suas principais preocupações”. Ainda nesse sentido, temos a colaboração de Ross (1995) que expõe o “interesse da Geografia em apreender como cada sociedade humana estrutura e organiza o espaço físico-territorial em face das imposições do meio natural, de um lado, e da capacidade técnica, do poder econômico e dos valores sócio culturais de outro”.

As transformações na organização espacial traduzem um processo paulatino de ocupação, controle e uso dos recursos do sistema ambiental pelo homem. Sua compreensão é possível por meio de identificação e análise da dinâmica do uso da terra, que demonstram os aspectos sociais e econômicos envolvidos na substituição do revestimento original da superfície.

Lambim et al. (2001) entendem que a dinâmica no uso da terra e as conseqüentes transformações na cobertura original são os agentes primários das mudanças na morfodinâmica e na morfogênese, dos processos de degradação dos solos, da alteração da dinâmica fluvial e da descaracterização de muitos ecossistemas. Dessa forma, torna-se importante compreender que as informações adquiridas por meio da análise da evolução e dinâmica do uso da terra possuem elementos-chave para a identificação da gênese das intervenções no sistema ambiental que desencadearam a ocorrência de algumas situações impactantes.

Assim, dentro da perspectiva das alterações nos elementos do sistema ambiental desencadeadas pela dinâmica de uso da terra, a presente pesquisa, de cunho geográfico, teve como objetivo principal identificar e analisar as alterações e as condições de controle que a dinâmica do uso da terra impôs aos elementos do sistema ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, localizada no município de Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul. A análise enfatizou, em especial, *a hidrografia*, a partir das alterações impostas à bacia de drenagem; *o relevo*, com ênfase nos processos erosivos ocasionados pelas práticas agropastoris, obras de engenharia e evolução do aglomerado urbano; e *a vegetação*, em particular a substituição da cobertura vegetal original pelas atividades agropastoris e urbano-industriais.

Para que o objetivo principal da pesquisa pudesse ser atingido, foram propostos ainda alguns objetivos específicos:

- * Descrever e analisar o processo de ocupação da área em estudo, mediante revisão de literatura e análise documental;

- * Obter dados sobre a dinâmica de uso da terra ocorrida na bacia do Arroio Santa Bárbara por meio do mapeamento georreferenciado dessa nos anos de 1953, 1965, 1980, 1995 e 2006.

- * Identificar as principais formas do relevo local, com ênfase aos condicionantes dos processos erosivos, por meio do mapeamento geomorfológico dos anos de 1953, 1965, 1995 e pela representação cartográfica atual das áreas onde foram identificadas as alterações morfohidrográficas mais significativas.

- * Analisar comparativamente os mapeamentos realizados nos diferentes cenários a fim de identificar a dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfohidrografia.

Tais objetivos foram traçados levando-se em consideração a hipótese inicial da pesquisa, de que a dinâmica de uso da terra ocorrida na bacia do Arroio Santa Bárbara, ao

longo dos 53 anos, poderia ter desencadeado alterações nos elementos do sistema ambiental a partir da imposição de mecanismos de controle diretos e indiretos. Tais mecanismos possivelmente efetivaram alterações na cobertura vegetal, transformações na morfologia e a implantação de feições geomorfológicas de origem antrópica, além de modificações na dinâmica fluvial, a partir de intervenções na morfologia dos canais. Todas essas intervenções, ao longo do período analisado, podem ter contribuído de forma expressiva na perturbação dos fluxos de matéria e energia pelo sistema, acelerando ou retardando os processos erosivos e de sedimentação, bem como influenciando uma série de transformações espaciais na rede de drenagem que tiveram efeitos sobre a dinâmica fluvial.

A área de estudo escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa é uma das principais bacias de drenagem do extremo sul Gaúcho, integrante da Macrobacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. Apresenta em sua configuração espacial um mosaico ambiental já alterado pelo intenso processo de apropriação do sistema ambiental, que pouco está sendo trabalhado sob a ótica do planejamento e gestão ambiental, salvo estudos de uso da terra, limnológicos e de morfologia de fundo efetuados no Reservatório Santa Bárbara (CANEZ, 2003; De LEON, 1983; KORB, 2006 respectivamente), além de pesquisas vinculadas aos impactos ambientais ao longo do Arroio Santa Bárbara em área urbana (VIGNOLO, 2003; SIMON et al 2003 e SIMON, 2005).

Estudos realizados por Simon et al (2003) apontam para as alterações impostas ao Arroio Santa Bárbara em seu curso inferior, na área que compreende a zona urbana de Pelotas, confirmando o elevado índice de degradação ambiental e a necessidade de planos de contenção do avanço das moradias nas margens do mesmo. Na zona rural, as atividades agrícolas delinearum um novo perfil ao espaço geográfico, avançando sobre áreas de relevo acentuado e de proteção ambiental, como no caso das matas de galeria.

A opção pela bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara também ocorre pela sua funcionalidade enquanto objeto de pesquisa. Assim, podemos classificar o sistema em estudo como uma *Bacia Estratégica*, que de acordo com as definições de Borges; Bordas (citados BOTELHO; SILVA, 2004, p. 160):

é selecionada a partir de condições específicas, não encontradas no restante da região ou porção do território considerado, ou ainda, mais freqüentemente, selecionada em função da existência de problemas críticos que requerem compreensão e/ou ações urgentes, tornando-a prioritária.

Dentro dessa concepção, podemos afirmar que a importância da Bacia, enquanto *Área de Estudos Estratégicos*, advém principalmente do fato de que sua rede hidrográfica é responsável pela drenagem que abastece o Reservatório Santa Bárbara, o qual possui aproximadamente 2,72 km² e foi inaugurado na década de 1960, visando a captação e tratamento de água para o atendimento a uma demanda populacional e a um parque industrial crescente, além da contenção de enchentes que assolavam frequentemente as áreas mais baixas da cidade de Pelotas.

O problema central, entretanto, não se restringe apenas a oferta e demanda de água para a população pelotense, mas volta-se principalmente a questão da apropriação do sistema ambiental, sobretudo nas vertentes da bacia que abastecem o reservatório e nas margens do mesmo. Nas últimas décadas, as atividades agrícolas e urbano-industriais pelotenses condicionaram um incremento gradativo de energia no sistema, por meio da mecanização da agricultura e da expansão de bairros, vilas e favelas, ocasionando um processo de degradação de ecossistemas locais como nos banhados e nas áreas de mata atlântica da região lagunar interna gaúcha (SIMON, 2005).

Considerando essas circunstâncias e visando contribuir para futuras ações de planejamento ambiental da área, estima-se necessária uma análise integrada da bacia hidrográfica por meio do mapeamento do uso da terra que forneça subsídios para a compreensão da dinâmica de uso ocorrida na área, bem como sua relação com as alterações temporais na cobertura vegetal original, nas feições do relevo e na dinâmica fluvial local. Entende-se assim que uma análise integrada pode auxiliar na identificação de elementos-chave importantes para a compreensão da gênese dos principais impactos e fenômenos de degradação que ocorrem sobre os elementos do sistema ambiental na bacia.

Para a apresentação dessa análise, a dissertação foi estruturada em seis capítulos: o **1º Capítulo** realiza uma introdução à temática proposta, enquanto o **2º Capítulo** propõe algumas questões teóricas que envolvem os conceitos de uso da terra, uso do solo, bacias hidrográficas e planejamento ambiental, tomando como referência as definições propostas por pesquisadores vinculados à Geografia, Geologia, Ecologia, Biologia e Economia.

No **3º Capítulo** é realizada uma caracterização geral da bacia do Arroio Santa Bárbara, que ocorre em duas perspectivas. A primeira procura situar a área em estudo dentro de um contexto regional, na qual é descrito o processo de ocupação do espaço gaúcho e pelotense. A segunda atenta para as particularidades da bacia Santa Bárbara, destacando as características do sistema ambiental e socioeconômico.

A orientação metodológica adotada para a realização da presente pesquisa é discutida no **4º Capítulo**, em que são analisados os diferentes pontos de vista e conceitos que abrangem a Teoria Geral dos Sistemas. Ainda nesse capítulo é apresentado o conjunto de técnicas aplicadas para a realização dos mapeamentos de uso da terra e geomorfológicos, que concederam dados e respaldo às discussões sobre as alterações morfohidrográficas na bacia Santa Bárbara.

O **5º Capítulo** apresenta a análise dos resultados obtidos a partir da aplicação das técnicas, procurando estabelecer a relação entre a dinâmica de uso da terra e as alterações morfohidrográficas verificadas, a partir de uma concepção sistêmica. Por fim, o **6º Capítulo** engloba as considerações finais acerca da temática abordada e do arcabouço teórico-metodológico utilizado, procurando estabelecer breves relações e conclusões com a análise dos resultados realizada.

2 DINÂMICA DE USO DA TERRA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: Algumas Questões Teóricas

A pesquisa bibliográfica ocorre durante a realização de uma investigação científica para que inúmeros termos sejam elucidados e conceituados. Dessa forma, o esclarecimento e a interpretação de conceitos e vocábulos utilizados por diversos autores nos distintos campos do conhecimento científico tornam-se relevantes, haja vista que, por vezes, vários são os termos utilizados para mencionar o mesmo fenômeno.

Nesse capítulo serão abordados termos que se relacionam à dinâmica do uso da terra, considerando as bacias hidrográficas como unidades geográficas de análise das alterações no sistema ambiental e de implementação de ações de planejamento ambiental. Assim sendo, serão conceituados e explicados termos como: Uso, Utilização, Ocupação, Apropriação, Terra, Solo, Cobertura, Revestimento, Dinâmica e Evolução, além das referidas locuções derivadas dessas palavras. O texto apresenta ainda outros termos que serão interpretados, como Planejamento Ambiental, Bacias Hidrográficas, Bacias de Drenagem e Microbacias Hidrográficas.

O processo toma como referência as definições dadas a essas expressões por autores pertencentes a determinadas áreas do conhecimento – Geografia, Geologia, Ecologia, Biologia, Economia. Abarca também o sentido denotativo das mesmas, procurando estabelecer uma acepção geográfica a palavras e termos que são utilizados no decorrer da investigação

As expressões *Uso* e *Utilização* designam o mesmo ato: empregar, aproveitar, consumir (BORBA, 2004, p. 1408/1409). Silva *et al.* (1999, p. 233) apontam para o sentido do termo *Utilização Sustentável* como sendo “a utilização dos componentes da diversidade biológica, mantendo assim seu potencial para atender as necessidades e aspirações das gerações futuras”.

Já a palavra *Ocupação* qualifica o ato de preencher determinado espaço, aproximando-se do conceito anterior por poder ser interpretada como o fato de “utilizar-se ou servir-se de algo” (Borba 2004, p. 984). Para a Geografia, esse “algo” pode ser compreendido como o espaço e seus recursos naturais, nos quais interagem as organizações espaciais. De acordo com Christofolletti (1999),

O conceito de recursos naturais é sensível ao contexto no qual é utilizado. Os componentes existentes na superfície terrestre não surgem como recursos naturais apenas porque se encontram no sistema da natureza. Passam a essa categoria quando ganham relevância em função da intervenção humana, pelo conhecimento de sua existência, pelo conhecimento de como pode ser tecnicamente utilizado e pela sua integração a determinada necessidade da sociedade. Em conseqüência, o mesmo recurso natural não é perene em sua importância ao longo dos tempos nem possui a mesma relevância em todas as regiões. (p. 158).

Dessa forma, a ocupação ocorre para o uso, ou seja, a utilização de algum bem material é somente efetivada a partir do momento em que a ocupação é processada. Isso se aplica tanto nas sociedades nômades – nas quais a ocupação ocorre por um período determinado – quanto nas sociedades sedentárias, que organizam estruturas voltadas para a manutenção de sua ocupação e o aprimoramento no uso dos recursos naturais.

As sociedades sedentárias modernas, porém, parecem superar o sentido proposto pela palavra *Apropriação*, que designa a “utilização como se fosse próprio” (BORBA, 2004, p. 99). A apropriação ocorre simultaneamente à ocupação, desencadeando diferentes usos do espaço e podendo ocorrer de forma agressiva ou não ao sistema ambiental e também ao sistema socioeconômico.

Diferentes estudos, identificados abaixo, tratam das formas de ocupação e apropriação do espaço. Entretanto, parece não existir um consenso a respeito de uma correta expressão, ou então da distinção entre uso da terra e uso do solo, que sejam empregadas por pesquisadores. Diante de tal situação, o presente trabalho considera relevante colaborar com as discussões a respeito.

Fato é que a palavra *Solo* possui seu significado voltado para a pedologia, caracterizando-se como a “camada superficial da terra arável, possuidora de vida microbiana” (GUERRA & GUERRA, 1999, P. 583); é também concebida como a “parte superior do regolito que sustenta a vida [...] modificado por processos físicos, químicos e biológicos” (ART, 1998, p. 492); ou então como a “terra considerada nas suas qualidades produtivas” (BORBA, 2004, p. 1302); e, por fim, como “uma superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantém, em partes, a vida animal e vegetal na terra” (SILVA et al., 1999, p. 217).

Os termos *Terra/terra*, por sua vez, em várias definições são considerados por sua condição planetária, como astro integrante do Sistema Solar (BORBA, 2004; SUERTEGARAY, 2003; SILVA et al. 1999; ART, 1998). Parker et al. (2003, p. 314) apontam para uma definição mais simples, dizendo que “o sentido geográfico para a palavra terra, seria o de um espaço dinâmico onde os sistemas social e ambiental encontram-se em interação”. Porém Silva et al. (1999) ultrapassam essa concepção ao definirem de forma abrangente e sistêmica o significado da palavra. Para os autores a Terra (planeta) ou terra:

É um meio ambiente total (natural e cultural), dentro do qual a produção tem lugar. Designa-se como um termo mais amplo que solo. Seus atributos incluem condições adicionais às dos solos, como depósitos minerais, clima e suprimento de água. Trata-se do sistema bio-produtivo terrestre que compreende o solo, a vegetação, outros componentes da biota e os processos ecológicos e hidrológicos, que se desenvolvem dentro do sistema. (p. 225).

Dessa forma, torna-se possível identificar certas diferenças no sentido das palavras *solo* e *terra*, bem como compreender seu emprego em situações e pontos de vista distintos. Pesquisas que abarcam o termo *Uso do Solo* são geralmente desenvolvidas nas Ciências Agrárias (CAMPOS, 1993; FILADELFO JÚNIOR, 1999), indicando classes e diferenciações no uso agrícola do solo, estimativas de produção, potencialidades, capacidades do uso e relações entre solo-planta-água, além dos impactos provocados por usos incorretos.

O termo também está presente em pesquisas vinculadas a Geociências e nos estudos das Ciências Humanas, podendo ser identificado em investigações geográficas (FORESTI & HAMBURGER, 1991). Em alguns casos, trabalhos que utilizam o termo *uso do solo* podem apresentar uma abordagem que se aproxima ou confunde-se com termo *uso da terra* (TAGLIANI & VICENS, 2003).

O *Uso da Terra*, por sua vez, abrange a estrutura das organizações espaciais, em face da complexa dinâmica dos sistemas ambiental e socioeconômico, possuindo um maior campo de interpretação para a Ciência Geográfica (OLIVEIRA, 2000; DAINESE, 2001; SIMON, 2005; RODRIGUES; LUCHIARI, 2005). Lambim et al. (2001, p. 262) são esclarecedores ao explicarem que “o uso da terra constitui-se nas propostas ou nas intenções humanas aplicadas aos atributos biofísicos da superfície da terra”.

Marques (1971) e Lepsch (1983), citados por Oliveira (2000) esclarecem que o conceito *solo* é mais restrito, sendo considerado como um conjunto de corpos tridimensionais na superfície terrestre contendo matéria viva com capacidade de suportar plantas. Já a palavra *terra* é mais abrangente, pois inclui em seu significado o solo e os vários atributos de uma área, como o substrato geológico, a hidrologia e os resultados da atividade antrópica.

Segundo Ross (1995), o *Uso da Terra* pode significar um retrato estático das manifestações dinâmicas desencadeadas pelas relações socioeconômicas de um território com as características ambientais. Apesar do caráter estático, a interpretação desse retrato – em um único período ou em séries cronológicas – revela inúmeros eventos que reproduzem a evolução histórico-temporal do fragmento espacial em estudo, possibilitando também uma visão futura e a estruturação de estudos geográficos que visam analisar a gênese de alterações ambientais derivadas de usos não planejados da terra.

Anderson (1979, p. 20) aponta para a considerável diversidade de opiniões quanto ao que vem a ser o *uso da terra*. Para esse autor, um dos conceitos que possuem maior mérito é o de que esse vocábulo refere-se à atividade do homem na terra, a qual se acha diretamente relacionada com a terra enquanto integradora dos elementos que compõem a paisagem.

O esclarecimento dos conceitos não pretende julgar a validade de pesquisas em andamento ou finalizadas que adotam uma ou outra expressão. Pelo contrário, espera-se colaborar para que dúvidas na escolha da abordagem possam ser amenizadas e também para que a Geografia possa direcionar seu objeto de estudo para análises que confluem na integralidade dos aspectos naturais, sociais e econômicos durante a efetivação de pesquisas sobre ocupação, apropriação dos sistemas ambientais e utilização dos recursos naturais.

Dessa forma, a presente investigação científica adota o conceito de *Uso da Terra* para identificar as transformações ocorridas em um determinado espaço, em um dado período de tempo. A opção ocorre porque, diante da explicitação dos conceitos e perante o

direcionamento da pesquisa, acredita-se que o termo encontra-se ligado aos objetivos da ciência geográfica, que se preocupa em estudar os fenômenos pertinentes à relação do sistema socioeconômico com o sistema ambiental.

Demais conceitos que também se sobressaem na análise das literaturas são: *Cobertura* e *Revestimento*, da terra ou do solo. A *Cobertura* é sinônimo de *Revestimento*, sendo compreendidos os dois vocábulos como “alguma parte ou material que reveste ou cobre determinada superfície” (BORBA, 2004, p. 1222); “atributos biofísicos da superfície da terra” (LAMBIN, et al., 2001, p. 262); ou ainda como “parte da superfície que encontra-se protegida pelas copas das árvores” (ART, 1998, p. 107). Seu sentido, portanto, invoca a proteção de determinada superfície, que em termos de solo/terra indica-se a existência de uma camada pioneira, representada pela vegetação original, que abriga o terreno da ação natural e das ações antrópicas que ainda não ocorreram.

Para Boada; Toledo (2003, p. 48) a cobertura do solo/terra refere-se às “características originais de parte da superfície terrestre que incluem a biota, o solo, a topografia e as águas. A mesma pode estar classificada segundo numerosos critérios, dependendo das propostas científicas para as quais é desenvolvida a classificação”. Exemplos de algumas categorias de cobertura do solo/terra podem ser: florestas tropicais, cerrado, pradarias temperadas, banhados, entre outras.

Os autores citados consideram que a intensidade da ocupação do espaço e do uso dos recursos naturais pode ocasionar alterações nessa cobertura primária. Dessa forma, usos da terra comuns como agricultura, pastagens, silvicultura, mineração e atividades urbano-industriais podem efetivar *Transformações* ou *Modificações* na cobertura original.

Assim, os autores classificam o revestimento da terra *transformado* como aquele onde ocorre a substituição completa de uma paisagem por outra, como por exemplo, uma floresta tropical por uma área de pastagem, ou então, áreas alagadas (como os banhados) pelo aglomerado urbano. Essas conversões normalmente têm grandes impactos nos ciclos biogeoquímicos e nos balanços energéticos.

O revestimento da terra *modificado*, em contraste com o anterior, refere-se às mudanças paulatinas que afetam o caráter da cobertura do solo/terra sem mudar sua constituição e classificação geral. Mesmo ocorrendo um processo de ocupação e alteração de suas características originais, esse revestimento continua presente, podendo ser classificado em mapeamentos ou em observações de campo. “A modificação resultante provoca a degradação e descaracterização dos ecossistemas, como se dá no caso da

superexploração de pastos e o empobrecimento florestal” (BOADA; TOLEDO, 2003, p. 48).

Tanto a transformação como a modificação do revestimento ou da cobertura original de determinado fragmento espacial derivam da *Dinâmica e Evolução* do uso da terra, impostas pelas atividades antrópicas. Essas alterações espaço-temporais podem ocorrer de forma brusca ou lenta, dependendo da intensidade da apropriação e da ocupação por parte das atividades humanas sobre sistemas que mantinham suas características naturais.

Como dinâmica, podemos compreender o(os) “movimento(os) produzido(os) por meio de força(as)” (BORBA, 2004, p. 441). Em seu sentido geográfico, a força encontra-se ligada ao aprimoramento da exploração, da produção e do trabalho aplicados sobre o sistema ambiental. A ação dessas forças conflui na complexidade das organizações espaciais, com capacidade de evolução de sua estrutura areal e de seus mecanismos produtores.

A evolução dessa estrutura dinâmica compreende a superação e a modernização das tecnologias (forças) por meio do alcance de um novo patamar técnico, científico e cultural. Tomado o seu sentido denotativo, o termo evolução pode ser considerado sinônimo de aperfeiçoamento e progresso, desenvolvimento e transformações (BORBA, 2004).

Em Ecologia, a evolução é compreendida como o “processo pelo qual todos os organismos existentes se desenvolvem a partir dos primeiros, através de características herdadas por muitas gerações” (ART, 1998, p. 221).

Em se tratando das organizações espaciais – objeto de estudo da Geografia – a evolução abrange, além do conceito da Ecologia, os novos arranjos do espaço geográfico, possuidores de características espaciais e temporais, sendo fruto do aperfeiçoamento das técnicas que condicionam novas formas, estruturas e funções. Tudo isso sem descartar as estruturas herdadas dessa evolução e que ficam impressas espacialmente, tendo dimensões física, social, econômica e, principalmente, ambiental.

Ao longo do tempo, intensifica-se no espaço geográfico uma organização voltada para diversas atividades e prioridades que determinam novas características ao meio natural. Essa dinâmica evolutiva do uso da terra é fruto de diversos estágios tecnológicos que atuam para o aperfeiçoamento da exploração dos recursos naturais, a fim de possibilitar o desenvolvimento socioeconômico, mas desencadeando também

desequilíbrios no sistema ambiental, cuja capacidade de regeneração de seus elementos, em muitos casos, não acompanha os níveis de apropriação empregados pela ação antrópica.

Verifica-se, assim, que a ocupação do espaço possui aspectos geralmente favoráveis ao sistema socioeconômico, ainda que de forma parcial – como a ampliação de áreas agropastoris, aglomerações urbanas e parques industriais, tendo como conseqüência a geração de lucros e a circulação de bens de consumo. Porém, derivações decorrentes de usos intensivos e desorientados, além de apropriações distantes da capacidade de regeneração natural dos elementos dos sistemas naturais, têm causado inúmeros impactos ambientais.

De acordo com a visão sistêmica, segundo Christofolletti (1979), o impacto ambiental ocorre quando a entrada de matéria ou energia ultrapassa o limite de tolerância compatível da organização do sistema, ocorrendo desequilíbrio e alterações entre seus elementos. Em seguida, o sistema tende a buscar novamente seu estado de equilíbrio, reajustando-se a nova condição ou retornando ao estado inicial, quando não ultrapassar seu grau de resiliência, que de acordo com Christofolletti (1999, p. 114) consiste na “capacidade do sistema em retornar as condições originais após ser afetado pela ação de distúrbios externos”.

Atualmente, existe um consenso de que as alterações no uso da terra são as maiores condutoras de mudanças ambientais locais, regionais e globais, justamente pela sua intervenção direta nas condições climáticas, nos processos dos ecossistemas, nos ciclos biogeoquímicos, na biodiversidade e, o mais importante, sobre as atividades humanas. (LAMBIN et al., 1999, p.11).

Cada período histórico possui uma representação espacial das formas de uso da terra, que atenderam, em outras ocasiões, e respondem, atualmente, a um ideal econômico dominante. O estudo de sua evolução e a compreensão de sua dinâmica destacam várias informações que ficaram “impressas” cronologicamente no espaço geográfico.

O levantamento do uso da terra tem sua importância também por permitir a identificação de conflitos no processo de ocupação. Esses são evidenciados pela expansão de áreas urbanas e agrícolas sobre zonas de proteção permanente (como no caso das matas ciliares ou reservas florestais), bem como pelo processo de poluição dos corpos de água, do ar, sonora e pela ocupação de zonas cujas características do relevo não são adequadas à apropriação. Dessa forma,

trabalhos adicionais são necessários na identificação de regiões onde ocorrem mudanças críticas no uso e cobertura da terra, além da dinâmica que dá origem a estes processos. Esta ênfase examina a vulnerabilidade e resiliência da sociedade, infra-estrutura, sistemas de produção ou biodiversidade apontando “hot spots” em face de tendências oriundas dessa dinâmica de uso da terra, como elevação do nível do mar, aumento da frequência das variações climáticas e degradação crônica das terras. (Lambin et al. 1999, p. 22, tradução nossa).

Para compreender as mudanças que se sucedem no uso da terra, a comunidade científica internacional passou a ter maior necessidade em quantificar e representar espacialmente dados que indicam como a cobertura da terra foi sendo transformada e mudada nos últimos 300 anos e como esse comportamento dar-se-á por no mínimo 50 ou 100 anos (LAMBIN, et al. 1999).

Nesse sentido insere-se o projeto Land Use/Cover Change (LUCC). Trata-se de uma pesquisa internacional de longo prazo juntamente desenvolvida sobre os auspícios do *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) com sede na Suíça e do *International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* (IHDP), com sede na Alemanha. O projeto possui apoio financeiro do *International Council for Science* (ICSU), do *International Social Science Council* (ISSC), do *National Science Foundation* (USA), do *German Ministry for Science, Research and Technology* e do Governo Holandês (LAMBIN et al 1999).

Existem hoje pesquisadores vinculados a esse projeto que atuam nos mais diversos campos do conhecimento científico em distintas instituições de pesquisa congregadas pela ação internacional de identificação das mudanças ambientais globais. O projeto chama atenção por incentivar os pesquisadores a trabalhar com questões atreladas à mudança e à transformação da cobertura e usos da terra sob o enfoque sistêmico, tratando de problemáticas que transcorrem em nível global por meio de pesquisas que integram realidades locais e regionais das mais diversas partes do globo.

O LUCC possui suas raízes arraigadas a vários objetivos da Ciência Geográfica. Constitui-se em um ponto de referência para pesquisadores que voltam seus estudos aos problemas ambientais decorrentes da evolução e da dinâmica do uso da terra e sobre como as organizações espaciais procedem a ocupação do espaço geográfico, constituindo seu sistema socioeconômico. A gama de pesquisadores ligados à Geografia e integrantes do projeto abre novas oportunidades para que essa ciência participe ativamente das pesquisas que se inserem nessa conjuntura.

Boada; Toledo (2003) reservam em seus estudos sobre ambientalismo e crise da modernidade um destaque especial ao projeto LUCC. Apontam-no como uma das propostas metodológicas mais interessantes lançadas em nível global, justamente pelo seu caráter inovador, interdisciplinar, sistêmico e pela dimensão científica no estudo da denominada “Mudança Ambiental Global”.

Dentro da perspectiva das rápidas mudanças ambientais globais, decorrentes das transformações na cobertura e uso da terra, uma equipe de pesquisadores do *Millennium Ecosystem Assessment* – instituto de pesquisa ligado ao programa LUCC – produziu um documento síntese das principais alterações na cobertura e uso da terra em nível global intitulado “*A Síntesis of Information on Rapid Land-cover Change for the Period 1981-2000*”. O estudo baseou-se em uma compilação de informações espaciais de nível regional e local, provenientes, por sua vez, de dados de sensoriamento remoto e de outros dados georreferenciados de diversas instituições de pesquisa mundiais, inclusive do Brasil (LAMBIN et al. 2001).

Apesar de apresentar algumas conclusões já conhecidas, o estudo propôs uma síntese em nível global, identificando em documentos cartográficos as mudanças ocorridas na cobertura ou no revestimento da terra. Esses estudos são imprescindíveis para posteriores comparações advindas de novas pesquisas regionais agregadas aos objetivos do programa.

Resultados positivos já puderam ser extraídos desse primeiro documento, bem como várias propostas também foram instituídas para a elaboração do próximo. Entre tais sugestões encontram-se a resolução e a escala a serem adotadas nos mapeamentos, além da classificação e temporalidade dos dados, que virão a facilitar a compilação e a análise das informações obtidas.

No Brasil, contribuições não recentes, porém relevantes, como a de Keller (1969), destacam a importância dada ao levantamento do uso da terra em nível mundial pela *Comissão de Utilização da Terra da União Geográfica Internacional*, uma vez que são pouco conhecidos os verdadeiros usos da superfície terrestre. A autora citada argumenta também sobre a grande diferença existente entre países desenvolvidos e os ditos subdesenvolvidos, no que tange à quantidade e à qualidade de dados a respeito dessa temática.

Em seu texto, a autora evidencia que a interpretação dos dados de uso da terra é de fundamental interesse aos planejadores e aos programas de desenvolvimento, em face

da discriminação de áreas propícias à expansão e à exploração – agrícola ou urbano/industrial – bem como de áreas subutilizadas que denunciam problemas e requerem uma investigação minuciosa.

Nesse sentido, a análise da dinâmica de uso da terra tem o papel de identificar áreas cuja ocupação e apropriação dos recursos naturais estão ocorrendo de forma indiferente a sua capacidade de regeneração, auxiliando assim as ações de planejamento. Baldwin (1981, p. 162) explica que o planejamento e o manejo ambiental podem ser definidos como o iniciar e a execução de atividades para dirigir e controlar a coleta, a transformação, a distribuição e a disposição dos recursos de uma maneira capaz de sustentar as atividades humanas com um mínimo de distúrbios nos processos físicos, ecológicos e sociais.

O desenvolvimento técnico-científico e informacional atingido pela sociedade capitalista nas últimas décadas foi decisivo para que os hábitos de vida da população fossem alterados e para que houvesse avanços em diversos campos, principalmente na biomedicina, nas comunicações, nos transportes, na prestação de serviços e na área industrial – com a informatização dos parques fabris e o aumento na capacidade de processamento. Tudo isso intensificou a exploração das matérias-primas.

Esse progresso multifacetário demonstrou à sociedade, num primeiro momento, o lado mais confortável de sua evolução tecnológica, conduzindo à comodidade em inúmeras situações diárias. Entretanto, desvelou suas características negativas ao hegemonizar potências mundiais controladoras de economias e detentoras das decisões socioambientais, bem como de um mundo subdesenvolvido em caótico estado social, econômico e estrutural.

A percepção da insustentabilidade dessa situação ampliou a concepção de que atitudes mais coerentes nas práticas econômicas, culturais, sociais e, sobretudo, nas ambientais deveriam ser tomadas. A preocupação com as ações atuais e futuras – evitando que as atividades humanas tenham conseqüências drásticas em períodos relativamente curtos – fez com que vários compromissos de planejamento fossem instituídos, desde planejamentos econômicos, passando por planejamentos urbanos e rurais, até o planejamento ambiental, como forma de gerir os sistemas ambientais.

Ross; Del Prette (1998) afirmam que a adoção do planejamento como instrumento de governo consolidou-se tanto nos países comunistas, quanto nos países de economia de mercado, sobretudo após a Segunda Guerra Mundial. Tal inquietação partiu, por um lado,

das autoridades políticas, em súbita demonstração de preocupação com a instabilidade dos acontecimentos mas, ao mesmo tempo, revelando interesses de ordem econômica, visto que novos rumos, guiados por estratégias desenvolvimentistas, prenunciavam o surgimento de economias proeminentes; e, por outro lado, sociedade e grupos ambientalistas demonstravam apreensão com a condição extrema de colapso socioambiental que se desenvolvia em diversas áreas do Globo.

Floriano (2002) expressa algumas considerações a respeito do planejamento enquanto ferramenta de gestão. Em sua essência, comenta o autor, o planejamento é um processo de organização de tarefas para se chegar a um fim, possuindo fases características e seqüenciais que, em geral, estão na seguinte ordem: identificar o objeto do planejamento; determinar uma missão ou compromisso para se atingir o objetivo desejado; definir políticas e critérios de trabalho; estabelecer metas; desenvolver um plano de ações necessárias para se atingir as metas; estabelecer um sistema de monitoramento, controle e análise das ações planejadas; definir um sistema de ação sobre os dados controlados e, finalmente, prever a tomada de medidas para prevenção e correção quanto aos desvios que poderão ocorrer em relação ao plano.

Existem características comuns entre o *planejamento tradicional* e o *planejamento ambiental*. Entretanto, a despeito das similaridades, diferenças na postura e na abordagem dessas duas ferramentas de gestão são de possível identificação, pois ocorrem divergências no que tange aos objetivos, à temporalidade, à organização e à concepção de desenvolvimento.

De acordo com Mauro (1997) e Marinho (1999), o planejamento tradicional privilegia o crescimento, assumindo critérios de máxima eficiência econômica por meio da utilização de tecnologias limitativas. Sua concepção de desenvolvimento é considerada setorial, parcial e linear. O planejamento tradicional apresenta sua produção centrada em formas de organização empresarial mercantil, possuindo interesses nos aspectos econômicos, mas não reconhecendo a existência de conflitos justamente por não promover ações para superá-los.

O planejamento ambiental, por sua vez, orienta a produção para a satisfação das necessidades básicas da população, adotando critérios de desenvolvimento regional harmônico, privilegiando, dessa forma, a qualidade de vida. Confere preferências a critérios de longo prazo, buscando coerência para as ações que demandam curtos e médios intervalos de tempo (MAURO, 1997; MARINHO, 1997).

A tecnologia utilizada procura respeitar a auto-regeneração do sistema ambiental, possuindo uma concepção de desenvolvimento integral e sistêmico. Sua organização produtiva ramifica-se, possuindo interesses tanto no aspecto econômico como nos aspectos natural e social. O planejamento ambiental reconhece ainda a ocorrência de conflitos paralelos à busca do desenvolvimento integral, almejando elementos institucionais que provenham da discussão e do consenso das partes interessadas, (MAURO, 1997; MARINHO, 1997).

Percebe-se que o planejamento tradicional encontra-se arraigado a uma visão linear e racional de desenvolvimento. De acordo com Capra (1982), esse paradigma tem exercido uma influência poderosa sobre o conhecimento científico, tornando nossa cultura fragmentada e desenvolvendo tecnologias, instituições e estilos de vida profundamente doentios.

Sua aplicação consolidou-se como base exclusiva no processo de desenvolvimento econômico de algumas nações, mas revelou deficiências à medida que demonstrou não estar em sintonia com a noção de equilíbrio, de integração e de sustentabilidade dos sistemas ambiental e socioeconômico.

O planejamento ambiental, de forma antagônica, busca fundamentar suas ações numa visão holística, estabelecendo trabalhos que respeitem a inter-relação dos elementos sociais e naturais que compõem um sistema em constante atividade.

Simultaneamente à busca do desenvolvimento estrutural, social e econômico – necessário a qualquer sociedade moderna que procura inserção no mercado globalizado – o planejamento ambiental empenha-se no estabelecimento de diretrizes que sirvam como aparatos instituidores de limites. Tais marcos concedem ao espaço em que estão sendo aplicados possibilidades de crescimento por um período prolongado, com o mínimo de agressões ao meio natural e social.

As ações de planejamento ambiental caracterizam-se, dessa forma, como medidas para o desenvolvimento de determinadas áreas com mínimo impacto sobre os sistemas ambiental e socioeconômico, podendo ocorrer em estágios de acelerado processo de degradação, ou como forma de prevenir e controlar a ampliação de ações antrópicas sobre os recursos naturais.

O planejamento ambiental, que em sua essência possui um caráter integrador e sustentável, demonstra cada vez mais inserção em áreas cuja fragmentação espacial entre os atributos do sistema ambiental ocorre em menor intensidade, primando por unidades

geográficas sistêmicas. Nesse sentido, as bacias hidrográficas apresentam-se como âncoras para o planejamento e gestão ambiental (ROSS. Del PRETTE, 1998).

Ab' Saber (1987) afirma que o uso dessa unidade natural ecogeofisiográfica possibilita uma visão sistêmica e integrada devido, principalmente, à clara delimitação e à natural interdependência de processos climatológicos, hidrológicos, geológicos e ecológicos. Sobre esses sistemas atuam as forças antropogênicas, em que atividades e sistemas econômicos, sociais e biogeofísicos interagem-se.

Ross; Del Prette (1998, p. 101) afirmam que a bacia hidrográfica, embora se constitua num sistema natural cujo referencial é a água, torna-se automaticamente um único sistema ambiental, seja do ponto de vista natural, quando se levam em conta os demais componentes da natureza, como relevo, solos, subsolo, flora e fauna, seja do ponto de vista social, quando se consideram as atividades econômicas.

Do ponto de vista socioeconômico ainda existem divergências sobre a adoção das bacias hidrográficas como áreas de pesquisa, visto que os fenômenos sociais apresentam continuidade espacial que muitas vezes ultrapassam os limites dessas unidades de análise naturais. Por essa razão, muitas ações de planejamento urbano e rural pautam-se, ainda, em unidades político-administrativas, como os municípios, as microrregiões e os setores censitários.

Sendo assim, a bacia hidrográfica constitui-se numa região propícia para a execução de análises que confluem em ações de planejamento ambiental e gestão dos recursos naturais, exatamente porque todos os processos físicos de qualquer natureza atuam no interior de uma bacia hidrográfica e qualquer espaço pode ser dividido em redes hidrográficas de múltiplas dimensões, facultando a regionalização e a adoção de uma área como unidade de estudos e monitoramento ambiental.

De acordo com Art (1998, p. 50), a bacia hidrográfica é a área total de superfície de determinado terreno, na qual um aquífero ou um sistema fluvial recolhe sua água para um canal principal. O termo bacia de drenagem também é lembrado como sendo a forma do terreno ou da superfície de uma vertente, a área que contribui para o escoamento de um curso de água. O autor estabelece uma diferença na concepção dos dois termos, inferindo que o primeiro resulta das características paisagísticas, enquanto o segundo deriva da atuação dos processos hidrogeomorfológicos que atuam na morfodinâmica.

Destacando-se a diferenciação proposta por esse autor, grande parte da bibliografia pesquisada aborda os termos *bacia hidrográfica* e *bacia de drenagem* como

sinônimos. Bacia de drenagem, bacia hidrográfica e bacia fluvial possuem o mesmo significado para Guerra & Guerra (1997, p. 76), que as caracterizam como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Ainda de acordo com os autores citados, a noção de bacia hidrográfica obriga a existência de cabeceiras, divisores, cursos de água principais, afluentes e subafluentes. Seu conceito é dinâmico, haja vista a atuação dos seus atributos nos processos morfogenéticos.

Suguio (1998, p. 73), em consonância com Guerra & Guerra (1997), compreende os termos bacia hidrográfica e bacia de drenagem sob o mesmo conceito. De acordo com o autor, essas correspondem à parte da superfície terrestre que é ocupada por um sistema de drenagem, ou que contribui com água superficial para aquele sistema.

Jackson (1997, p. 191), por sua vez, concebe o termo bacia de drenagem (*drainage basin*) como uma região ou área limitada por um divisor de águas, ocupada por um sistema de drenagem. O autor citado continua, descrevendo que esse sistema configura-se como a área de um território que reúne água originada das precipitações, contribuindo com o canal ou com o sistema de canais principal. Na literatura americana, o termo aparece como sinônimo das palavras *watershed*, *drainage area*, *catchment*, *catchment area*, *river basin* e *hydrographic basin*.

Uma das definições de bacia hidrográfica que a estabelece de fato como unidade sistêmica é a de Ferreira & Ferreira (2003, p. 122) que explicitam seu conceito afirmando que

a bacia hidrográfica é entendida como um sistema aberto e complexo, cujo fluxo aparece como uma resposta aos fatores que a controlam e se faz constituir-se, portanto, em um sistema aberto, por estar constantemente trocando matéria e energia com outros sistemas que compõe o seu ambiente. Sendo assim, uma bacia hidrográfica é controlada principalmente pelo fornecimento de matéria e energia dos sistemas externos do seu ambiente, quais sejam: o abiótico, o biótico e o antrópico.

Existe ainda o termo *microbacia hidrográfica* que, ao lado da expressão bacia hidrográfica, é muito utilizado em trabalhos de cunho geográfico e institucional. Para Loenert (1993), a microbacia hidrográfica tem o mesmo conceito de bacia hidrográfica, porém a dimensão superficial da microbacia é menor que 20.000 ha. Em consenso com Loenert, Rocha (1991) expõe que o conceito de microbacia é o mesmo empregado às bacias hidrográficas, tendo como diferença a extensão que não pode superar os 10.000 ha.

Botelho; Silva (2004), analisando as expressões e dimensões espaciais das bacias hidrográficas, evidenciam o fato de que entre os trabalhos acadêmicos por eles analisados, em geral, foram consideradas microbacias aquelas unidades que apresentam dimensão entre 20 e 50 km². As bacias hidrográficas, por sua vez, são compreendidas como áreas possuidoras de dimensões superiores, que variam desde 50 Km² chegando a 10.000 Km² ou mais, podendo esse número ser superior a 100. 000 km² como em estudos realizados na bacia do Rio Amazonas.

Ryff et al. (1995), por sua vez, definem a microbacia hidrográfica como uma unidade natural de planejamento agrícola e ambiental, adequada à implantação de novos padrões de desenvolvimento rural, que representa uma etapa no processo de aproximações sucessivas rumo ao ideal de um desenvolvimento sustentável. De acordo com a visão dos autores citados, evidencia-se a proposta de utilização das microbacias hidrográficas para a implantação de programas de desenvolvimento, sobretudo em pequenas comunidades rurais, pelo fato de sua aproximação com o tamanho das propriedades agrícolas.

As definições de tamanho envolvidas na escolha do termo, além dos propósitos da presente pesquisa em analisar um sistema que abrange usos de terra agrícola e urbano-industrial, fazem com que se utilize o termo bacia hidrográfica ao se estudar a superfície drenada pelo Arroio Santa Bárbara e seus afluentes. Isso porque sua área, 83 Km², além de sua importância enquanto fomentadora do Reservatório Santa Bárbara e superfície onde se desenvolvem significativas atividades econômicas municipais e regionais, determinam sua inserção na categoria de bacia hidrográfica.

Dessa forma, as ações de planejamento ambiental em bacias hidrográficas encontram respaldo fundamental nas análises sobre a dinâmica de uso da terra. A união dessas informações com demais dados do meio físico e socioeconômico possibilita uma visão integrada dos fenômenos processados no interior dessa unidade de pesquisa, além das conseqüências desses processos. Assim, a caracterização do sistema em estudo, desde seu contexto regional até suas características peculiares, possibilita o agrupamento e a correlação das informações objetivando analisar alterações ocorridas durante um determinado período de tempo.

A caracterização geográfica do sistema concede uma visão da conjuntura do local onde se desencadeia a dinâmica das organizações espaciais. Neste contexto, a seguir são descritos o processo de ocupação da bacia do Arroio Santa Bárbara e a caracterização geográfica, englobando aspectos dos sistemas ambiental e socioeconômico.

3 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA

3.1 O contexto regional

A descrição do processo de ocupação e a caracterização geral da área em estudo ocorrem em consonância com a abordagem teórico-metodológica proposta pela pesquisa. Dessa forma, uma análise integrada dos fatos permite a compreensão dos aspectos gerais dos sistemas ambiental e socioeconômico, que originam características específicas de organização do espaço geográfico.

Para compreender o processo de ocupação da bacia do Arroio Santa Bárbara é preciso, primeiramente, remontar ao processo de ocupação ocorrido no Rio Grande do Sul. A dualidade do povoamento do território Sulriograndense, ocorrido em dois domínios naturais – campos e matas –, é visível tanto no município de Pelotas como na bacia hidrográfica em questão. A caracterização dos sistemas ambientais gaúchos torna-se, diante desse aspecto, necessária para a compreensão do processo de ocupação da área em estudo, nas duas áreas-chave supracitadas.

De acordo com Bernardes (1962), as características naturais do espaço gaúcho influenciaram na organização das atividades socioeconômicas e na conseqüente distribuição da população pelo Estado. A bacia do Arroio Santa Bárbara insere-se nessas particularidades, visto que seus limites abrangem tanto as zonas de campo nativo localizadas na Planície Costeira, bem como as porções de mata situadas nas Serras do Sudeste, acarretando em diferenciações no desenvolvimento das atividades econômicas, no povoamento e nos usos da terra.

Bernardes (1962) afirma ainda que as regiões morfológicas do Rio Grande do Sul atuam na articulação de diferentes unidades climáticas e de vegetação original, configurando diferentes unidades de paisagem. Em seus estudos sobre o povoamento do território gaúcho, são discriminadas seis unidades distintas no que tange às características do relevo: Planalto, Encosta, Serras do Sudeste, Depressão Central, Campanha e Litoral.

A abordagem dessas regiões morfológicas associadas às condições climáticas e de cobertura vegetal, apontadas por Bernardes (1962), aproxima-se dos registros do projeto RADAMBRASIL (1986), que define os grandes domínios morfoestruturais gaúchos além de suas regiões e unidades geomorfológicas. A caracterização natural e a dos aspectos geográficos do território gaúcho pautaram-se na união dessas duas propostas, procurando evidenciar características importantes do sistema ambiental sulriograndese que tiveram papel fundamental no processo de ocupação estadual e regional.

Assim, a Figura 1 representa as características morfológicas e de cobertura vegetal original apontadas por Bernardes (1962), enquanto o Quadro 1 reúne, esquematicamente, aspectos geomorfológicos do Projeto RADAMBRASIL (1986) associados às regiões geomorfológicas e climáticas de Bernardes (1962), além de características geográficas gerais, possibilitando assim a compreensão geral da configuração do espaço gaúcho.

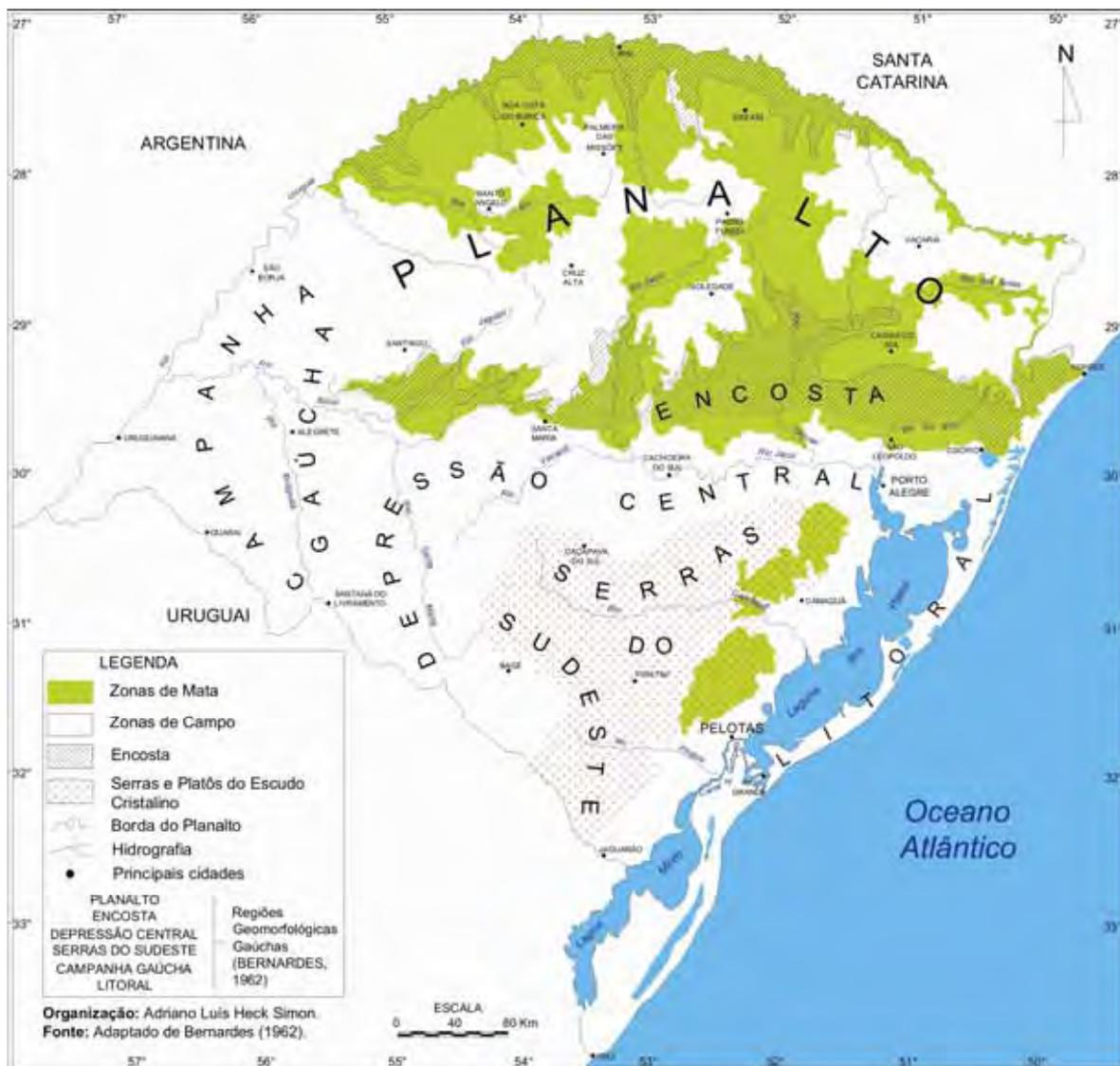


Figura 1: Características geomorfológicas e da cobertura vegetal original do Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Organizado por Adriano L. H Simon, Adaptado de Bernardes (1962).

Domínios Morfoestruturais ¹	Regiões Geomorfológicas ¹	Unidades Geomorfológicas ¹	Regiões Morfológicas e Condições Climáticas Associadas ^{2,3}	Características Gerais
Depósitos Sedimentares	Planície Costeira Externa (influência marítima)	Planície Marinha	Litoral Clima de Verões Quentes (Temperatura média anual variando de 16° ao sul e 20° ao norte)	* estende-se desde a Barra do Chui até a divisa com Santa Catarina; * apresenta uma linha de costa linear interrompida apenas pela Barra do Rio Grande onde ocorre o encontro da Laguna dos Patos com o Oceano Atlântico; * estágios vegetacionais variando desde vegetação de dunas e restingas, passando por zonas úmidas de banhado, até coberturas vegetais arbustivas e arbóreas (LINDMAN, 1906). * o litoral gaúcho, ao contrário do restante do litoral brasileiro, não propiciou a instalação de núcleos de povoamento devido a suas condições ambientais hostis, além de não existirem pontos de refúgio contra eventuais ataques inimigos (BERNARDES, 1962).
	Planície Costeira Interna (influência do sistema lagunar Patos/Mirim)	Planície Lagunar Planície Alúvio-Coluvionar		
Embasamentos em Estilos Complexos	Planalto Sul-riograndense (<i>Escudo Cristalino Sul-riograndense</i>)	Planaltos Residuais Canguçu - Caçapava do Sul Planalto Rebaixado Marginal	Serras do Sudeste	

Quadro 1: Caracterização esquemática dos aspectos geográficos do território gaúcho.

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon, adaptado de: ¹RADAMBRASIL (1986); ²Bernardes (1962); ³Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2003).

Domínios Morfoestruturais ¹	Regiões Geomorfológicas ¹	Unidades Geomorfológicas ¹	Regiões Morfológicas e Condições Climáticas Associadas ^{2,3}	Características Gerais
Bacias e Coberturas Sedimentares	Planalto da Campanha	Planalto de Uruguaiana	Campanha Gaúcha Clima de Verões Quentes (temperatura média anual entre 20° e 23°)	* a vegetação compreende formações adaptadas a um clima mais seco e quente com períodos de escassez de água; * as gramíneas são características na Campanha, espalhando-se sobre as coxilhas dômicas da região; * fragmentada em municípios de grande dimensão territorial, com zonas urbanas populosas e distantes umas das outras, além de zonas rurais onde predomina a atividade pecuária em grandes propriedades;
	Planalto das Missões	Planalto de Santo Ângelo	Clima de Verões Quentes	* encontra-se assentado sob espessos lençóis de efusivas básicas, derivadas de vulcanismo fissural, alternados (RADAMBRASIL, 1986);
		Planalto dos Campos Gerais	Planalto Clima de Verões Frescos	* maiores altitudes do território gaúcho, decrescendo no sentido leste (>1000 m)-oeste (<100 m), respeitando a estrutura geral da Bacia do Paraná; * articulam-se em seus domínios zonas de mata e campo que são função da movimentação do relevo e irrigação dos solos;
	Planalto das Araucárias	Planalto Dissecado do Rio Uruguai Serra Geral Patamares da Serra Geral	Encosta Clima de Verões Quentes (médias anuais de temperatura entre 10° e 14°)	* relevo ondulado, coberto por matas, extremamente dissecado com desníveis altimétricos maiores de 1000 m; * o profundo entalhamento fluvial produzido sobre os vários derrames de rochas efusivas deixou nas vertentes abruptas um sucessivo escalonamento de patamares estruturais (RADAMBRASIL, 1986); * zona de concentração das primeiras colônias de imigração alemã (1824) e italiana (1875), onde se instalaram pequenas propriedades de agricultura familiar.
	Depressão Central Gaúcha	Depressão do Rio Jacuí Depressão do Rio Ibicuí-Rio Negro	Depressão Central Clima de Verões Quentes (temperaturas anuais entre 16° e 20°); precipitação média 1500 e 1700 mm.	* altitudes <100 m até pouco mais de 200 m; * campos, áreas pantanosas e matas de galeria mesclam-se por um relevo composto de coxilhas elevadas, por vezes tabulares, além de vales úmidos ricos em matéria orgânica, onde se desenvolve uma vegetação rasteira; * Rio Jacuí e Rio Ibicuí são os principais rio que drenam a Depressão Central; * o atual uso da terra encontra-se ligado à intensa exploração do arroz irrigado, áreas de pecuária e exploração de areia (IBGE, 1977).

As características naturais e os aspectos geográficos apresentados influenciaram duas categorias de ocupação do espaço gaúcho, determinadas pela viabilidade no desenvolvimento das atividades econômicas em períodos históricos distintos. Assim, a primeira fase de ascensão econômica e populacional do Rio Grande do Sul ocorreu nas áreas de Campo – destinadas, em princípio, à intensa atividade pecuária.

Os campos gaúchos localizam-se principalmente na região da Campanha Gaúcha, na Depressão Central e em algumas áreas do Planalto. Estendem-se também pelas Serras do Sudeste e na região da Planície Costeira Interna, que margeia o sistema lagunar gaúcho Patos-Mirim (Figura 1).

A segunda fase do processo de organização do espaço gaúcho ocorreu nas zonas de mata – ocupadas pelos colonizadores europeus, não-portugueses e espanhóis, a partir de 1824. Adentrar as matas surgiu como única alternativa de ocupação do território sul-riograndense pelos colonizadores, em face da intensa organização socioeconômica que ocorria nas zonas de campo.

As zonas florestadas aparecem nas regiões acidentadas limítrofes das faixas de relevo mais suave. Tais áreas correspondem à zona de Encosta e aos vales que drenam o sistema hidrográfico do Rio Jacuí, bem como àqueles que contribuem para a drenagem da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, no norte do Estado. Podemos considerar ainda as porções de mata que ocorrem na borda atlântica das Serras do Sudeste, em contato com a Planície Costeira Interna, onde se situam o município de Pelotas e a bacia Santa Bárbara (Figura 1).

No estado do Rio Grande do Sul os processos de ocupação, povoamento e integração com o restante do Brasil Colônia ocorreram de forma tardia, se comparados com as regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. “A região permaneceu inexplorada por mais de um século, enquanto que no restante da América portuguesa se desenvolviam os engenhos de açúcar” (PESAVENTO, 1997, p. 7).

O bloqueio da vinda de escravos para o Brasil no século XVII, efetivado pelo domínio holandês na região Nordeste, foi um dos fatos históricos que marcaram o início da ocupação do espaço gaúcho. A ação tomada pelo governo da Holanda incitou as bandeiras paulistas a invadirem reduções indígenas situadas à margem esquerda do Rio Paraná, objetivando a captura de índios aprendizes de técnicas agrícolas para o trabalho nas regiões açucareiras brasileiras (PESAVENTO, 1997).

Os constantes ataques a essas reduções fizeram com que os padres abandonassem essas zonas de tensão, cruzassem o Rio Uruguai e avançassem sobre território gaúcho em 1626. Entretanto, a ação dos bandeirantes não tardou a reiniciar, e esses continuaram seus ataques às missões gaúchas em busca de mão-de-obra aborígine (PESAVENTO, 1997).

Por volta de 1640, registrou-se o combate final nas reduções gaúchas, que resultou no abandono jesuíta da área e no apresamento de muitos índios. A partir desta data, os paulistas não mais desceram ao Rio Grande [...] porque com o fim do domínio Espanhol os portugueses conseguiram expulsar os holandeses da África, restabelecendo a normalidade do tráfico negreiro. [...] os jesuítas retiraram-se para a outra margem do Rio Uruguai, levando os índios, mas deixando o gado. (PESAVENTO, 1997, p. 9).

A liberdade dos rebanhos bovinos nas áreas de campo desencadeou a reprodução em larga escala desses animais. “Os rebanhos tornaram-se bravios e formaram uma imensa reserva de gado. [...] Estava lançado o fundamento econômico básico de apropriação da terra gaúcha: a preia do gado xucro” (PESAVENTO, 1997, p. 9), ou seja, a captura e aproveitamento da matéria prima oriunda do gado não-domesticado.

Tal atividade, desenvolvida por vários grupos sociais, consolidou-se e demonstrou-se rentável. Das estâncias onde era desenvolvido esse trabalho originaram-se as Sesmarias: propriedades concedidas pela Coroa aos homens que possuíam funções superiores no Império, como militares ou homens de posse que pagavam pela parcela de terra. As Sesmarias também surgiram como possibilidade vislumbrada pela Coroa em manter as divisas e ocupar o território – que se encontrava em constantes disputas com os espanhóis, principalmente após a criação da Colônia de Sacramento, atual Uruguai.

A distribuição desses grandes lotes foi, lentamente, fragmentando as áreas de campo do território gaúcho em direção à fronteira com o domínio espanhol, fixando a população em pequenas comunidades, distantes umas das outras. As Sesmarias e seus núcleos de povoamento consolidaram-se principalmente na Campanha Gaúcha, nas zonas marginais e internas das Serras do Sudeste e por último, no Planalto de Santo Ângelo, já no século XIX, quando, de acordo com Bernardes (1962, p. 612), “os riograndenses haviam se assenhoreado de todos os campos do interior de seu atual território”.

Até o início do século XIX, as áreas de mata do atual território gaúcho permaneciam anecúmenas incitando receio à Coroa, que temia possíveis invasões e preocupava-se em garantir seus domínios. Criadores de gado, que possuíam estâncias

próximas às zonas de mata, praticavam atividades agrícolas insignificantes, voltadas apenas ao próprio consumo.

Com uma produção agrícola pouco diversificada e espacialmente restrita, havia a necessidade de um novo perfil de homem do campo, voltado ao trabalho familiar, centrado na produção de gêneros alimentícios que sustentassem o mercado interno, estimulando dessa forma o comércio com os pecuaristas e a economia. Esse cenário viabilizou a entrada dos colonos europeus no Brasil. Eram trabalhadores oriundos, especialmente, da Europa Central e constituíam uma massa de “soldados desengajados de Napoleão e de camponeses pobres e oprimidos que estavam prontos para emigrar para qualquer lugar do mundo” (BERNARDES, 1962, p. 614).

Havia uma série de interesses em fomentar a ocupação das zonas de matas gaúchas, além do fato de promover a pluralidade agrícola e populacional. A ocupação de áreas suscetíveis à invasão foi uma alternativa, mas, sobretudo, os agricultores tiveram a função de desbravar a mata, dinamizando as relações entre as áreas de campo que se encontravam estancadas pela floresta fechada e eram transitadas por pequenos e insalubres caminhos.

Além do mais, os vínculos entre as áreas de campo eram de maior importância naquele momento histórico, haja vista sua contribuição à economia periférica nacional por meio da gradual ascensão da indústria do charque que viria a impulsionar o desenvolvimento de Pelotas.

O município de Pelotas possui suas raízes históricas inseridas nas duas fases de povoamento do espaço gaúcho. Localizado ao sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 2), Pelotas possui seu território espraiado pela encosta inferior da Serra dos Tapes – porção oriental do Escudo Cristalino Sulriograndense – e pela Planície Costeira Interna, às margens do Canal São Gonçalo.

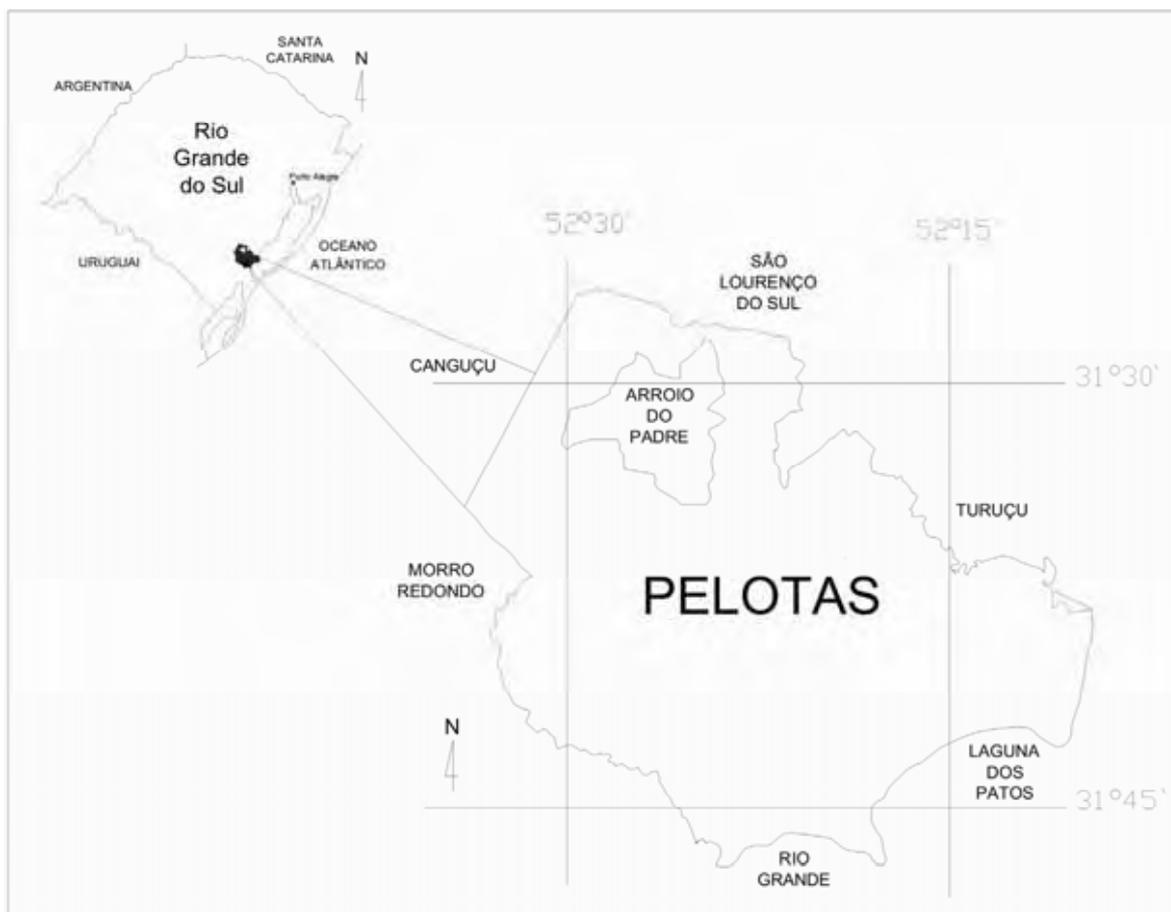


Figura 2: Localização do Município de Pelotas no Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

Pelotas é um dos mais importantes municípios gaúchos pois congrega a função de pólo geo-econômico, administrativo e cultural da região Sul e exerce influência sobre um universo de 1,2 milhões de pessoas, em 19 municípios, com um potencial de consumo que supera algumas capitais brasileiras. Destaca-se também pela prestação de serviços e pelas atividades agrícolas voltadas para a exportação, possuindo uma população estimada de 342.513 habitantes (IBGE, 2005).

O processo de ocupação e consolidação dos limites territoriais do atual município de Pelotas ocorreu a partir da divisão do território gaúcho em Sesmarias, por meio da concessão de uma grande extensão de terras efetivada por Gomes Freire de Andrade (Conde de Bobadela) a um homem de grande prestígio na região.

O território onde se encontra o município de Pelotas teve sua ocupação inicialmente assinada pela outorga de carta de sesmária ao Coronel Thomaz Luiz Osório [...] em 1758. [...] Os limites desta sesmária vão desde o rio Santa Bárbara, passando pelo rio Pelotas até o ponto de Canguçu, limitando-se a oeste pelo Canal de São Gonçalo. (VIEIRA, 1994, p. 25).

De acordo com Vieira (1994), a ocupação inicial dessa imensa parcela de terra foi realizada por portugueses ilhéus, fugitivos das ameaças espanholas que ocorriam na vila de Rio Grande. As atividades iniciais eram rarefeitas e pautavam-se nos gêneros agrícolas – trigo em especial – que serviam basicamente ao autoconsumo. Em um segundo momento ocorreu a ascensão da atividade pecuária com o surgimento das charqueadas e a produção do charque.

O charque é a carne salgada e seca originada do abate do gado. A safra era sazonal e durava de novembro a abril nos meses mais quentes. O produto era utilizado como alimento dos escravos em todo o Brasil e em países que adotavam o sistema escravista (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2006). Pelotas é considerada o berço das primeiras charqueadas gaúchas, que foram se disseminando pelas margens do Arroio Pelotas e do Canal São Gonçalo.

Em 1780, o português José Pinto Martins, que abandonara o Ceará em consequência da seca, funda às margens do Arroio Pelotas a primeira charqueada. A prosperidade do estabelecimento, favorecida pela localização, estimulou a criação de outras charqueadas e o crescimento da região, dando origem à povoação que demarcaria o início da cidade de Pelotas (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2006).

Primeiramente, a atividade saladeiril – como também era denominado o processo de produção do charque – teve um caráter artesanal e rústico, aproveitando-se apenas da carne e do couro dos animais abatidos. Os produtos serviam em grande parte para o autoconsumo e os pequenos excedentes movimentavam o comércio local. Em um segundo momento, as charqueadas atingiram um estágio técnico-industrial significativo, vindo a consolidar um complexo industrial voltado ao aproveitamento total do gado e à exportação do charque para outros estados como Rio de Janeiro, Bahia e Pernambuco (ARRIADA, 1994).

A atividade saladeiril condicionou o desenvolvimento de vários outros setores da economia pelotense. Uma rede de transportes fluvial, lacustre, marítima e terrestre organizou-se para a sustentação dos negócios locais, regionais e nacionais. O comércio

acompanhou esse desenvolvimento, aprimorando-se à crescente demanda de consumidores pertencentes às classes econômicas distintas.

“À sombra das charqueadas, Pelotas desenvolveu-se, de incipiente povoação, a cidade que seria, durante quase todo o século passado, a mais rica e adiantada da província” (MAGALHÃES, 1981, p.14). “A indústria do charque foi o fator fundamental de fixação de homens e o gerador de certo acúmulo de capitais, condições essenciais para um início de urbanização” (ARRIADA, 1994, p. 79).

Os proprietários das estâncias constituíam a classe econômica dominante, com poderes políticos e financeiros. Desde 1810, o povoado pertencente a Rio Grande havia iniciado um movimento reivindicando a criação de uma freguesia, o que veio a ocorrer no dia 07 de julho de 1812 (VIEIRA, 1994, p. 26), quando se instituiu a Freguesia de São Francisco de Paula. Em 1932, o presidente da Província, Antônio Rodrigues Fernandes Braga, outorgou à vila o título de cidade, com o nome de Pelotas.

A sede desse povoado instalou-se em um amplo patamar existente entre o Canal São Gonçalo, o Arroio Santa Bárbara e o Arroio Pelotas. O traçado quadriculado da malha urbana seguia o sentido leste/oeste, norte/sul. A localização do sítio urbano ocorreu distante dos locais onde se praticava a atividade saladeiril, pois o mau cheiro e a paisagem peculiar, característicos das etapas de fabricação do charque, desagradavam a incipiente população pelotense.

Entre a consolidação e o apogeu da atividade saladeiril e a conseqüente evolução do núcleo urbano pelotense, ocorre o processo de colonização na região serrana do município, até então pouco explorada devido à falta de interesse dos investidores.

A colonização européia não-portuguesa e espanhola – retomada a partir de 1848 nas áreas serranas e florestadas de Pelotas – também ocorreu tardiamente se comparada à ocupação das áreas de campo da Planície Lagunar. De acordo com Salamoni (1992, p. 33), a região de serras e matas do interior pelotense “[..] foi por muito tempo desprezada pelos luso-brasileiros. Sua valorização econômica só aconteceu quando a iniciativa privada passou a interessar-se pela aquisição de terras e pela organização de colônias de imigrantes europeus”.

A exploração das zonas de mata pelos colonizadores acarretou em mudanças significativas na paisagem local, fazendo com que os lotes fossem tomados por parcelas de terras cultivadas com os mais variados tipos de gêneros agrícolas: alfafa, batatas, mandioca, abóbora e outras olerícolas. Em algumas propriedades praticava-se a agricultura

associada à criação de animais como vacas, porcos e galinhas para o consumo dos derivados pela família. A criação dos bois voltava-se para o auxílio desses no preparo da terra.

O dinamismo das colônias na região serrana de Pelotas estabeleceu uma comunicação expressiva com as zonas de campo situadas na Planície Lagunar. Pebayle (1975) explica que os contatos existentes entre essas duas sociedades rurais ocorreram principalmente por parte dos criadores das terras baixas do sudeste e dos agricultores das serras do sudeste meridional.

As relações baseavam-se na troca de gêneros agrícolas - arroz, ervilha, batata inglesa, cebola, pêssego – por animais que auxiliavam nos trabalhos agrícolas. Tais trocas, aperfeiçoadas ao longo do tempo, deflagraram um comércio rentável, que abrangeu também os moradores da área urbana por meio da venda de gêneros e derivados agrícolas aos habitantes da cidade de Pelotas.

3.2 A bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara

A bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara encontra-se inserida no contexto de ocupação territorial, apropriação dos recursos naturais e organização espacial pelotense. Localiza-se na porção sudoeste do município de Pelotas e ocupa uma área de aproximadamente 83 km² (Figuras 3 e 4).

Na área urbana o sistema abrange atualmente parte dos bairros Fragata, Simões Lopes e Três Vendas, além de uma porção considerável da zona central e do Distrito Industrial de Pelotas. Em área rural, onde predominam as atividades agropastoris em pequenas, médias e grandes propriedades, seus limites atingem a interface entre a Planície Alúvio-Coluvionar e as Serras do Sudeste, sendo que nessa última situam-se as principais nascentes da bacia.

A estrutura litológica na qual estão assentados os domínios da bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara segue, em termos gerais, as características geológicas do município de Pelotas, bem como de toda a região situada na área de transição do Escudo Cristalino Sul Rio-grandense (Pré-cambriano) com a Planície Costeira (Quaternário).

Os segmentos norte e noroeste da área em estudo estão localizados na borda leste de formações rochosas antigas, pertencentes ao Escudo Cristalino Sul-Riograndense. Essa parcela oriental do Escudo é denominada de Cinturão Dom Feliciano e nesse bloco ocorrem litologias pertencentes ao Batólito Pelotas (PHILIPP, 1991).

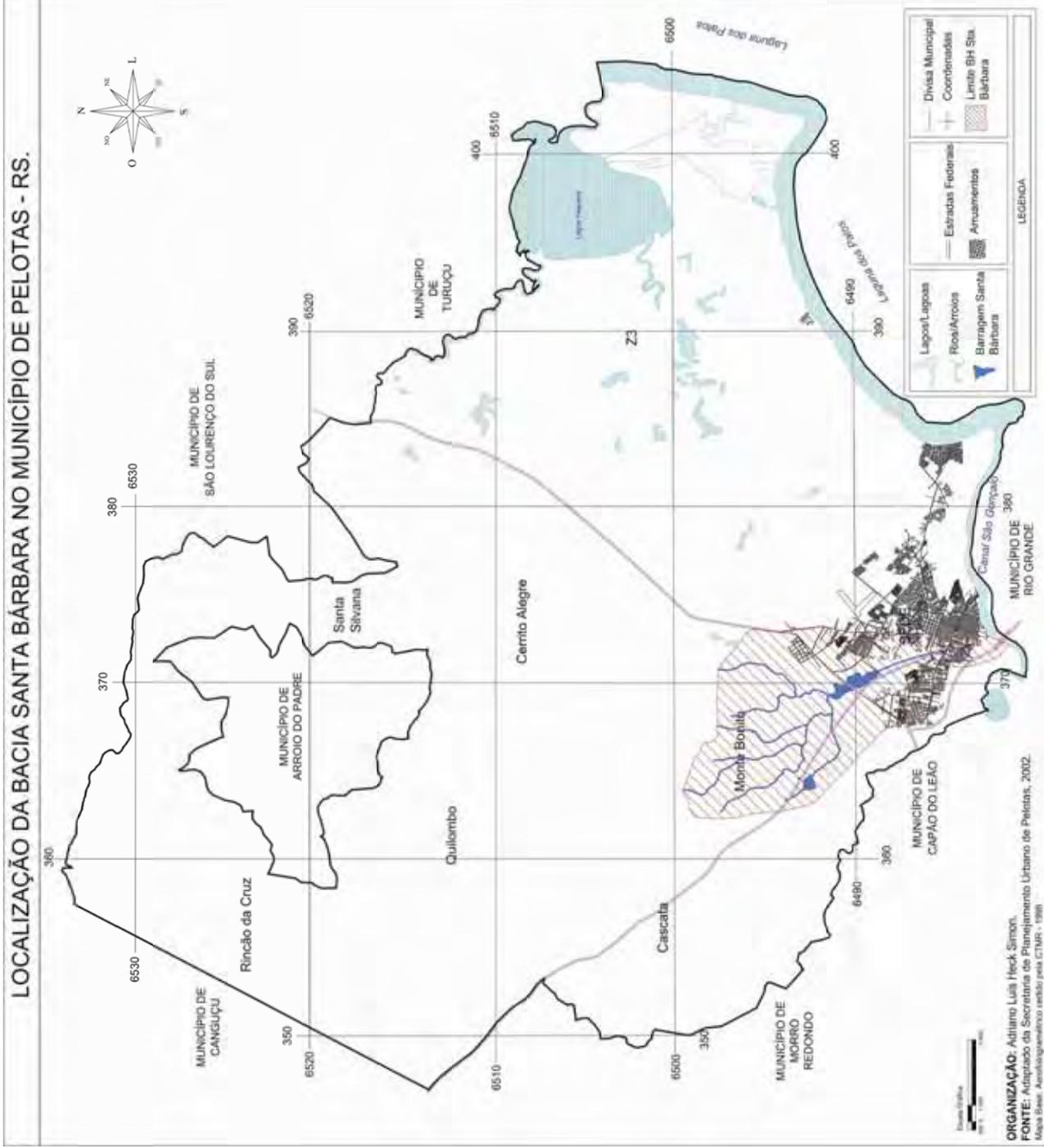


Figura 3: Localização da Bacia do Arroio Santa Bárbara no Município de Pelotas. **Fonte:** Organizado por Adriano L. H. Simon, adaptado da Secretaria de Planejamento Urbano de Pelotas (2002).

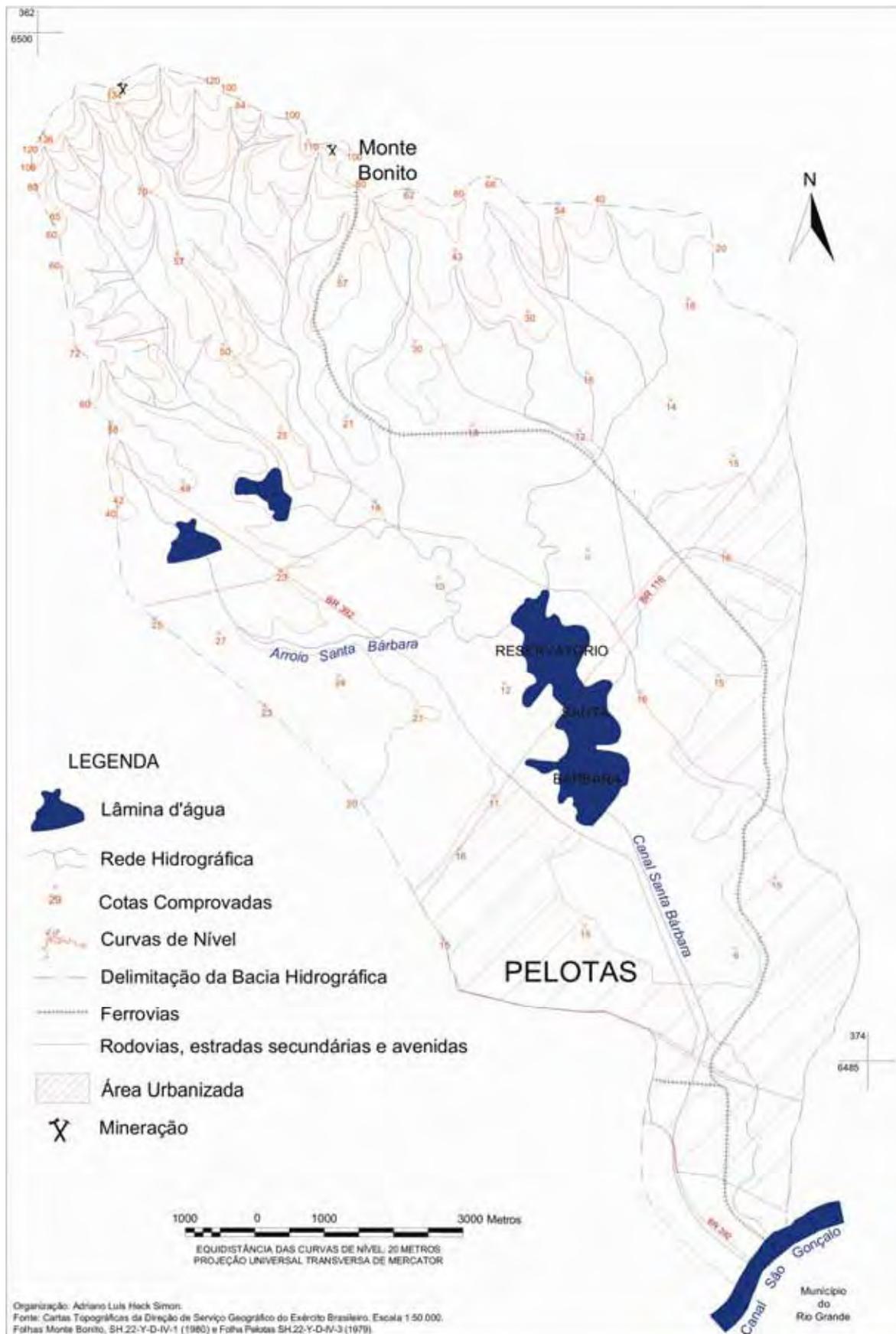


Figura 4: Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara.

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

De acordo com Philipp; Machado (2001, p. 257), o “Batólito Pelotas é um complexo plutônico, multi-intrusivo e polifásico, resultante de uma longa evolução, conseqüente da adição de distintos processos tectônicos”. Philipp et al.(2002, p. 278) explicam que “o Batólito é constituído de várias suítes, cujo magmatismo teve duração de cerca de 70 milhões de anos (entre 630 Ma e 570 Ma)”, durante o Ciclo Brasileiro, ocorrido entre o final do Proterozóico Superior e o início do período Paleozóico da era Fanerozóica (MENEGAT et al. 1998).

Dentre as suítes localizadas no Batólito Pelotas, a Suíte Pinheiro Machado concentra maior parte das litologias que ocorrem no município de Pelotas e na bacia hidrográfica em evidência. As litologias predominantes na Suíte Pinheiro Machado são caracterizadas por Granitóides, dentre eles dioritos e enclaves máficos, granito porfirítico e granodioritos equigranulares. Esse último granitóide – de acordo com os estudos de Philipp (1991), na região de Monte Bonito, em Pelotas – sobressai-se como litologia predominante no setor serrano da bacia Santa Bárbara.

As porções leste, sudoeste, central e sul da bacia Santa Bárbara possuem um tipo de embasamento geológico conhecido como Formação Graxaim, derivado dos processos de intemperismo das rochas mais resistentes do Escudo Cristalino Sul-Riograndense. Nesses terrenos ocorrem depósitos de um sistema de leques aluviais que se acumularam a partir do Terciário e foram retrabalhados nas porções distais, em ambiente marinho e lagunar, no decorrer do Quaternário (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

A Formação Graxaim ocorre, em geral, a oeste da Laguna dos Patos, na Planície Costeira Lagunar Gaúcha, entre Arroio Grande e Guaíba. Delaney (1965) explica que em Pelotas, nas proximidades com o Canal São Gonçalo, a espessura dessa formação alcança os 62 metros, enquanto que no limite oeste, já na zona de transição com o Escudo Cristalino, a profundidade situa-se em torno de 10 metros.

Trata-se de uma formação sedimentar mal consolidada, depositada na interface do Terciário com o Quaternário entre os períodos Neógeno e Holoceno, transcorrendo essa deposição do Mioceno Superior ou do Plioceno até o Pleistoceno Superior (RADAMBRASIL, 1986, p. 244). De acordo com Delaney (1965), a Formação Graxaim é “composta de areia, silte, cascalho e argila. Foi derivada de rochas graníticas e unida mecanicamente numa massa de sedimentos inconsolidados, não classificados, diferindo muito pouco da rocha-mãe”.

A referida formação abrange o conjunto de arcózios que se apresentam como principal litologia da Planície Lagunar, inclusive a litologia de fundo da Laguna dos Patos. O arcózio é uma rocha sedimentar alóctone e epiclástica, ou seja, composta por fragmentos minerais provenientes de fora da bacia de sedimentação, transportados pela ação de vários meios, como água, vento ou gelo. Possui maior concentração de sedimentos grosseiros – seixos e calhaus – em relação à matriz, sendo por isso classificada como um ortoconglomerado (SUGUIO, 2003).

A Formação Graxaim apresenta vestígios fósseis de mamíferos em suas camadas, fato esse que fez com que Delaney (1965) sugerisse que a deposição dessa formação tivesse ocorrido em um ambiente de estepe frio semi-árido.

A área fonte dos sedimentos da Formação Graxaim, teria sido submetida a condições climáticas cíclicas, de natureza úmida, alternadas com semi-áridas quentes, as primeiras com índices pluviométricos acentuados, tendo em vista a natureza química e mineralógica dos paleossolos ferralíticos que ocorrem nesta unidade. A sedimentação dos depósitos desta unidade como produto do crescimento de leques aluviais, teria condicionado um avanço da sedimentação em direção a leste, de forma que cada leito ou camada da Formação Graxaim teria recoberto os anteriores [...]. Intercalações de sedimentos marinhos nessa seqüência continental poderiam ter sido produzidas por ingressões marinhas rápidas, responsáveis por um afogamento do nível de base. (RADAMBRASIL, p. 244).

Os distintos embasamentos geológicos presentes na bacia encontram-se suscetíveis a ações diferenciadas dos elementos climáticos, dando suporte à organização de duas paisagens naturais e geográficas, que se distinguem no que tange às formas do relevo, aos solos e à cobertura vegetal. Todos esses fatores, por conseguinte, refletem na organização socioeconômica da bacia hidrográfica, diferenciando o processo de ocupação e uso dos recursos naturais.

As características climatológicas da bacia do Arroio Santa Bárbara encontram-se atreladas ao conjunto de condições atmosféricas do município de Pelotas. Predomina o clima subtropical úmido, que abrange todo o Brasil meridional na porção localizada ao sul do Trópico de Capricórnio (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2006). Segundo a classificação de Köppen, Pelotas possui um clima temperado (C), com chuvas bem distribuídas (f) e verões suaves (a), caracterizando o clima Cfa (Estação Agroclimatológica de Pelotas – Embrapa/UFPEL/INMET).

Por meio dos gráficos das Normais Climatológicas de Pelotas, (Gráficos 1a e 1b), entre os anos de 1971 e 2000, constata-se que a média total anual das precipitações é de 1.366 mm, estabelecendo-se, portanto, entre o mínimo de 823mm (1989) e o máximo de 1893mm (1997). A temperatura média anual é de 17, 8°C, concentrando-se entre a mínima média anual de 17° (1988) e a máxima média anual de 18,6°C (1977).

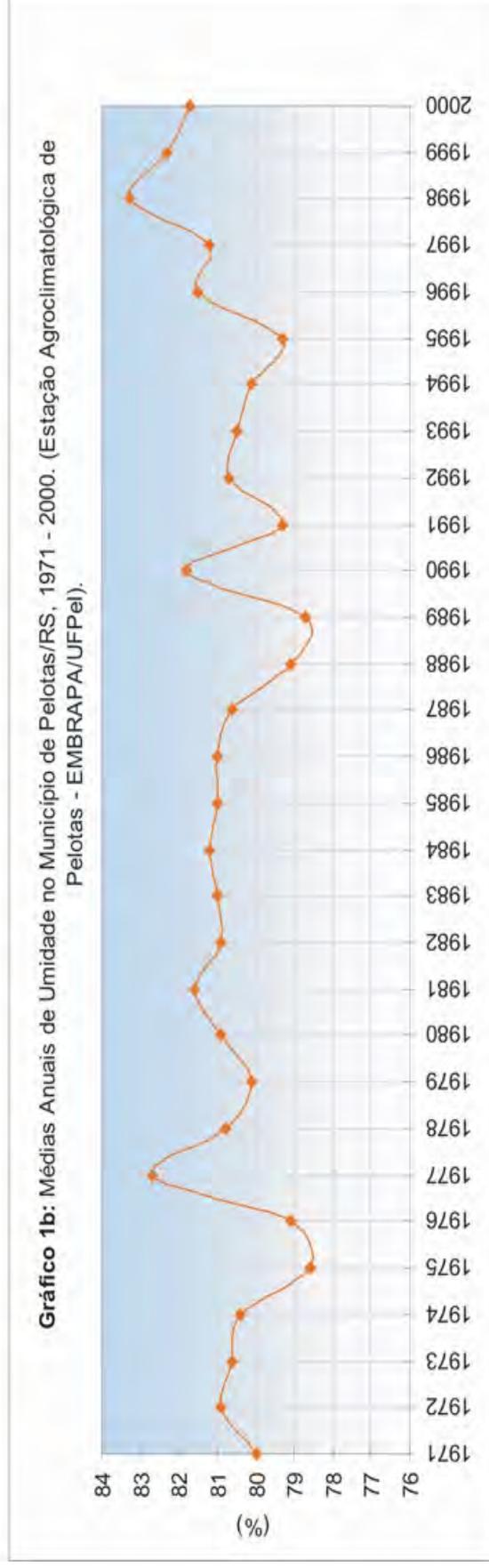
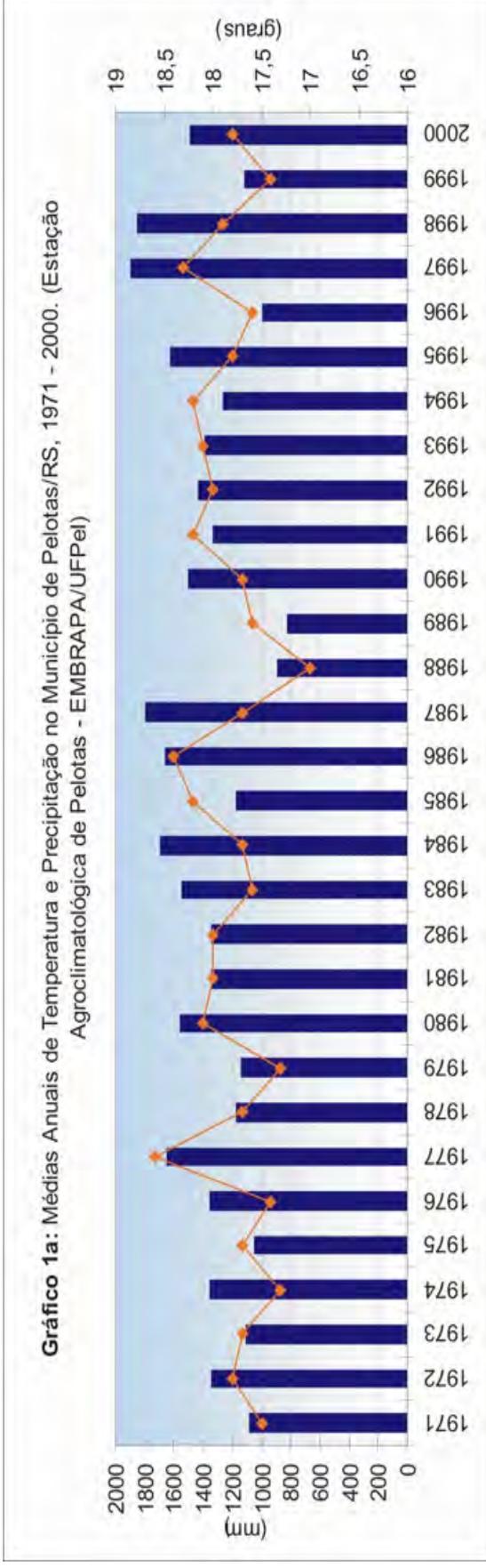
A distribuição das chuvas é eqüitativa durante o ano, conforme evidenciam os gráficos (Gráficos 2a e 2b), havendo dois períodos com maior intensidade de chuva e outros dois de menor vigor. A média mensal das precipitações em Pelotas é de 113, 9 mm, sendo os meses mais chuvosos fevereiro (153,3mm) e julho (146mm), e os menos chuvosos março (97,4mm) e novembro (99,5mm).

O Gráfico 1b evidencia ainda que as estações do ano são bem definidas. O mês de janeiro é o mais quente, apresentando média de 23,2°C. Por outro lado, o mês de julho se apresenta como o mais frio, com média de 12,3°C. Duas estações intermediárias intercalam os picos máximos e mínimos de temperatura, uma delas com médias decrescentes (março/junho) e outra com médias de temperatura crescentes (setembro/dezembro).

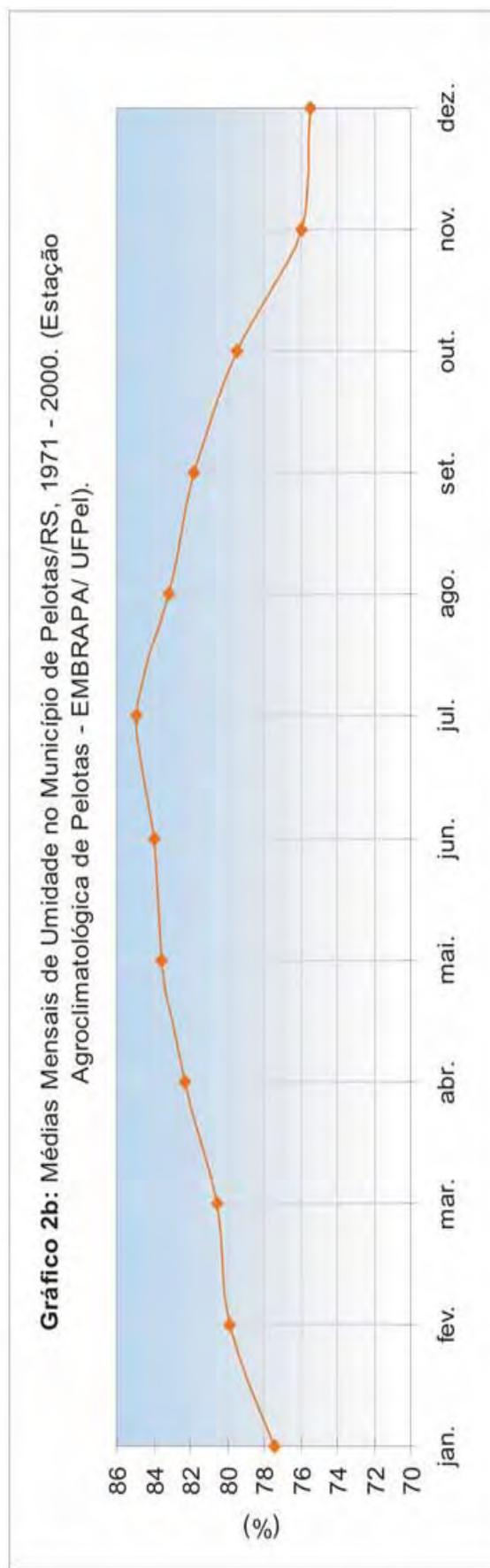
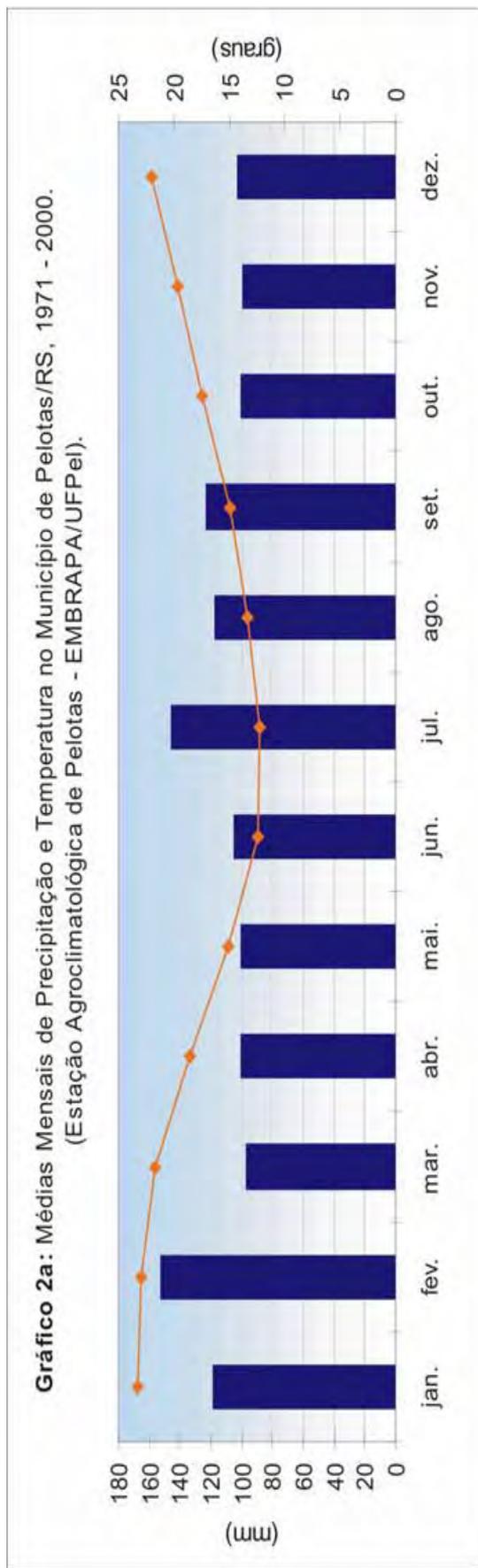
O município de Pelotas sofre forte influência marítima e lagunar, devido à proximidade com o Oceano Atlântico, a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim. Essa característica acarreta temperaturas amenas e elevada umidade atmosférica – média de 80,6% - com formação de nuvens e densos nevoeiros de maio a agosto (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2006).

Durante o ano, as médias mais elevadas de umidade relativa do ar ocorrem nos meses de junho (84%) e julho (84,9%), convergindo com os meses de elevada precipitação e de menores temperaturas. A formação de geada é comum no inverno, com maior intensidade na zona de transição da Planície Lagunar com a borda do Escudo Cristalino. O mês de junho apresenta, em média, 6,5 dias com formação de geada.

A ênfase dada às condições climáticas locais reside na importância do fator clima enquanto agente externo e, portanto, modificador das características morfológicas, que agindo por meio do intemperismo nas rochas, atua de forma decisiva no desgaste das vertentes, transporte dos sedimentos e sua deposição em áreas mais baixas.



Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.



Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

A relação entre geologia e clima define o predomínio do intemperismo químico, esculpando formas de relevo distintas tanto sobre as rochas resistentes da região serrana da bacia, quanto nas áreas de formação sedimentar. A pedogênese também se encontra inserida nesse processo, visto que é fruto da transformação do manto intempérico desencadeada por elementos climáticos.

O Quadro 2 procura realizar uma síntese da organização da paisagem natural na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, evidenciando as propostas das bibliografias utilizadas na presente caracterização.

Embasamento Geológico¹	Domínio Morfoestrutural²	Região Geomorfológica^{2a}	Unidade Geomorfológica²	Unidades Fisiográficas Locais³	Denominações Geomorfológicas Locais³	Solos^{3,4}
Suítes Intrusivas do Batólito Pelotas. Granodioritos Equigranulares (litologia predominante).	Embasamentos em Estilos Complexos (Escudo Cristalino Sul-riograndense)	Planalto Sul-riograndense	Planalto Rebaixado Marginal	Zona Alta	Colinas Cristalinas	Argissolo Vermelho-amarelo
Formação Graxaim. Arcózio (litologia predominante).	Depósitos Sedimentares (Planície Costeira)	Planície Costeira Interna	Planície Alúvio-Coluvionar	Zona de Lombadas e de Planície	Lombadas	Planossolo Eutrófico
					Planície Alta	
			Planície Lagunar	Zona Inundável	Banhados de Riachos Planície do São Gonçalo	Gleissolo Húmico Eutrófico Gleissolo Húmico Solódico
					Banhados Lacustres	Organossolo de caráter salino

Quadro 2: Organização da Paisagem Natural na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara.

Fonte: ¹ Philipp (1991), Philipp; Machado (2001), Jost; Soliani Jr. (1971), Delaney, (1965), Villwock; Tomazelli (1995); ² Radambrasil (1986); ³ Cunha; Siveira (1997); ⁴ EMBRAPA (1999).

A caracterização dos solos da bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara baseia-se nas descrições de campo e análises de laboratório realizadas por Cunha; Silveira (1997). No entanto, procurou-se adaptá-la a nova classificação dos solos do Brasil proposta pela EMBRAPA (1999).

De acordo com Cunha; Silveira (1997), o município de Pelotas pode ser dividido em unidades fisiográficas, nas quais são associadas as características pedológicas e geomorfológicas (Figura 5). Dessa forma, de acordo com a classificação proposta pelos autores citados, na bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara podem ser identificadas três regiões fisiográficas: A Zona Alta, a Zona de Lombadas e Planície, além da Zona Inundável.

A Zona Alta, localizada nas porções N, NE e NW da bacia (Figura 5), é assinalada por morfologias que possuem a denominação regional de Colinas Cristalinas (CUNHA; SILVEIRA, 1997, p. 15). O projeto RADAMBRASIL (1986), por sua vez, denomina de Planalto Rebaixado Marginal essa unidade pertencente à Região Geomorfológica das Serras do Sudeste Gaúcho, inseridas no Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos.

Trata-se de um relevo ondulado, com altitudes que variam entre 60 e 140 metros e declividades médias de 15%. Possui uma drenagem dendrítica, com rios escavando em vales de seção em V, fruto do entalhamento fluvial em rochas resistentes.

Ocorrem rupturas de declive suave dentro dessa unidade, ocasionando a formação de patamares levemente inclinados. Já em seu limite com a Zona de Lombadas e no setor onde as altitudes são menores, essas rupturas são mais abruptas possuindo de 5 a 10 metros (De LEON, 1983). As linhas de cumeada são, esporadicamente, interrompidas por colos perpendiculares ou oblíquos (RADAMBRASIL, 1986).

Predominam nessa zona solos profundos, de textura argilosa, bem a moderadamente drenados, do tipo Argissolo Vermelho-Amarelado (De LEON, 1983). A fertilidade química desse solo é variável, sendo os mais antigos menos férteis. A camada superior do solo (A) apresenta espessura geral de 30 cm, com textura média, estrutura fraca e acidez forte (CUNHA; SILVEIRA, 1997).

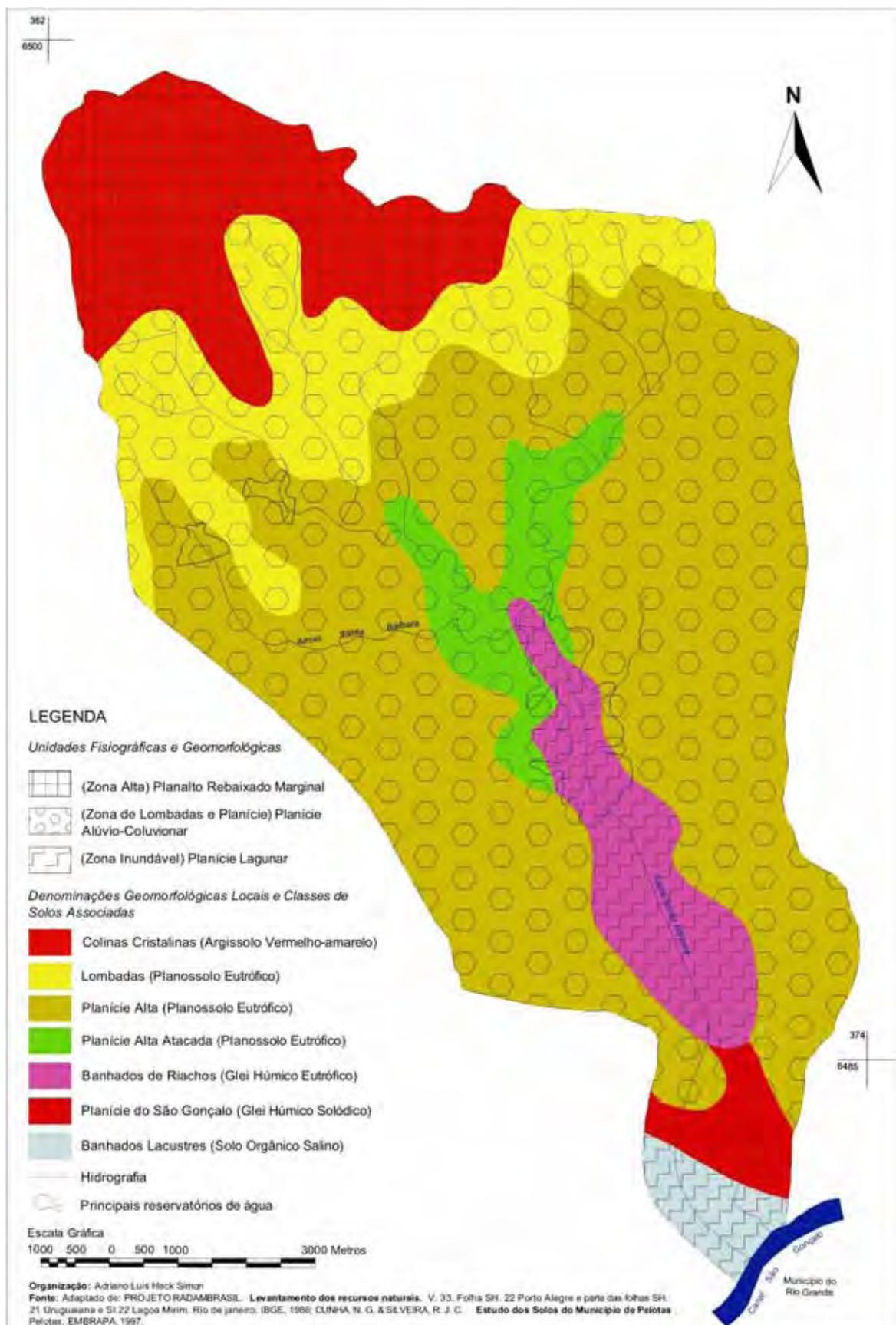


Figura 5: Unidades geomorfológicas e de solos na bacia do Arroio Santa Bárbara.

Fonte: Organizado por Adriano L. H.Simon.

Assentadas na zona central da bacia Santa Bárbara, na transição entre as litologias resistentes das Serras do Sudeste e os terrenos de relevo suave do quaternário, encontram-se a Zona de Lombadas e Planície (Figura 5). As principais unidades geomorfológicas de denominação regional inseridas nessa zona são: as Lombadas, a Planície Alta e a Planície Alta Atacada.

De acordo com o projeto RADAMBRASIL (1986), tais unidades regionais inserem-se nos limites da Unidade Geomorfológica da Planície Alúvio-Coluvionar. Essa última pertence à Região Geomorfológica da Planície Costeira Interna, abrangida, por sua vez, pelo Domínio Morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares (Figura 5).

O relevo desse setor apresenta morfologias com ondulações mais suaves a planas, em seu limite com as denominadas zonas inundáveis. A altitude varia de 15, 20 até 60 metros (De LEON, 1983). Cunha; Silveira (1997) explicam que essa superfície é muito extensa, tanto no município de Pelotas como na Bacia Santa Bárbara, compreendendo as terras dos sedimentos mais antigos do Pleistoceno.

As vertentes são alongadas e em sua maioria retilíneas, com declividades variando entre 2% e 10%. Os divisores suaves confundem-se com topos planos. As rupturas topográficas são suaves em sua totalidade, porém mais abruptas do que aquelas encontradas na Zona Alta e possuem de 1 a 5 metros. Ocorrem com frequência na divisa com os depósitos aluviais (De LEON, 1983).

O solo predominante nessa região é o Planossolo Eutrófico que, de acordo com o RADAMBRASIL (1986), é típico de áreas baixas onde o relevo permite excesso de água permanente ou temporário. Em geral, são solos mal ou imperfeitamente drenados com acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (CUNHA; SILVEIRA, 1997).

Por fim, situada na porção centro-sul da bacia Santa Bárbara, encontra-se a Zona Inundável, formada pelas unidades geomorfológicas de denominação regional: Banhados de Riachos, Planície do São Gonçalo e Banhados Lacustres (Figura 5). A denominação “Zona Inundável” é aplicada às terras situadas sobre sedimentos holocênicos que estão temporária ou permanentemente inundadas por água de arroios ou lagoas.

O Projeto RADAMBRASIL (1986) integra essas denominações geomorfológicas regionais na Unidade Geomorfológica da Planície Lagunar. Tal unidade, por sua vez, é agregada à Região Geomorfológica da Planície Costeira Interna que pertence ao Domínio Morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares.

A morfologia dessa zona é caracterizada por superfícies aplainadas e homogêneas, pouco inclinadas, com altitudes que não ultrapassam os 10m (De LEON, 1986). A rede hidrográfica é encaixada na zona de terraços, dissecando a mesma e formando reentrâncias características de processos erosivos.

Nos depósitos areno-argilosos mal drenados, localizados na porção central da Zona Inundável, é comum a existência de áreas de banhado que vêm sofrendo gradual aterramento devido à expansão urbana. A porção extremo sul da bacia Santa Bárbara é constituída por depósitos flúvio-lacustres oriundos do processo de colmatagem da Lagoa Mirim que originaram o Canal São Gonçalo.

Os solos característicos dessa zona são: o Gleissolo Húmico Eutrófico, nos Banhados de Riachos; o Gleissolo Húmico Solódico, na Planície do São Gonçalo; e o Organossolo de caráter Salino, nos Banhados Lacustres Inundados (CUNHA; SILVEIRA, 1997).

A cobertura vegetal, intensamente descaracterizada pelo processo de ocupação, resulta da localização da bacia em uma área de transição entre a serra e o litoral, podendo-se encontrar áreas de banhado, campos e pastagens, além da mata subtropical arbustiva. De acordo com TAGLIANI (2003, p. 1464), dentre as regiões fitoecológicas identificadas no projeto RADAMBRASIL (1986) para o estado do Rio Grande do Sul, estão presentes na área de estudo porções da Região de Savana e da Região da Floresta Estacional Semidecidual, que ocupam áreas da vertente leste do Escudo Cristalino, além da área das formações pioneiras na Planície Costeira.

A caracterização geográfica do sistema em estudo possibilita a compreensão da organização espacial desencadeada, uma vez que revela aspectos do sistema socioeconômico, a partir das características dos processos de ocupação, dentro de um contexto regional e local, bem como suas relações de apropriação e intervenção nos elementos do sistema ambiental. Uma vez reconhecidas as características geográficas da área de pesquisa, torna-se importante assumir um posicionamento teórico-metodológico que permita uma visão de integração dos elementos do sistema e que conceda, juntamente com a aplicação de técnicas de pesquisa, respaldo para a análise conjunta dos dados que indicam as alterações derivadas do controle antrópico sobre o sistema ambiental.

Desta forma, a seguir são apresentados a orientação metodológica adotada e as técnicas aplicadas para obtenção e análise das informações que permitiram verificar as alterações no sistema caracterizado neste capítulo.

4 MÉTODO E TÉCNICAS

4.1 Método

4.1.1 A Abordagem Sistêmica na Geografia

Para atender aos objetivos propostos na presente pesquisa foram realizadas as abordagens direta e indireta da bacia do Arroio Santa Bárbara. A primeira abordagem diz respeito ao reconhecimento das características locais por meio da realização de atividades de campo, essenciais para a compreensão dos processos que desencadeiam perturbações na circulação de energia e matéria no sistema em questão, contribuindo assim para alterações em sua estrutura. A segunda abordagem caracteriza-se pelo levantamento de documentos bibliográficos e cartográficos da área, que possibilitaram a elaboração dos mapas necessários a identificação e análise da dinâmica do uso da terra, além das alterações impostas à morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara. A pesquisa bibliográfica também concede respaldo às discussões sobre o método científico que permeia a investigação.

De acordo com Tricart (1977, p.19),

[...] o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, dinâmico, e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação – o que não é o caso de um inventário, por natureza estático.

Existem diversos conceitos que procuram explicar o sentido e o significado da palavra sistema. Todas essas tentativas encontram-se atreladas a períodos históricos distintos e possuem importância na consolidação desse paradigma. Souza (2001) explica que, apesar das generalizações e especificidades, todas as definições apresentam a *inter-relação* como essência que norteia a concepção de sistema.

Assim, algumas definições podem ser evidenciadas, como a de Seassure (1931, citado por Morin, 1977, p. 99), que conceitua os sistemas como uma “totalidade organizada feita de elementos solidários, que só podem definir-se uns em relação aos outros em função do lugar que ocupam nessa totalidade”. Chorley; Kennedy (1971, p. 1) explicam que um “sistema é um conjunto estruturado de objetos e atributos”. Esses objetos e atributos são constituídos de componentes ou variáveis, ou seja, fenômenos passíveis de assumir magnitudes variáveis, de acordo com determinado padrão, e que exibem relações discerníveis uns com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo. Christofolletti (1979, 1999) conceitua o termo sistema como uma unidade integradora, representada pelo conjunto organizado de elementos com inúmeras relações de diversos níveis hierárquicos entre seus atributos.

Gregory (1992) explica que o conceito de sistema não é novo, visto que Newton, no século XV, já havia efetuado descrições sobre o Sistema Solar, e a ciência biológica vem, há tempos, demonstrando sua preocupação com o estudo dos sistemas vivos (organismos). Vicente; Perez Filho (2003, p. 329) apontam para o fato de que “diversos pensadores utilizaram-se do pensamento sistêmico diante de questões não respondidas pela ordem científica estabelecida pelo paradigma cartesiano”, destacando Leibniz, Nicolau de Cusa, Vico e Ibn-Kaldum como exemplos de filósofos que procuraram explicações sistêmicas diante do nível de complexidade assumido por determinadas observações ou constatações efetuadas em seus estudos.

A Teoria Geral dos Sistemas teve seus princípios desenvolvidos em 1929 por R. Defay, os quais foram aplicados primeiramente à Termodinâmica. Posteriormente, a partir

de 1936, essa base filosófica foi empregada à Biologia pelo húngaro Ludwig Von Bertalanfy que em 1973, em sua obra *Teoria Geral dos Sistemas*, definiu-os como sendo “um conjunto de elementos em interação”. Bertalanfy (1973, citado por Gregory, 1992) destacou ainda três aspectos básicos envolvidos no estudo dos sistemas: o primeiro estaria ligado à *ciência dos sistemas*, que se aplica ao estudo da inserção da investigação sistêmica nas demais ciências; o segundo envolve a *tecnologia de sistemas*, voltada para as operações computacionais; e o terceiro ponto, de fundamental importância, está atrelado à *filosofia dos sistemas* que

Envolve a reorientação do pensamento científico e da visão de mundo como resultado do advento dos sistemas como um novo paradigma científico, geralmente definido como: (1) um conjunto de elementos com características variáveis; (2) as relações entre as características dos elementos; (3) as relações entre o meio ambiente e as características dos elementos (GREGORY, 1992, p. 229).

O eixo norteador dessa concepção seria o de desenvolver uma teoria de caráter geral, de modo que pudesse ser aplicada a fenômenos que ocorrem em uma diversidade de campos específicos do conhecimento. Da mesma forma, como sua aplicação é passível de percorrer os diversos ramos do conhecimento científico, as análises sob a égide dessa teoria possibilitariam a união de informações oriundas de várias especialidades, uma vez que a abordagem sistêmica agrega, por meio de seu vocabulário universal, distintos ramos do conhecimento.

Na Geografia, Christofolletti (1978) ressalta que a aplicação dessa teoria já era encontrada em trabalhos publicados nos anos de 1950 e 1952 por Strahler e Richard J. Chorley, respectivamente. O autor citado foi um dos grandes responsáveis pela difusão da abordagem sistêmica na geografia brasileira, discutindo temas que envolvem a aplicação dessa teoria na Geografia (CHRISTOFOLETTI, 1971, 1978, 1979, 1983), além de sua inserção em estudos da geografia física, sobretudo em geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 1986-1987, 1990, 1999).

Stoddart (1967, citado por Gregory, 1992, p. 217) é enfático ao expor que “a análise sistêmica ofereceu à Geografia uma metodologia unificadora, e, utilizando-a, esta ciência não mais permaneceria à margem do fluxo do progresso científico”. Christofolletti (1979) afirma que a aplicação da teoria sistêmica aos estudos geográficos serviu para melhor focalizar as pesquisas e delinear com maior exatidão o setor de estudo dessa

ciência, além de propiciar oportunidade para reconsiderações críticas de muitos dos seus conceitos. De acordo com Vicente; Perez Filho,

o Pensamento Sistêmico na Geografia insere-se na própria necessidade de reflexão sobre a apreensão analítica do complexo ambiental, através da evolução e interação de seus componentes sócio-econômicos e naturais no conjunto de sua organização espaço-temporal, sendo que nesse contexto surgem as propostas de cunho sistêmico e sua fundamentação integrada de abordagem do objeto de estudo, e do entendimento do todo (sistema) e de sua inerente complexidade. (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003, p. 335).

Gregory (1992, p. 218) explica que a abordagem sistêmica foi adotada sucessivamente pela Biogeografia, Geografia dos Solos, Climatologia e Geomorfologia, possuindo, portanto, maior inserção em estudos da Geografia Física, e abrangendo, posteriormente, investigações atreladas às perspectivas da Geografia Humana. O autor citado explica ainda que esse processo de adoção estendeu-se por 35 anos, entre 1935 e 1970, quando Chorley; Kennedy (1971) publicam a primeira versão de *Physical Geography: a systems approach*. Essa publicação oportunizou a maior divulgação da aplicação da abordagem sistêmica na Geografia Física, possibilitando a adoção desse referencial teórico por muitos pesquisadores.

A abordagem sistêmica aplicada à Geografia Física congregou estudos que até então mantinham certa distância no que tange a relação dos elementos do sistema ambiental, confluindo para investigações que buscaram a análise dos processos na unidade do meio físico. “A perspectiva sistêmica certamente retardou ou talvez reverteu a tendência para a especialização e separação nos ramos da geografia física, uns dos outros, e da geografia humana” (GREGORY, 1992, p. 237).

Existem diferentes tipos de sistemas compreensíveis e passíveis de análise na ciência. Chorley; Kennedy (1971), Gregory (1992) e Christofolletti (1979 e 1999) explicam que os sistemas podem ser estudados de acordo com vários critérios, entretanto, a complexidade estrutural e funcional sobressaem-se nos estudos geográficos por permitirem maiores aproximações com as organizações espaciais que se colocam como objeto de estudo da Ciência Geográfica. Assim, o Quadro 3 propõe a esquematização explicativa dos dois critérios de análise dos sistemas de maior importância para a Geografia, ressaltando seus conceitos e características.

Critério de Classificação	Tipos e subtipos		Características	
Complexidade estrutural	Morfológico “complexo primário das estruturas ambientais” (CHORLEY & KENNEDY, 1971, p. 23); (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 6); parte operacional reconhecível da realidade física (GREGORY, 1992, p. 225)		Relações estáticas entre os elementos.	
	Em cascata análise dos fluxos de matéria e energia, “identificam as relações entre formas e processos, caracterizando a globalização do sistema” (SOUZA, 2001, p. 24)	Caixa preta sistema único, sem conhecimento de seus mecanismos internos, a análise volta-se apenas para as entradas e saídas desse sistema.	Contém ligações ao longo das quais a energia passa de um elemento para outro.	
		Caixa cinza "Envolve o conhecimento parcial do funcionamento do sistema, focalizando número limitado de sub-sistemas e sem considerar as operações internas" (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 6).		
		Caixa branca “conhecimento claro e detalhado de como a organização interna do sistema funciona a fim de transformar um input em output” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 6)		
	Processo-resposta “formados pela inter-relação de sistemas morfológicos e em cascata, envolvendo a seção sobre os processos e sobre as formas resultantes” (GREGORY, 1992, p. 226).	De ação simples (ou unidirecionais)	Negativo	São caracterizados pelos estudos dos efeitos dos elementos interligados uns aos outros, e pelos (re) ajustes decorrentes de mecanismos de controle e retroalimentação .
De feed back	Positivo			
Sistemas controlados Sistema em que “a inteligência, controlada por forças antrópicas , pode intervir para produzir mudanças operacionais na distribuição da energia e massa” (GREGORY, 1992, p. 226, grifo nosso).				
Funcional	Isolado “não comporta trocas materiais e energéticas com o exterior” (SOUZA, 2001, p. 24).		Referem-se às quantidades e características dos sistemas no que tange sua relação com o universo onde estão inseridos.	
	Não-isolado “mantém relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 14).	Fechado “quando há permuta (recebimento e perda) de energia, mas não de matéria” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 14)		
		Aberto “sistemas mais comuns, nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria, recebimentos e perdas” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 15).		

Quadro 3: Critérios de classificação e tipologia dos sistemas.**Fonte:** Adaptado de Souza (2001).

Diante das propriedades funcionais, evidenciadas pelo Quadro 3, é possível constatar que os sistemas abertos apresentam maior aproximação com os objetivos das investigações geográficas, pois abrangem grande parte dos sistemas existentes na natureza e também os desenvolvidos e mantidos pelas atividades socioeconômicas. A partir da análise das transformações operadas sobre as entradas e saídas de energia e matéria dos sistemas abertos, torna-se possível evidenciar características de seu funcionamento.

Christofolletti (1979) considera as bacias hidrográficas como um dos sistemas abertos básicos em que ocorre a inter-relação dos elementos por meio da entrada de energia e matéria, que condiciona transformações, gerando assim um produto. Os atributos de cada um dos elementos desse sistema responsabilizam-se pela transformação das entradas – em atividades distintas e/ou conjuntas – encontrando-se em ocasiões de equilíbrio e em momentos extremos quando o fluxo de energia varia para mais ou para menos, condicionando as unidades a modificações em sua combinação e organização.

Chorley (1971) evidencia o valor dos sistemas abertos em análises geográficas, principalmente na Geomorfologia, explicando que os mesmos acentuam a ênfase no reconhecimento do ajustamento entre as formas e os processos. O autor citado afirma ainda que o pensamento em sistema aberto “permite uma visão mais liberal das mudanças das formas com o tempo [...] e dirige a atenção para a heterogeneidade das organizações espaciais” (p. 18,19).

Hanwell; Newson (1973) explicam que a abordagem em sistemas abertos representa uma atenção especial para as relações ambientais do sistema em estudo, principalmente sob o ponto de vista dos fluxos de matéria e energia pelos elementos. Os autores citados expressam ainda que “a abordagem em sistemas abertos possui valor demonstrável na resolução de problemas ligados à população, recursos naturais e poluição” (HANWELL; NEWSON, 1973, p. 2).

No que tange às características estruturais dos sistemas, demonstradas no Quadro 3, pode-se conferir aos sistemas processo-resposta a viabilidade potencial para a análise sistêmica geográfica, pois esses, enquanto sistemas abertos, encontram-se continuamente recebendo, articulando, armazenando e eliminando/compartilhando matéria e energia. Os diversos níveis de força aplicados e comportados pelo sistema conduzem a organização dos atributos dos elementos do mesmo, condicionando transformações na sua estrutura, que se (re)ajustam ao longo do tempo, e determinando as variações que vão ocorrer em sistemas adjacentes, de escala hierárquica equivalente ou inferior.

Não se trata de subtrair a importância dos outros dois tipos de sistema - morfológico e em cascata - que são minuciosamente descritos e instigados à aplicação nos estudos de Chorley; Kennedy (1971) e Christofolletti (1979, 1999); entretanto, os sistemas processo-resposta possuem maior aproximação com as análises ambientais que presumem a interação das formas e processos, ambientais ou antrópicos.

Chorley; Kennedy (1971) explicam que a principal característica do sistema processo-resposta que o sobrepõe aos outros tipos de sistema diz respeito aos circuitos de retroalimentação negativa (*negative feedback*) apresentados por ele. Christofolletti (1979, p. 21,22) explica que a retroalimentação pode ser caracterizada como um “desencadeamento de ações que assinalam a dependência dos fatos, de forma que o evento desencadeado por um acontecimento gera uma seqüência de fenômenos cujas conseqüências voltam a atuar no objeto ou fato inicial”.

Os sistemas envolvidos por circuitos de retroalimentação negativa, ainda de acordo com Christofolletti (1979), podem ser considerados homeostáticos, ou seja, mantêm um equilíbrio constante, porém não estável, pois modificam continuamente suas características após impulsos que alteram a posição de seus elementos. Dessa forma, no sistema processo-resposta, as mudanças ocorridas na entrada de matéria e energia do sistema em cascata originam transformações no sistema morfológico, criando, por sua vez, variações diferenciadas no sistema em cascata e produzindo, conseqüentemente, um novo estado de equilíbrio dinâmico.

Chorley; Kennedy (1971) destacam também que os sistemas processo-resposta englobam três importantes princípios: (1) as operações do sistema são controladas pela magnitude e freqüência dos *inputs* sobre as cascatas; (2) os ciclos de retroalimentação operam tanto na criação de um equilíbrio entre as variáveis do sistema morfológico quanto no estado de equilíbrio dos processos no sistema em cascata; e (3) mudanças progressivas podem ocorrer na estrutura e na operação dos sistemas se ocorrerem transformações nas entradas, ou se algumas degradações internas do sistema surgirem como resultado da operação continuada de seus elementos perante eventos não usuais.

Os sistemas processo-resposta obedecem a flutuações de ordem natural na entrada, na armazenagem e na saída de matéria e energia que estabelecem o equilíbrio dos processos na manutenção e nas alterações em sua estrutura. A ação antrópica sobre os sistemas processo-resposta desencadeia uma série de alterações nesse equilíbrio, passando

a regular e a alterar os ciclos naturais, originando os sistemas controlados (CHRISTOFOLETTI, 1979).

De acordo com Chorley; Kennedy (1971) e Christofolletti (1999), os sistemas controlados possuem a particularidade de conter “válvulas” ou “chaves”, que desempenham um papel inteligente a partir de intervenções efetivas sobre os sistemas processo-resposta, as quais causam mudanças operacionais na distribuição de matéria e energia no sistema por meio de seu funcionamento, dependendo da graduação de sua aplicação na condução desses processos. Essas válvulas ocupam pontos estratégicos dentro dos sistemas, sendo capazes de desencadear mudanças funcionais nos atributos e nos elementos, demonstrando assim seu caráter de importância na análise das relações entre o sistema ambiental e o socioeconômico.

Dessa forma, de acordo com Chorley; Kennedy (1971, p. 309), “áreas agropastoris e grandes complexos urbanos exercem consideráveis modificações sobre os sistemas atmosféricos, geomorfológicos, hidrográficos e sobre a cobertura vegetal original”. Christofolletti (1999, p. 131) explica que as atividades socioeconômicas ocasionam mudanças na morfologia e nos processos dos sistemas ambientais e que as repercussões dessas atividades “incidem em modificações na superfície da terra, que se processam em ritmos variados ao longo dos tempos históricos, estando atreladas aos vários estágios de desenvolvimento técnico e científico das atividades humanas”.

4.1.2 O Sistema Ambiental: conceitos, características e dinâmica evolutiva

O geógrafo Antônio Christofolletti, em suas investigações e publicações sobre a utilização da abordagem sistêmica em Geografia, enfatizou as organizações espaciais como objeto de estudo da referida ciência (CHRISTOFOLETTI, 1978, 1983, 1986-1987, 1990 e 1999). Abler et al. (1971) também evidenciaram uma série de preocupações com o tratamento dos dados espaciais por parte dos geógrafos, destacando questões filosóficas que apontam as organizações espaciais como a realidade pertinente das investigações geográficas. Além dos autores citados, Chorley; Kennedy (1971), Chorley (1971) e Gregory (1992) também compactuaram com esse paradigma.

As organizações espaciais pressupõem um arranjo de formas e articulações que possuem uma herança histórica e assumem um comportamento dinâmico diante de sua característica principal, que é o entrosamento e a ordem dos elementos que a compõem. Sua expressão é areal, materializável em panoramas paisagísticos que são perceptíveis na

superfície terrestre, sendo passíveis de mapeamento, análise e descrição (CHRISTOFOLETTI, 1990). A análise das organizações espaciais, no escopo da ciência geográfica, engloba os elementos biofísicos, sociais e econômicos, que se articulam e organizam-se, constituindo estruturas complexas.

Christofoletti (1999) explica que, sob a ótica sistêmica, as organizações espaciais podem ser compreendidas como a inter-relação do sistema ambiental e do sistema socioeconômico. O autor citado explica ainda que o estudo do primeiro encontra-se atrelado à Geografia Física, enquanto o segundo participa das análises da Geografia Humana. Ressalta-se que essas distinções nos estudos ocorrem com o intuito de agregar funções aos diferentes ramos da ciência geográfica, e que a relação entre os dois sistemas é sempre vista como fundamental.

Christofoletti (1999) explica que os sistemas ambientais abrangem as características biogeofísicas das organizações espaciais, compreendendo as formas do relevo, os tipos de solo, a cobertura vegetal e os recursos hídricos, todos espacialmente materializáveis. O clima também é elemento do sistema ambiental e, embora não materializável, sua atuação é de suma importância, pois contribui, por intermédio da dinâmica atmosférica, no fornecimento de matéria e energia que dão vigor ao sistema ambiental. A geodinâmica, correspondente à estrutura geológica, participa igualmente no fornecimento de energia e matéria ao sistema, uma vez que condiciona as características topográficas e edáficas por meio de seus mecanismos morfogenéticos. A Figura 6, adaptada de Drew (1986), apresenta a interconexão dos grandes conjuntos do sistema ambiental.

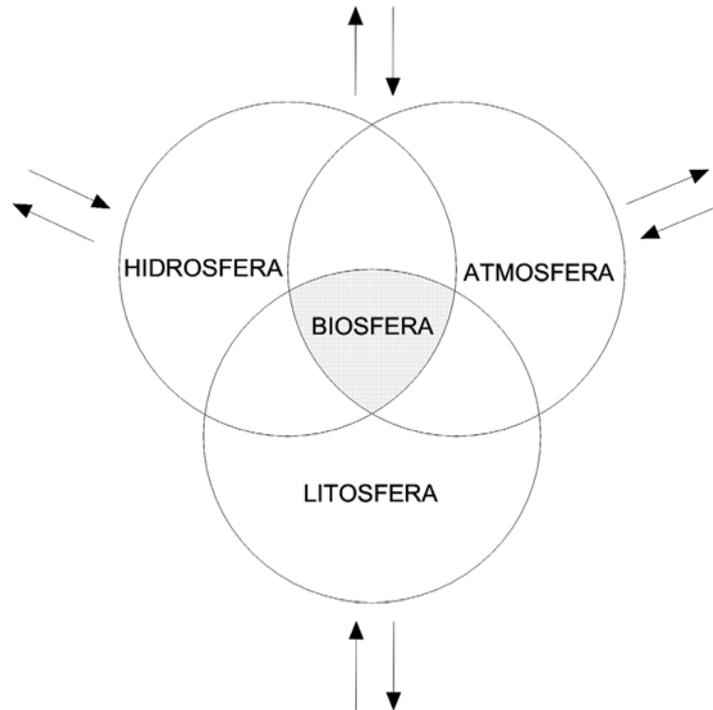


Figura 6: Interconexão dos grandes conjuntos do Sistema Ambiental.

Fonte: Adaptado de Drew (1986).

Dessa forma, entende-se, para esta pesquisa, que os sistemas ambientais correspondem a sistemas abertos de processo-resposta, ajustados por forças impulsionadoras de ordem natural, que mantêm as flutuações na entrada e na saída de matéria e energia, promovendo manutenção e alterações temporais na estrutura do sistema a partir de transformações nos processos, seguindo ritmos naturais. A intervenção antrópica sobre o sistema ambiental, a partir do avanço das técnicas de apropriação dos elementos naturais, efetivou a imposição de mecanismos externos (não-naturais) ao sistema ambiental. Essas regras são capazes de atuar nos funcionamentos da estrutura e dos processos do sistema ambiental, por meio da imposição de dispositivos que determinam o fluxo de matéria e energia, regulando as relações dos atributos dos elementos e, conseqüentemente, sua morfologia.

Os mecanismos de controle abrangem as características de uso da terra rural e urbano-industrial, bem como as técnicas aplicadas no aperfeiçoamento dessas atividades. Tais forças, atuando sobre as entradas de matéria e energia no sistema, interferem nas características de equilíbrio dinâmico no qual se encontram todos os sistemas abertos de processo-resposta e, logicamente, o sistema ambiental, contribuindo desse modo para

transformações nos fluxos e nas formas. Nesse contexto, torna-se possível compreender as alterações na morfohidrografia da bacia Santa Bárbara, pois ao longo do tempo foram sendo introduzidos mecanismos de controle antrópico cada vez mais sofisticados e intensos sobre os elementos do sistema ambiental. Esses mecanismos aceleraram, retardaram ou anularam certos processos naturais, determinando regras artificiais que desencadearam uma série de alterações sobre a morfologia original do sistema.

A Figura 7 esquematiza a característica de equilíbrio dinâmico assumido pelos sistemas abertos e pode ser comparada ao sistema ambiental. A partir dessa figura, é possível analisar vários condicionantes que interferem na dinâmica evolutiva desses sistemas, evidenciando as repercussões de interferências naturais e/ou antrópicas nos fluxos de matéria e energia pelo sistema através do tempo.

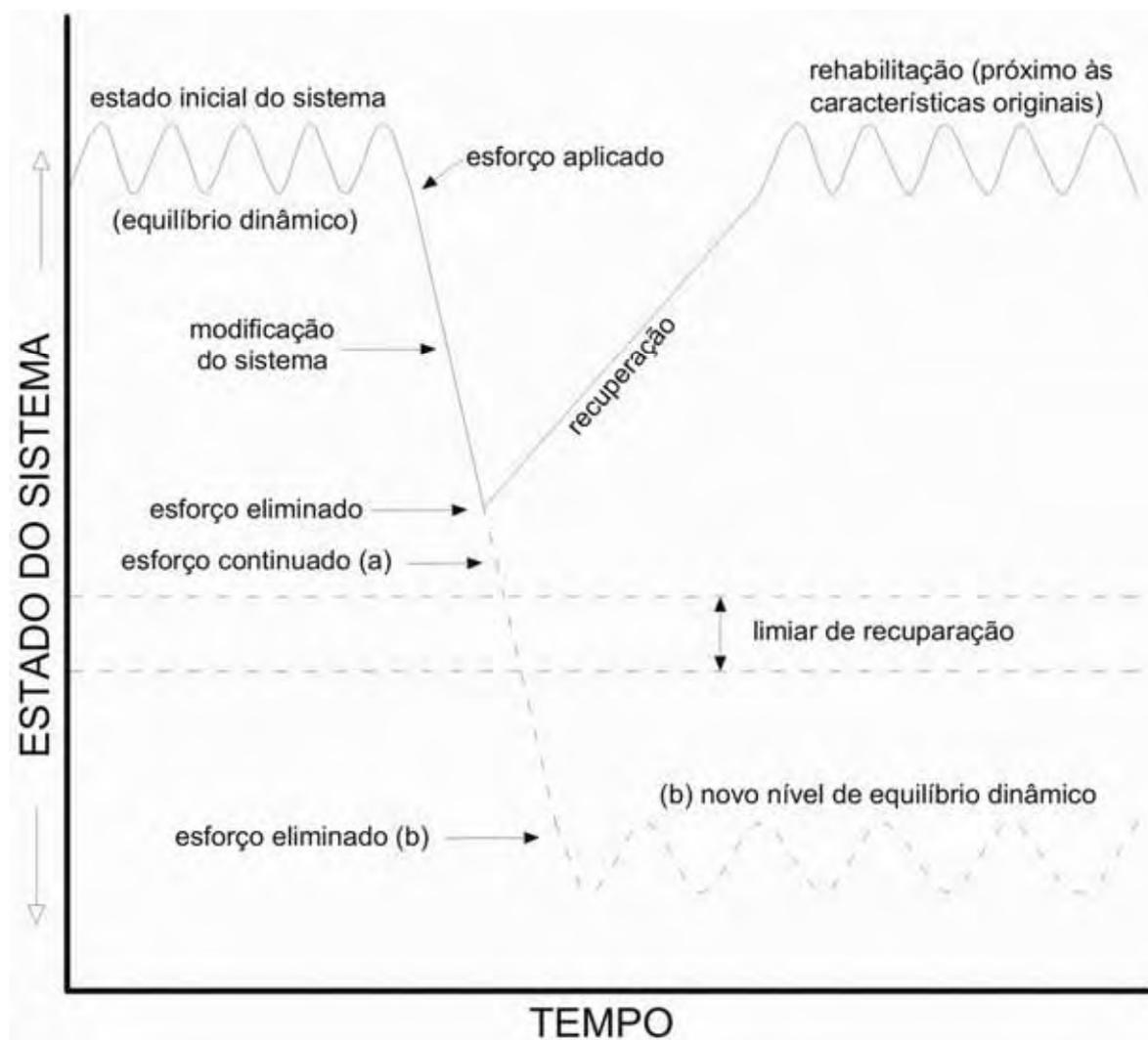


Figura 7: Reação do Sistema Ambiental perante um esforço ou tensão que lhe é imposto.
Fonte: Adaptado de DREW (1986, p. 20).

O recebimento de matéria e energia pelo sistema é denominado de *Input* (CHRISTOFOLETTI, 1979). Essa entrada é responsável pelo estado do sistema durante o tempo (Figura 7), uma vez que percorre os elementos do mesmo, sendo processada pelos seus atributos que se relacionam entre si no compartilhamento dos fluxos. Como em todo sistema aberto, as cargas de energia e matéria recebidas são eliminadas após serem transformadas pelos atributos dos elementos, sendo que uma parte desses fluxos também permanece armazenada. A eliminação desse produto pelo sistema é denominada de *Output*.

A quantidade de energia recebida pelo sistema determina o seu grau de entropia. De acordo com Christofolletti (1979, p. 12) “a entropia pode ser considerada como medida do grau de desordenação que permanece no sistema, ou do grau de energia disponível para o trabalho, estando em relação inversa a ela: quanto maior a entropia, menor a quantidade de energia disponível”.

Nos sistemas isolados existe uma tendência para o aumento da entropia, ou seja, para a ordenação máxima da energia e matéria que circulam pelo sistema, diante de sua característica de não receber mais fluxos externos contínuos que estimulem seu trabalho – a não ser por um período de tempo. Assim, um *equilíbrio estático* é assumido por esse tipo de sistema, sendo que as forças apresentam um caráter de inércia com o tempo, devido ao máximo grau de ordenação alcançado.

Já nos sistemas não-isolados abertos, como os sistemas ambientais, os *Inputs* são constantes e apresentam magnitudes que variam de acordo com a intensidade dos fenômenos responsáveis pelo fornecimento de matéria e energia. O equilíbrio estático, característico da fase final de ordenação dos sistemas isolados, não ocorre em sistemas que possuem entradas contínuas. Dessa forma, o sistema ambiental tende a organizar-se em um estado de equilíbrio estacionário, ou *equilíbrio dinâmico* (Figura 7), que permite o ajustamento dos atributos de seus elementos a determinados níveis de entrada de matéria e energia (CHORLEY; KENNEDY, 1971; CHORLEY, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1979, 1999; GREGORY, 1992).

Qualquer esforço aplicado sobre esse sistema (Figura 7), resultante do aumento ou diminuição na magnitude dos *Inputs*, provoca o reajustamento de seus elementos e de seus atributos, a fim de equilibrar-se às novas características impostas, sempre permanecendo dentro dos limites de seu equilíbrio dinâmico. Porém, a aplicação intensa de certa força pode aproximar-se da capacidade de manutenção das características iniciais do sistema, podendo atingir e/ou ultrapassar seu *limiar* de recuperação. Esse limiar (Figura 7)

corresponde ao ajustamento dos atributos e dos elementos a partir do qual o sistema tende a estabelecer um equilíbrio dinâmico imediatamente superior ou inferior, sendo regido por outras propriedades atreladas a disfunções na entrada de matéria e energia, condicionada, por sua vez, por interferências naturais e/ou antrópicas (DREW, 1986).

O rompimento desse limiar encontra-se ligado à resistência e à resiliência do sistema diante das forças aplicadas na modificação de sua estabilidade. A *resistência* refere-se à capacidade do sistema em permanecer no seu estado de equilíbrio dinâmico sem sofrer os efeitos das forças modificadoras. Quando as forças aplicadas promovem o rompimento da resistência, o sistema aproxima-se de seu limiar de recuperação. Se antes de atingir esse ponto as forças forem cessadas, o sistema tenderá a voltar ao seu estado de equilíbrio dinâmico, restaurando suas características originais e demonstrando assim sua *resiliência*, ou seja, sua capacidade de recuperação diante de eventos extremos (DREW, 1986) (Figura 7).

Quando o esforço aplicado é contínuo, rompendo a capacidade de resistência e ultrapassando o limiar de recuperação, o sistema tende a ajustar-se diante das novas características impostas, atingindo um novo estado de equilíbrio dinâmico, no qual comporta todas as variáveis da Figura 7, porém, adaptadas a outras condições. De acordo com Christofolletti (1999), os conceitos de resistência e resiliência são muito importantes para os cientistas e para os planejadores e responsáveis pelo manejo de sistemas ambientais, a fim de analisar e avaliar a estabilidade dos sistemas em termos de sua manutenção ou de sua rápida recuperação após a implantação dos efeitos perturbadores, assinalando o caráter temporário e reversível do impacto ambiental ou antropogênico.

O autor citado destaca ainda que nos sistemas ambientais as alterações que afetam a resistência e a resiliência são ocasionadas por fatores físicos e também antropogênicos, esses últimos caracterizados pelos mecanismos de controle impostos aos elementos e aos atributos do sistema ambiental ao longo do tempo histórico, a partir da sofisticação das técnicas aplicadas sobre eles.

As mudanças no equilíbrio dinâmico dos sistemas ambientais ocasionadas por fatores físicos encontram-se vinculadas especialmente às alterações nos condicionantes climáticos e geodinâmicos. A escala temporal desses eventos pode situar-se entre intervalos muito pequenos - catástrofes naturais extremamente rápidas - e alcançar também a escala de décadas, séculos e milênios, sendo que dentro de cada uma dessas séries

temporais ocorrem (re)ajustamentos dos elementos naturais que confluem em mudanças ambientais com diferentes dimensões espaciais.

Por outro lado, “a ação antrópica também é responsável por mudanças nas formas e processos do sistema ambiental, e suas repercussões apresentam ritmos variados ao longo dos tempos históricos” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 131). As transformações ocasionadas pela interferência das atividades humanas são responsáveis pela aceleração, retardamento e extinção de alguns processos naturais, ocorrendo sobre os elementos climáticos, geomorfológicos, hidrológicos e sobre os ecossistemas (fauna e flora).

Pouca atenção foi destinada, por parte dos geógrafos físicos, à interferência antrópica sobre o sistema ambiental até meados do século XX. Na verdade, a ação humana sobre os elementos e os atributos do sistema ambiental é tão antiga quanto sua história na Terra, iniciando-se a partir do momento em que ocorre o aperfeiçoamento das atividades de caça e pesca, que deram origem à domesticação dos animais e plantas e às sociedades sedentárias, as quais passaram a controlar de forma mais efetiva os recursos naturais.

“[...] o significado da atividade humana não despertava muito a atenção dos geógrafos físicos que, pelo contrário, optavam pelo estudo da mudança ambiental antes do homem para conhecer processos não modificados por ele ou, quando muito, incluir o homem como elemento secundário ou apêndice”(GREGORY, 1992, p. 181).

Chorley (1973, citado por GREGORY, 1992) destacou a importância da Geografia Física incorporar o homem aos seus estudos, pois, segundo o autor citado, o homem social estaria assumindo o controle de seu meio e qualquer metodologia geográfica que não reconhecesse esse fato poderia cair na obsolescência. Entretanto, Gregory (1992) explica que apesar das evidências da atuação humana sobre o sistema ambiental tornarem-se cada vez maiores e que estudos no sentido de compreender essa relação deveriam ser abrangidos pela geografia, isto veio a acontecer apenas na década de 1960 com as advertências dos impactos derivados das atividades antrópicas e com o advento da denominada Geografia Ambiental.

Christofolletti (1999, p. 37) atenta para o fato de que, no universo sistêmico, o meio ambiente é constituído pelos sistemas que interferem e condicionam as atividades sociais e econômicas, isto é, pelas organizações espaciais dos elementos físicos e biogeográficos. Dessa forma, “os sistemas ambientais são responsáveis pelo fornecimento de materiais e energia aos sistemas socioeconômicos e deles recebem os seus produtos (edificações, insumos, lavouras, emissões e dejetos)”. Assim, não há, diante de tal

perspectiva, como situar-se alheio às interferências antrópicas sobre o sistema ambiental, seja pelo viés da apropriação dos recursos naturais, seja pelas conseqüências dessa exploração que se caracterizam pelos impactos ambientais.

Goudie (1986) procurou evidenciar as raízes e as características dos impactos causados pelas atividades humanas no sistema ambiental. O autor citado reserva um capítulo de sua obra para destacar de que forma os mecanismos de controle impostos pelo homem ao ambiente foram sendo aperfeiçoados em seus diversos estágios de evolução. Assim, a agricultura é tida como a atividade humana responsável pelas primeiras transformações no sistema ambiental, pois, a partir da domesticação de animais e plantas, o espaço necessário para a sobrevivência humana teve significativa redução de seus limites, passando, entretanto, a ser explorado de forma mais intensa. “O controle inicial das plantas e animais possibilitou, sem dúvida, o desenvolvimento de uma base sólida e segura para o desenvolvimento cultural e o avanço da civilização” (GOUDIE, 1986, p. 14) e essa característica marcou o desenrolar de relações mais complexas entre o sistema socioeconômico e o sistema ambiental.

Os estudos de Goudie (1986) apresentam ainda a ascensão das modernas civilizações industriais, evidenciando-as como centro da tomada das decisões de controle e gerenciamento dos elementos e atributos naturais que compõem os sistemas ambientais. As atividades industriais desenvolvidas nas zonas urbanas, juntamente com as relações de comércio estabelecidas, tornaram-se essenciais para a geração de lucro, promovendo a dinamização do sistema socioeconômico e colaborando para a apropriação intensa dos recursos por meio do aperfeiçoamento das técnicas de controle das formas e dos processos naturais.

Ao longo de sua obra, Goudie (1986) atenta minuciosamente para as características de intervenção humana sobre os elementos do sistema ambiental, reconstituindo historicamente a aplicação de algumas técnicas empregadas pelo homem sobre o ambiente físico e apresentando exemplos de mecanismos de controle aplicados sobre as formas do relevo, sobre as águas, os solos, a vegetação e a atmosfera.

Chorley; Kennedy (1971) empenharam-se na análise e na descrição dos sistemas controlados, indicando os mecanismos de controle atuantes nos sistemas atmosféricos, terrestres e ecossistêmicos. Os autores citados evidenciam, por meio de exemplos reais e hipotéticos, de que forma as intervenções humanas aplicadas ao sistema ambiental influenciam os ciclos naturais, ressaltando também as potencialidades na aplicação desses

mecanismos de controle, bem como suas conseqüências negativas sobre os sistemas processo-resposta.

O controle antrópico exercido sobre os elementos e atributos dos sistemas ambientais pode atuar de maneira direta ou indireta sobre as formas e os processos naturais, alterando o seu equilíbrio dinâmico. Os mecanismos de controle direto seriam aqueles que se processam de forma localizada sobre os elementos dos sistemas ambientais, como a construção de reservatórios, a interferência em canais fluviais – por meio de retificações ou canalizações – as atividades de mineração, a construção de estradas, de pontes e dutos, a exploração de aquíferos, a irrigação das lavouras, entre outros.

Os mecanismos de controle indireto possuem maior dimensão areal e estão vinculados às alterações na cobertura vegetal e na dinâmica de uso da terra, que expõe as formas à ação mais efetiva dos processos, alterando os ciclos naturais e levando ao reajustamento dos elementos e atributos do sistema ambiental. Insere-se também nesse grupo o controle sobre as condições climáticas, oriundo do adensamento populacional e da evolução industrial que condicionaram alterações na composição natural atmosférica e, conseqüentemente, nos processos desencadeados pelos fatores climáticos.

Esse conjunto de técnicas artificiais aplicadas pelo homem sobre o sistema ambiental possui literalmente a função de válvulas ou de chaves que comandam os fluxos de matéria e energia, tornando-as passíveis de regulagens e estocagens que possibilitam a manutenção e o aperfeiçoamento das atividades urbano-industriais e agropastoris. Entretanto, diante do grau de desenvolvimento tecnológico e científico alcançado pelas sociedades, a estrutura e as propriedades desses mecanismos de controle assumiram um caráter cada vez mais agressivo sobre os elementos do sistema ambiental, gerando uma série de eventos negativos, resultantes da modificação e do desequilíbrio de ciclos, processos e formas originais.

Drew (1986) explica que existe uma tendência inerente ao pensamento ocidental em considerar que o mundo e os recursos naturais nele existentes encontram-se em benefício dos homens, devendo esses, dentro dessa perspectiva, trabalhar no sentido da apropriação e domínio dos elementos do sistema ambiental, a fim de manter e desenvolver os padrões culturais e seu sistema socioeconômico. O autor citado evidencia que essa visão de mundo, influenciada pelo sistema capitalista, é a responsável pela imposição de mecanismos de controle cada vez mais aperfeiçoados e versáteis às intenções humanas

sobre os elementos do sistema ambiental, gerando assim distintos gradientes de manipulação.

Esses gradientes apresentam diferenças estabelecidas a partir da intensidade do fenômeno e da extensão que a alteração pode repercutir, e estão atrelados aos mecanismos de controle direto e indireto supracitados. Desse modo, a manipulação pode assumir um caráter local, porém possuir intensidade capaz de alterar de forma significativa os processos naturais de determinada área, como no caso das atividades de mineração. Por outro lado, a extensão de algumas atividades pode abranger escalas globais, influenciando e alterando os processos naturais (DREW, 1986, p. 14).

Tomando como base as características de concentração populacional, intensidade das alterações e extensão das transformações efetivadas a partir do controle antrópico, Drew (1986) identificou três gradientes de manipulação/controlado antrópico. Os *ambientes com grau de controle esparso* são aqueles em que as interferências antrópicas ocorrem em menor intensidade e extensão, como em aldeias indígenas remanescentes e anecúmenos populacionais; os *ambientes parcialmente controlados*, que consistem na transição entre o controle extremo sobre os elementos naturais e as áreas de manipulação pouco expressivas; e os *ambientes com alto grau de controle*, referentes aos ecúmenos populacionais, onde as atividades urbano-industriais e agrícolas são responsáveis pela regulação dos fluxos de matéria e energia pelo sistema ambiental, controlando os processos em prol do sistema socioeconômico.

Torna-se importante ressaltar que não existem sistemas ambientais livres de alguma derivação direta ou indireta do controle antrópico, uma vez que a extensividade dos fenômenos, mesmo que se processando de forma local e regional, distribui-se em escala global, como no caso das alterações nas correntes marinhas, nas condições atmosféricas e nas mudanças morfológicas, pedológicas e de cobertura vegetal, originadas a partir de alterações climáticas que, por sua vez, desencadeiam alterações nos elementos dos sistemas ambientais, mesmo quando a intervenção humana não ocorre de forma direta.

As idéias expostas permitem identificar a importância de análises ambientais sob a perspectiva da abordagem sistêmica, por meio do estudo dos mecanismos de controle impostos pelo sistema socioeconômico sobre o ambiental, a fim de diagnosticar as conseqüências dessas ações sobre os elementos naturais, primando pelo mínimo impacto sobre os mesmos e garantindo a dinâmica da estrutura social e econômica. Dessa forma, a presente investigação lançou mão de técnicas para a análise das características de controle

antrópico direto e indireto sobre a morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara, condicionado pela dinâmica de uso da terra ao longo de 53 anos, possibilitando a identificação espacial dos mesmos e concedendo respaldo às discussões sobre a relação entre o sistema socioeconômico e o sistema ambiental na estruturação de uma complexa organização espacial.

4.2 Técnicas

4.2.1 Revisão bibliográfica e seleção do material cartográfico

Esta etapa do trabalho procurou analisar literaturas selecionadas, que compreendem os conceitos de uso da terra, uso do solo, cobertura e revestimento do solo e dinâmica evolutiva do uso da terra. Também pautou sua análise nos conceitos de bacias e microbacias hidrográficas e sua utilização como sistemas geográficos de pesquisa, demonstrando sua característica integradora dos fenômenos socioeconômicos e eventos de ordem natural e enfatizando sua adoção como unidade geográfica para a efetivação de ações de planejamento ambiental.

A revisão bibliográfica também buscou auxílio de literaturas que fomentam maiores interpretações a respeito da abordagem teórico-metodológica adotada. Ao mesmo tempo, procurou reunir documentos que contribuíssem para uma consistente caracterização geral do sistema em estudo, partindo do entendimento de seu contexto regional para sua conjuntura local. As literaturas selecionadas também subsidiaram a análise dos resultados, uma vez que foram escolhidas aquelas que se aproximassem da problemática identificada na área em estudo, a fim de contribuir nas discussões e proposições finais.

A seleção do material cartográfico, por sua vez, foi efetuada a partir do objetivo principal do trabalho em analisar cenários de diferentes épocas, destacando alterações que a dinâmica de uso da terra desencadeou nos elementos do sistema ambiental da bacia Santa Bárbara, em especial à morfologia original, à hidrografia e à cobertura vegetal original. Dessa forma, cartas topográficas, pares estereoscópicos de fotografias aéreas e imagens de satélite foram selecionadas de acordo com sua disponibilidade e adquiridos durante a realização da pesquisa documental.

A adoção de mosaicos de fotografias aéreas (pancromáticas e coloridas) para a interpretação dos cenários referentes aos anos de 1953, 1965 e 1995 possui suas justificativas pautadas na concepção de Novo (1989, p. 70), o qual afirma que

apesar de todos os fatores que contribuem para degradar a resolução final do produto fotográfico – iluminação da cena, reflectância dos alvos, espalhamento e o ângulo de elevação do sol – a fotografia aérea ainda é o sistema que provê melhor de informação espacial sobre a superfície, permitindo a produção de mapas em escalas grandes.

Dessa forma, a escala adotada para o desenvolvimento da pesquisa (1:50.000) apresenta resultados positivos no que diz respeito a identificação, classificação e análise das classes de uso da terra e sua evolução, tanto em área rural como em área urbana.

Além disso, a constatação das principais alterações no meio físico da bacia Santa Bárbara, resultantes da evolução do uso da terra, com ênfase ao relevo, hidrografia e cobertura vegetal, é passível de melhor identificação por meio da visão estereoscópica em fotografias aéreas do que em imagens de satélite, pois permitem a melhor verificação e interpretação dos detalhes das classes de uso da terra, das feições do relevo e da rede de drenagem. Além do mais, as fotografias aéreas, enquanto representação do momento ou do fato geográfico, possibilitam a constatação dos mecanismos de controle impostos aos elementos do sistema ambiental derivados de intervenções antrópicas diretas e indiretas, dando, portanto, respaldo à análise dos resultados.

O município de Pelotas possui informações aerofotográficas temporais que de certa forma constitui-se em privilégio de poucos municípios gaúchos e brasileiros. Essa disponibilidade de dados vincula-se aos amplos levantamentos efetuados na região sul do Rio Grande do Sul, principalmente na Planície Costeira Lagunar – área de interesse para a exploração de recursos naturais – no período da ditadura militar. As informações espaciais recentes derivam de projetos realizados pela Prefeitura Municipal em parceria com algumas agências e empresas locais de desenvolvimento além de universidades. Dessa forma, obstáculos como gastos vultosos com a aquisição das informações puderam ser evitados.

Para avaliar o cenário mais atual, ou seja, 2006, utilizaram-se ainda informações espaciais do software GOOGLE EARTH™ a partir da aquisição de imagens orbitais do mês de janeiro do ano de 2006, valendo-se de informações espaciais de livre utilização, que possuem resolução suficiente para a identificação e a análise dos fenômenos em meio digital a uma escala aproximada e que abrange toda a extensão da bacia Santa Bárbara. Essa escolha ocorreu pelo fato de não existirem aerofotolevantamentos na área em questão no período atual. Além disso, o software citado vem ganhando espaço em estudos geográficos devido a sua precisão nas informações espaciais e na qualidade dos dados.

A revisão bibliográfica e a seleção do material cartográfico embasaram ainda as técnicas cartográficas utilizadas na pesquisa.

4.2.2 Técnicas cartográficas

4.2.2.1 Elaboração do mapa base

A base cartográfica foi elaborada no programa AutoCAD MAP 2000 a partir da digitalização das seguintes cartas topográficas:

* Folha Monte Bonito (SH.22-Y-D-IV-1) MI-3020/1, baseada em fotografias aéreas do ano de 1975 do SACS, primeira impressão 1980, escala 1:50.000, projeção UTM, Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG), Datum Vertical: Marégrafo de Torres (RS);

* Folha Pelotas (SH.22-Y-D-IV-3) MI-3020/3, baseada em fotografias aéreas do ano de 1975 do SACS, primeira impressão 1979, escala 1:50.000, projeção UTM, Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG), Datum Vertical: Marégrafo de Torres (RS).

Depois de digitalizadas, as imagens foram georreferenciadas em coordenadas UTM para que os demais mapas derivados da utilização da base cartográfica pudessem estar espacialmente referenciados. As imagens, então georreferenciadas, foram editadas afim de abranger somente a área da bacia do Arroio Santa Bárbara.

As informações da base cartográfica representam a delimitação da bacia Santa Bárbara, a rede de drenagem, as curvas de nível, as cotas topográficas, a malha rodoviária (principal e secundária), a malha ferroviária, além da extensão do aglomerado urbano na área da bacia do Arroio Santa Bárbara. A base cartográfica serviu de apoio aos demais mapas confeccionados, visto que, a partir de suas informações espaciais, dados de uso da terra e geomorfológicos foram georreferenciados à delimitação da bacia.

4.2.2.2 Elaboração dos mapas de uso da terra dos anos de 1953, 1965 1995 e da representação cartográfica do uso da terra do ano de 2006

A identificação do uso da terra nos cenários de 1953, 1965 e 1995 foi efetuada por meio da fotointerpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas. Foram utilizados os seguintes aerolevantamentos:

* Dez fotografias aéreas do ano de 1953 (Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul), em escala aproximada de 1:40.000, concedidas pela Agência para o

Desenvolvimento da Lagoa Mirim com sede em Pelotas. Documentos sem maiores informações devido a falta de catalogação e organização do acervo.

* Seis fotografias aéreas do ano de 1965 (Serviço Geográfico do Exército), pertencentes ao projeto AF 63-32, em escala aproximada de 1:60.000 (escala do fotoíndice 1:180.000). Linhas: 229 A/21489/21490; 230 A/21423/21424/21425/21426. Concedidas pela Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, com sede em Porto Alegre.

* Vinte e duas fotografias aéreas do ano de 1995 (Prefeitura Municipal de Pelotas). Data do vôo 08/95, escala aproximada de 1:25.000. Linhas 06/105, 106, 107, 108, 109, 110, 111; 07/ 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135; 08/ 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160. Concedidas pela Secretaria Municipal de Planejamento Urbano de Pelotas.

A concessão do material por órgãos públicos exigiu que as fotografias originais fossem escaneadas e impressas novamente. A impressão ocorreu em papel Couchet, sendo que esse procedimento não veio a acarretar maiores implicações nas informações contidas nos documentos, a não ser em fotografias que já apresentavam certa deterioração pelo intenso uso ou então pelo tempo.

Os dados foram repassados para *layers* em papel Poliéster, que se assemelha ao papel vegetal quanto a sua transparência, porém não sofre dilatações, evitando distorções dos resultados levantados por meio das fotografias aéreas. Nesse *layer* foram destacadas as parcelas dos distintos usos da terra, a rede hidrográfica, a malha rodoviária e ferroviária.

As classes de uso da terra de cada período foram demarcadas sobre os *layers* de acordo com os princípios de fotointerpretação lançados por Ceron; Diniz (1966). Para esses autores, a geometria das parcelas, além de características como textura, cor, altura e forma da área destinada às diversas atividades antrópicas, auxiliam na identificação das classes de uso da terra. Os autores citados discorrem a respeito da identificação das formas agrícolas de uso da terra, entretanto, suas explicações também dão respaldo à identificação das atividades em áreas urbano-industriais.

As classes de uso da terra, aplicadas aos mapas dos períodos distintos, foram reconhecidas e classificadas de acordo com a metodologia proposta por Anderson et al. (1979). Tal metodologia foi sugerida para a identificação das classes de uso da terra por meio de dados de sensoriamento remoto, possuindo, segundo os autores citados, resultados de boa qualidade em se tratando de informações provenientes de fotografias aéreas.

Dessa forma, Anderson et al. (1979) propõem o detalhamento das classes de uso da terra em quatro níveis, dependendo do tipo de sensor utilizado e da escala do material cartográfico. O Quadro 4 apresenta a proposta dos níveis de detalhamento.

<i>Nível de Classificação</i>	Características típicas dos dados
I	Tipo de dados LANDSAT (anteriormente ERTS)
II	Dados de grande altitude, a 12.400 m ou mais (escala menor que 1:80.000)
III	Dados de altitude média tomados entre 3.100 e 12.400 m (escala 1:20.000 a 1:80.000)
IV	Dados de baixa altitude tomados a menos de 3.100 m (escala mais que 1:20.000)

Quadro 4: Níveis de detalhamento dos dados de sensores remotos.

Fonte: Anderson et al. (1979, p. 26)

Entretanto, para atender aos objetivos da presente pesquisa, decidiu-se aplicar as classes de uso da terra I e II durante o processo de fotointerpretação, levando-se em consideração a escala aproximada dos mosaicos de fotografias aéreas utilizadas. Anderson et al. (1979, p 28) excluíram os níveis III e IV de suas discussões exatamente porque sua utilização requer um aparato de informações suplementares muito elevado, além de dados de sensoriamento remoto em maior quantidade.

A partir dessas considerações, os autores citados estabelecem um sistema de classificação do uso da terra e revestimento do solo para dados de sensoriamento remoto, baseados nos níveis I e II. O Quadro 5 apresenta tal classificação.

NÍVEL I	<i>NÍVEL II (classes englobadas pelo nível I)</i>
1 Terra urbana ou construída	11 residencial; 12 comercial e serviços; 13 industrial; 14 transportes, comunicação e utilidades; 15 complexos industriais e comerciais; 16 terra urbana ou construída mista; 17 terra urbana diversas ou construída.
2 Terra agrícola	21 terra de cultura ou pastagens implantadas; 22 pomares, bosques, vinhedos, viveiros e áreas de horticultura ornamental; 23 atividades de criação confinada 24 outros tipos de terra agrícola.
3 Pastagem	31 pastagem herbácea; 32 pastagem com arbustos e carrascos; 33 pastagem mista.
4 Terra florestal	41 terra de floresta decídua; 42 terra de floresta sempre verde; 43 terra de floresta mista.
5 Água	51 cursos de água e canais; 52 lagos; 53 reservatórios; 54 baías e estuários.
6 Terra úmida	61 terra úmida florestada; 62 terra úmida não-florestada.
7 Terra árida	71 planícies salgadas secas; 72 praias; 73 outras áreas de areia que não praias; 74 rocha nua exposta; 75 minas a céu aberto, pedreiras e minas de cascalho; 76 áreas de transição; 77 terra árida mista.
8 Tundra	81 tundra de arbustos e macega; 82 tundra herbácea; 83 tundra de solo nu; 84 tundra úmida; 85 tundra mista.
9 Neve ou gelo	91 campos de neve perene; 92 geleiras.

Quadro 5: Sistema de uso da terra e revestimento do solo para utilização com dados de sensoriamento remoto.

Fonte: Anderson et al. (1979, p. 32)

A metodologia possui maleabilidade e flexibilidade em sua aplicação, possibilitando a exclusão de classes inexistentes e a implementação de outras classes que podem vir a surgir devido, principalmente, às características naturais e socioeconômicas peculiares da área em estudo. Além do mais, possibilita a inserção de classes de uso da terra mais recentes, não presumíveis ou existentes no período de sua implementação.

Dessa forma, algumas classes do nível II que não possuíam relevância para a presente pesquisa ou foram dissolvidas no nível I, ou sofreram modificações que adequassem sua representação à conjuntura local, adaptando-se à proposta da classificação de Anderson et al. (1979). O Quadro 6 apresenta as classes de uso da terra e as de revestimento do solo aplicadas à bacia do Arroio Santa Bárbara.

Terra Urbana ou Construída	1.1	Residencial, comercial e serviços;	As Terras Urbanas ou Construídas compreendem áreas de uso intensivo, com grande parte da terra coberta por estruturas (ANDERSON, 1979, p.38). “O Uso Residencial da terra varia de alta densidade, representada pelas estruturas de uso múltiplo dos núcleos urbanos, até baixa densidade, onde as casas se encontram em lotes de mais de um acre, na periferia da expansão urbana” (ANDERSON, 1979, p.38). “As Áreas Industriais compreendem uma ampla variedade de usos da terra, desde indústrias leves até usinas e indústrias pesadas”. (ANDERSON, 1979, p.41).
	1.2	Área Industrial;	“Terra utilizada para a produção de alimentos e fibras. [...] são os desenhos geométricos característicos dos campos e estradas na paisagem. [...] podem não apresentar formas tão definidas como outras áreas”. (ANDERSON, 1979, p.45).
Terra Agrícola	2.1	Terra de Culturas;	Os diferentes componentes de Terra de Culturas incluem: terra de cultura colhida, incluindo frutíferas arbustivas, terra de cultura estival e terra de cultivo improdutivo, terras onde houve fracasso na cultura, terra de cultura de gramíneas e leguminosas para melhoramento do solo e terra de cultivo utilizada para pastagem em rotação de culturas (ANDERSON, 1979, p. 46). Também foram incluídas nesta classe, as terras de solo exposto que foram consideradas como áreas de pousio ou recém colhidas dos gêneros agrícolas, justamente por estarem abrangidas pela delimitação da respectiva classe de uso da terra.
	2.2	Silvicultura;	As áreas destinadas ao cultivo de árvores exóticas foram incluídas na categoria de uso da terra agrícola por apresentarem características de ordem econômica e espacial que conferem sua inserção em tal classe. São desenvolvidas em grandes parcelas na área rural, além de pequenas glebas nas pequenas e médias propriedades, incrementando lucros para pequenos, médios e grandes agricultores.
Pastagens	3	Pastagens;	“Terra na qual a vegetação natural potencial é predominante de gramíneas, plantas gramínoídes, outras ervas, pastagens ou arbustos e nas quais o pastoreio natural teve uma influência importante no seu estágio de pré-civilização”. (ANDERSON, 1979, p. 49). Além disso, considerou-se também pastagens que possivelmente foram estabelecidas pela ação antrópica.
Mata ou Floresta Nativa	4	Matas Ciliares e Florestas de Encosta;	O autor destaca que as florestas são de fácil identificação nas fotografias aéreas devido a sua textura, coloração e irregularidades na composição do dossel.
Água	5	Cursos de água, Lagos, Reservatórios;	Engloba as categorias cursos de água, lagos e reservatórios. Quanto aos Reservatórios, os autores explicam que eles são represamentos artificiais de água, utilizada para irrigação, controle de enchentes, fornecimentos de água, geração de energia hidrelétrica. As represas, diques, outras estruturas de controle de água, ou a própria escavação geralmente aparecerão de forma a auxiliar na identificação (ANDERSON, 1979, p. 55).
	6.1	Terras úmidas recobertas por vegetação rasteira;	“Terras úmidas são aquelas áreas onde o lençol freático se encontra na superfície ou esta próximo, ou acima da superfície da terra durante uma boa parte da maior parte dos anos. As terras úmidas, com frequência, encontram-se associadas com as depressões topográficas. Os exemplos de terras úmidas compreendem brejos, lodajais e pântanos, situados nas margens rasas de baías, lagos, cursos de água e represamentos feitos pelo homem, como os reservatórios. Elas incluem Campinas úmidas ou charcos em vales de altas montanhas, e bacias estacionalmente úmidas ou alagadas”. (ANDERSON, 1979, p. 56). Na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, as Terras Úmidas cobertas por vegetação rasteira, correspondem às áreas mais baixas, de depósitos areno-argilosos, que encontram-se encharcadas durante o período de chuvas de inverno, predominando uma vegetação rasteira, do tipo campo, com gradual intercalação de uma vegetação típica de ambiente totalmente encharcado. As Terras úmidas recobertas por higrófitas e higrófilas são aquelas onde existe um constante encharcamento devido a alteração no nível dos cursos d’água ou pela permanência do lençol freático próximo a superfície, nestas zonas é comum a vegetação de banhado.
Terras Úmidas	6.2	Terras úmidas recobertas por higrófitas e higrófilas;	
	6.3	Alagados;	Superfícies alagadas em determinadas épocas do ano pelo maior ou menos nível de águas e reservatórios com maior capacidade de armazenamento de água. Nas épocas secas predomina uma vegetação rasteira, durante períodos chuvosos uma lamina d’água pouco espessa cobre essa área.
Terras Áridas	7	Minas a céu aberto, pedreiras e minas de cascalho;	Terra árida é terra com capacidade limitada para manter a vida e na qual menos de um terço da área apresenta vegetação ou outra cobertura. Em geral, é uma área de solo raso, areia ou pedras”. (ANDERSON, 1979, p. 59). A cobertura vegetal e o material de recobrimento são removidos a fim de expor os depósitos minerais [...]. A mineração de pedra para construção, e decoração e a extração de depósitos de areia e cascalho, também resultam em grandes minas a céu aberto. A atividade comum de mineração não é sempre distinguível, e minas a céu aberto inativas, abandonadas, e ativas, pedreiras, minas de perfuração e minerações de cascalho se incluem nesta categoria até que se estabeleça outra cobertura ou utilização”. (ANDERSON, 1979, p. 60-61).
Áreas de Transição	8	Áreas de Transição.	Aqueles que não encaixarem-se nas características das outras classes de uso da terra e possuírem, em pequenas parcelas, inúmeros tipos de uso, e cuja delimitação na atual escala de análise poderia colocar em xeque a boa leitura dos resultados justamente pelo excessivo número de dados e, “àquelas áreas que se encontram em transição de uma atividade de uso da terra para outra. Elas se caracterizam pela falta de qualquer informação de sensoriamento remoto que tome possível ao intérprete predizer, com segurança, o uso futuro ou discernir o uso passado. Tudo que pode ser realmente determinado, em tais situações, é que uma transição se acha em processo, devendo-se evitar deduções sobre o uso passado ou futuro”. (ANDERSON, 1979, p. 61).

Figura 17: Sistema de Classificação do Uso da Terra e Revestimento do Solo para a Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS e sua aplicação na área em estudo. **Fonte:** Adaptado de ANDERSON et al. (1979)

Durante as atividades de fotointerpretação que identificaram o uso da terra em cada um dos cenários, primou-se por destacar também pontos estratégicos, ou seja, ‘nós’ que pudessem auxiliar no ajuste das imagens digitalizadas à base cartográfica no ambiente do programa AutoCAD MAP 2000. Estes ‘nós’ caracterizam-se principalmente pelos cruzamentos de estradas e ferrovias além de confluências da rede hidrográfica.

Concluídas as atividades de fotointerpretação, os *layers* com as informações sobre o uso da terra em meio analógico foram escaneados e transferidos para o software AutoCAD MAP 2000 no formato *raster*. Depois de alinhadas e georreferenciadas, as imagens foram posicionadas em segundo plano para que a vetorização dos nós, das linhas e dos polígonos pudessem ocorrer, levando em consideração a base cartográfica que já se encontrava em formato vetor. Para que a vetorização transcorresse, foi necessária a criação de *layers* (camadas) que estabelecessem uma base de dados primária sobre o uso da terra, em que posteriormente foram delimitados os polígonos referentes às parcelas de cada classe de uso.

Quando um novo *layer* é criado, existe a possibilidade de definir um tipo de cor, tamanho e característica de linha. Essa camada pode, a qualquer momento, ser acionada, desativada ou travada para que não atue na poluição das informações e no processo de vetorização.

Os dois primeiros *layers* criados em cada novo mapa foram: Hidrografia e Base. O *layer* hidrografia possui cor azul e é destinado à vetorização da rede de drenagem e de corpos de água, enquanto o *layer* base possui a cor cinza e é destinado à vetorização das linhas referentes à delimitação das parcelas distintas de uso da terra.

Definidos os limites das classes de uso e a rede hidrográfica, iniciou-se o agrupamento dos distintos polígonos gerados, nas referidas classes de uso da terra pertencentes. Esse procedimento ocorreu por meio da utilização do comando *Boundary Creation*, que auxilia na criação de limites entre polígonos que não possuem relações diretas, facilitando a compreensão das dimensões areais, seu preenchimento durante a edição final do documento, além de conceder informações sobre a área ocupada por esse polígono na bacia hidrográfica, possibilitando desse modo a análise de dados quantitativos.

Assim, depois de criados os polígonos de cada uma das classes de uso da terra, foi possível desativar a base criada inicialmente para efetivar a vetorização primária dos dados. Cada polígono possui as cores definidas de acordo com a classe de uso da terra

adaptada da proposta de Anderson (et al. 1979), sendo possível desativá-los a qualquer momento para observações particulares de cada tipo de uso da terra.

A representação cartográfica do uso da terra no ano de 2006 foi realizada a partir da utilização de imagens orbitais do software GOOGLE EARTH™. O procedimento adotado para a identificação das classes de uso da terra no cenário mais atual seguiu o mesmo roteiro da elaboração dos mapas dos anos de 1953, 1965 e 1995, no que se refere à metodologia empregada para a classificação dos tipos de uso da terra e às técnicas de cartografia digital. Entretanto, a interpretação das imagens do software GOOGLE EARTH™ ocorreu diretamente na tela do computador, uma vez que as imagens não apresentam estereoscopia. Trabalhos de campo foram realizados posteriormente, a fim de conferir fidelidade aos dados mapeados.

No ambiente do software GOOGLE EARTH™ é disponibilizada a ferramenta que possibilita a conversão das coordenadas geográficas para coordenadas U.T.M.. Dessa forma, juntamente às imagens selecionadas foram atribuídos dois pontos referentes a duas coordenadas U.T.M.s, geralmente posicionadas em nós como cruzamentos de estradas e vias férreas, além de avenidas principais na área urbana.

As imagens selecionadas foram inseridas no ambiente do software AutoCAD MAP 2000, no qual já se encontravam no formato vetor a delimitação da bacia hidrográfica, a malha hidrográfica do ano de 1995, as principais rodovias, avenidas e ruas, além das estradas de ferro. A preferência pela permanência da rede hidrográfica de 1995 ocorreu pela dificuldade em mapear a hidrografia atual diante da ausência de estereoscopia. Porém, novos corpos de água, bem como aqueles que não foram mais encontrados, foram atualizados no cenário de 2006.

As imagens em formato raster, provenientes do software GOOGLE EARTH™, foram alinhadas às coordenadas U.T.M. originais. Após o alinhamento de todas as imagens, prosseguiu-se com a digitalização das classes de uso da terra com o *layer* base, sendo posteriormente atribuídos os polígonos referentes às classes de uso da terra.

A parte final da elaboração dos mapas de uso da terra dos anos de 1953, 1965, 1995 e da representação cartográfica do cenário de 2006 diz respeito à edição dos documentos. Cada polígono recebeu preenchimento com a cor da classe de uso da terra por esse representada. Foram instituídas legendas e convenções cartográficas e, por fim, foi efetuada a impressão.

4.2.2.3 Elaboração dos mapas geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 e organização do esboço cartográfico correspondente às características geomorfológicas do ano de 2006

A elaboração dos mapas geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 seguiu os mesmos procedimentos referentes à aquisição dos materiais e à preparação dos mesmos para fotointerpretação utilizados na confecção dos mapas de uso da terra dos anos de 1953, 1965 e 1995.

O mapeamento das feições do relevo da bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara foi desenvolvido considerando a concepção de Cunha (2001, p. 109), que explica que “é impossível estabelecer um mapeamento geomorfológico visando a gestão ambiental que seja universal e dogmático”. Dessa forma, é necessário levar em consideração os diferentes sistemas geomorfológicos existentes, além dos problemas ambientais que são encontrados na área em estudo. Isso faz com que possam ocorrer adaptações que permeiem os objetivos do trabalho, podendo ser dada maior ênfase a determinadas feições e processos.

Assim, considerando a proposta da autora citada, o mapeamento geomorfológico realizado enfatizou a morfografia, representada pela simbologia, com destaque para as feições de relevo que indicam maior dinâmica erosiva. Foi dada atenção também ao mapeamento do modelado antrópico, ressaltando as intervenções que atuam como mecanismos de controle da morfodinâmica da bacia Santa Bárbara e que desencadearam alterações nos elementos do sistema ambiental, sobretudo na morfologia original e na hidrografia.

Dessa forma, a simbologia utilizada pautou-se em uma adaptação das propostas de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975), por meio da seleção de símbolos adequados à representação das feições na área, em uma única legenda. Esse procedimento encontrou respaldo nas análises sobre o mapeamento geomorfológico realizados por Cunha (2001).

A Figura 8 (a e b) demonstra a simbologia proposta pelos autores citados e que se adapta às feições geomorfológicas da área. Já a Figura 9 mostra a simbologia adotada para o mapeamento geomorfológico na bacia Santa Bárbara a partir da adaptação das duas metodologias.

A) Seleção da Simbologia proposta por TRICART (1965).		B) Seleção da Simbologia proposta por VERSTAPPEN & ZUIDAN (1975).	
1. FEIÇÕES LITOLÓGICAS (de acordo com a resistência da rocha).		1. LITOLOGIA (de acordo com o tipo de rocha predominante).	
	Compactadas	a) Granodiorito Equigranular (+Gr)	
	menos compactadas	b) Formação Graxaim (Arcócio)	
2. FORMAS DE VERTENTES E INTERFLÚVIOS		2. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA	
A. Formas de Ablação		A. Formas e Processos Erosivos	
a) Feições Localizadas			erosão em sulcos
	Ravinas		ravinas
	Colos		voçorocas
	Voçorocas	3. FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL	
B. Precisões Topográficas e Morfométricas		a) Drenagem	
	Curvas de Nível		Perene
	Linhas de Cumeada Suaves		Intermitente
	Linhas de Cumeada Agudas		Canal abandonado/Braço Morto
3. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES		b) Leques aluviais	
A. Feições Hidrográficas		4. MORFOMETRIA	
a) Drenagem			Formas de vale em "V"
	Perene		Forma de vale com fundo plano
	Intermitente	a) Linhas de Cumeada	
	Braço Morto		Aguda
B. Formas de Acumulação e Natureza dos Aluviões			Suave
a) Formas de Acumulação			b) Curvas de nível
	leques aluviais		c) Topos cotados
b) Natureza dos Depósitos			d) Tipos de Vertentes
	depósitos areno-argilosos		convexa
	depósitos flúvio-lacustres		concava
c) Modelado de Entalhe			retilínea
	ruptura topográfica suave		irregular
	ruptura topográfica abrupta		e) Direção do escoamento superficial
	Vales em "V"	5. TOPOGRAFIA	
	vales com fundo plano		Estradas
4. MODELADO ANTRÓPICO			Mina ativa
	superfície construída		Mina abandonada
A. Formas de Ablação			Caminho de Ferro
	pedreira/ poço de mina		Cortes e terraplanagem
	corte de rota, canal, caminho de ferro		Área urbanizada
B. Formas de Acumulação			Terraços de cultivo agrícola(marachas)
	aterro de rota, canal, caminho de ferro		Represas (açudes e barragens)
	ponte		Curso de água retilinizado

Figura 8: Origem e seleção da simbologia utilizada no mapeamento geomorfológico da bacia do Arroio Santa Bárbara: a) Simbologia proposta por Tricart (1965); b) Simbologia proposta por Verstappen; Zuidan (1975).

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon, adaptado de Tricart (1965); Verstappen; Zuidan (1975).

Simbologia adotada para o mapeamento geomorfológico na bacia do Arroio Santa Bárbara - Pelotas/RS Adaptado de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975).	
4. MORFOMETRIA	
De acordo com a resistência e tipo de rocha predominante	A. Precisões Topográficas e Morfométricas curvas de nível topos cotados suaves agudas caimento topográfico
1. FEIÇÕES LIOTOLÓGICAS	
compactadas	Granodiorito Equigranular (* Gr)
menos compactadas	Formação Graxaim (Arcóbio)
2. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA	
A. Formas Erosivas Localizadas	
erosão em sulcos	
ravinas	
voçorocas	
colo	
ruptura topográfica suave	
ruptura topográfica abrupta	
3. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL	
A. Feições Hidrográficas	
drenagem perene	
drenagem intermitente	
canal abandonado	
B. Formas de Acumulação e Natureza dos Depósitos	
Formas de Acumulação	
leques aluviais	
Natureza dos Depósitos	
depósitos areno-argilosos	
depósitos flúvio-lacustres	
C. Modelado de Entalhe	
Vales	
em "V"	
fundo plano	
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS	
Delimitação da Bacia Hidrográfica	Rodovias / estradas secundárias / avenidas
Área Urbanizada	Ferrovia

Figura 9: Adaptação das simbologias de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975) aplicadas ao mapeamento geomorfológico na bacia do Arroio Santa Bárbara.

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

Tricart (1965) evidencia que o mapa geomorfológico nada mais é do que a tradução gráfica dos resultados e das concepções obtidas por meio de materiais cartográficos e trabalhos de campo. O autor explica que esse documento é complexo em sua essência pelo fato de ser constituído por várias informações que fornecem subsídios a análise do relevo. A interpretação de tal documento cartográfico pode, em alguns casos, ser limitada justamente pela gama de símbolos e cores nele representados.

Para o autor citado, os mapas geomorfológicos devem abranger quatro tipos de informação, a saber:

A Morfometria, que pode ser representada por um fundo topográfico contendo as curvas de nível e a rede de drenagem. De acordo com Tricart (1965), outras características da morfometria podem ser inseridas no mapa geomorfológico, porém possuem maior interesse para outras especialidades e objetivos que vão além deste mapeamento. Além disso, demais informações morfométricas podem contribuir para a poluição cartográfica, dificultando a análise e a interpretação do documento. Na presente investigação, optou-se por apresentar a malha hidrográfica, as curvas de nível e os pontos cotados da base cartográfica digital como símbolos principais da morfometria.

A Morfografia caracteriza-se pela representação espacial e areal das formas do relevo. Tricart (1965) explica que os aspectos morfográficos estão estritamente ligados às características morfogenéticas, sendo que as formas devem ser identificadas também por sua gênese.

A Morfogênese é explicitada por meio do agrupamento das formas do relevo (Figura 8a) de acordo com os processos que deram origem a elas. Dos grandes grupos assinalados por Tricart (1965) na área de pesquisa, de acordo com os objetivos dessa, utilizou-se: as *Formas de vertentes e interflúvios*, as *Formas originadas pela ação das águas correntes* e o *Modelado antrópico*.

Por fim, *a Cronologia* dos fatos geomorfológicos, a qual evidencia o momento da história geológica em que as formas e o conjunto dessas se desenvolveram. Tricart (1965) indica a utilização de tramas de cores para a representação dos períodos da história morfogenética. O autor citado explica também que esses dados são de difícil aquisição e muitas vezes acabam sendo suprimidos devido à falta de informações. Por esse motivo, os dados sobre a cronologia das formas do relevo da bacia Santa Bárbara não foram representados.

Tricart (1965) recomenda ainda que os dados condizentes ao arcabouço estrutural devam ser mapeados, indicando sua divisão em dois níveis: as *Feições Estruturais*, identificadas por falhas, linhas de cuesta, entre outras (não mapeadas na área em estudo por não possuírem expressão areal na escala de trabalho); e os *Dados Litológicos*, representados por meio de tramas coloridas de fundo na carta, que indicam a existência de rochas com maior grau de compactação, bem como litologias menos compactadas, sendo que a cor das tramas alterna gradativamente de cores mais fortes para as mais brandas.

Verstappen; Zuidan (1975), por sua vez, afirmam que a finalidade de um mapeamento geomorfológico é a de “oferecer uma imagem concisa e sistemática do relevo e dos fenômenos que estão ligados a ele” (p. 15). Explicam ainda que esses documentos constituem-se em ferramentas de grande valor na avaliação dos recursos naturais devido às relações existentes entre as características geomorfológicas e os demais fatores do meio ambiente.

Os autores citados propõem um sistema de elaboração de mapas geomorfológicos que identifique, além das unidades principais, as feições menores do relevo, que devem ser delimitadas de acordo com sua morfogênese, haja vista que as formas são inerentes aos processos nelas estabelecidos. A elaboração desses documentos deve procurar ressaltar também a litologia da área, com ênfase nas propriedades e nos tipos de rochas, pelo fato de que nela se desenvolvem os processos geomorfológicos e as características de maior ou menor resistência estrutural que acarretarão na característica do modelado.

Para Verstappen; Zuidan (1975) a elaboração de mapas que representam com fidelidade os fenômenos geomorfológicos deve pautar-se na utilização de fotografias aéreas e na realização de trabalhos de campo. As fotografias aéreas, de acordo com os autores citados, são registros detalhados da superfície da terra, visto que os fenômenos aparecem em sua forma e desenho exatos. Os aerofotogramas constituem-se como base para a realização do mapeamento geomorfológico e ponto de partida para a articulação dos trabalhos de campo que, por sua vez, permitem avaliar e reambular dados que ficaram pendentes durante a fotointerpretação.

O método proposto pelos autores citados compreende os aspectos morfométricos, morfográficos e morfogenéticos, buscando também a representação da litologia e dos processos morfológicos por meio de legendas que são flexíveis à adaptação para diferentes cenários e propostas de trabalho.

Com as legendas, guarda-se certa flexibilidade para poder adaptá-las às necessidades dos geomorfólogos que trabalham em diversos tipos de terreno. Nunca se deverá forçar o geomorfólogo a ‘normas’ demasiadamente rígidas para as condições que prevalecem na região de trabalho (VERSTAPPEN; ZUIDAN, 1975, p. 16).

Em sua proposta, os autores citados explicitam três tipos de mapas geomorfológicos:

Os *Mapas Preliminares* são aqueles onde se identifica toda a informação possível de se obter por meio das fotografias aéreas. Eles devem incluir os dados topográficos para localizar com maior precisão em campo os fenômenos geomorfológicos. Podem ainda constar de informações provisórias sobre a litologia, provindas de observações nas fotografias aéreas ou de outros documentos.

Os *Mapas com Fins Gerais* são resultados das investigações geomorfológicas puras, sem fins específicos. Nesses documentos, identificam-se as unidades genéticas do relevo por meio de cores uniformes agrupadas em símbolos correspondentes à origem das feições do relevo. Os autores citados trazem separadamente a morfometria e a topografia. Para a presente pesquisa utilizou-se a simbologia correspondente às formas de origem denudativa, às formas de origem fluvial, à morfometria e topografia, além dos dados sobre a litologia local (Figura 8b).

E finalmente, os *Mapas com Fins Especiais* representam uma complementação das informações dos mapas com fins gerais, incluindo sempre a litologia e a topografia. Na metodologia proposta por Verstappen; Zuidan (1975), os mapas com fins especiais dividem-se em dois tipos: os de *morfoconservação* e os *hidromorfológicos*, “que visam orientar ou resolver problemas específicos” (CUNHA, 2001, p. 68). Torna-se importante ressaltar que alguns símbolos dos mapas com fins específicos estão presentes nos mapas com fins gerais, ao mesmo tempo em que se torna imprescindível, a fim de atingir aos objetivos propostos, inserir em mapas com fins gerais alguns símbolos de mapas com fins específicos.

Com base nessas duas importantes contribuições ao mapeamento geomorfológico foi elaborada a legenda que serviu como orientação ao mapeamento geomorfológico da bacia Santa Bárbara. Sua esquematização comporta: as *Feições Litológicas*, as *Formas de Origem Denudativa*, a *Ação das Águas Correntes* e as *Formas de Origem Fluvial*, a *Morfometria* e o *Modelado Antrópico e as Alterações na Topografia* (Figura 9).

Cunha (2001), explicando as principais diferenças nos mapeamentos propostos por Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975), aponta para a distinção no agrupamento dos símbolos utilizados na representação das feições do relevo. De acordo com a autora citada, Tricart (1965) agrupa a maioria de seus símbolos em consonância aos tipos de formas, sendo os grandes grupos de sua classificação: as *formas de vertentes e interflúvios, ação das águas correntes* e o *modelado antrópico*, além das *feições litológicas*.

Para Verstappen; Zuidan (1975) as feições são agrupadas de acordo com sua origem destacando as *formas de origem denudativa* e as *formas de origem fluvial*. Os autores citados também incluem em sua classificação a *morfometria* e a *topografia*.

Torna-se importante ressaltar que muitas das formas que na proposta de Tricart (1965) são pertencentes ao modelado antrópico, na proposta de Verstappen; Zuidan (1975) encontram-se inseridas no grupo topografia. Por esse motivo, tendo em vista a contribuição das duas metodologias na identificação das formas de origem antrópica, que representam os pontos de controle na morfodinâmica do sistema em estudo, foram agrupadas em uma classe denominada *Modelado Antrópico e Alterações na Topografia*, e mapeadas nos distintos cenários.

Os tipos de vertentes, na simbologia de Verstappen; Zuidan (1975), figuram-se como símbolos para mapas de morfoconservação. Para Tricart (1965) as formas das vertentes não devem ser representadas em mapas geomorfológicos. De acordo com o autor referido, esses dados, por mais interessantes que sejam, têm maior identificação com os mapas morfométricos do que com os mapas geomorfológicos.

Assim, o grupo Morfometria, existente na classificação de Verstappen; Zuidan (1975), foi adotado no mapeamento da presente pesquisa para caracterizar as curvas de nível, os topos cotados, as linhas de cumeada suaves e agudas e as formas de vertentes. A identificação da forma das vertentes possui grande importância, pois tal caracterização possibilita a análise do escoamento superficial, bem como as alterações impostas pela ação antrópica sobre a morfologia original ao longo do tempo histórico. Em virtude da escala de trabalho adotada, optou-se pela não representação de linhas de cumeada agudas e arredondadas maiores e menores, como indicam os autores acima, preferindo-se a orientação de Tricart (1965) em utilizar apenas linhas de cumeada suaves e agudas.

A *Ação das Águas Correntes* (TRICART, 1965) e as *Formas de Origem Fluvial* (VERSTAPPEN; ZUIDAN, 1975) foram agrupadas em um único grupo: *Ação da Água Correntes e Formas de Origem Fluvial*, abrangendo as feições hidrográficas, as formas de

acumulação e a natureza dos depósitos, além do modelado de entalhe. Essa opção ocorreu pela proximidade das propostas em estabelecer o agrupamento de feições provenientes do processo de acumulação e de trabalho da drenagem sobre as formas do relevo.

As *Formas de Origem Denudativa* incluem as feições erosivas localizadas, representadas por símbolos que evidenciam a ocorrência de erosão em sulcos, ravinas e voçorocas, além das rupturas topográficas. A representação das rupturas topográficas na proposta de Tricart (1965) proporciona uma gama muito maior de símbolos para mapeamento em escalas de mais detalhe, porém, na escala de trabalho adotada para a presente pesquisa, as rupturas foram agrupadas em dois tipos: abruptas e suaves.

As *Feições Litológicas* foram agrupadas de forma que pudessem ser representadas por tramas, ao fundo, destacando o tipo de rocha predominante e a resistência dessas feições litológicas. Essa aglutinação foi possível devido ao fato de que ocorrem na bacia Santa Bárbara duas litologias distintas quanto a resistência e formação: o Granodiorito Equigranular (Gr+) e a Formação sedimentar Graxaim, que possui o arcózio como litologia predominante.

A organização dos esboços cartográficos correspondentes às características geomorfológicas e da rede hidrográfica no ano de 2006 ocorreu a partir da seleção das áreas onde os mecanismos de controle impostos pelas atividades antrópicas resultaram em maiores alterações na morfohidrografia da bacia Santa Bárbara. As áreas foram selecionadas de acordo com os dados obtidos nos mapeamentos anteriores que apontaram para zonas de maior e menor alteração provocadas pela ação antrópica.

Após a escolha dos fragmentos espaciais a serem analisados, foram obtidas as imagens orbitais do software GOOGLE EARTH™ referentes a tais áreas. As imagens foram alinhadas às formas do relevo mapeadas no cenário de 1995 no ambiente do software AutoCAD MAP 2000, de forma a adequar as coordenadas dos nós representados no mapa geomorfológico de 1995 (em formato vetor) aos nós existentes na imagem orbital (formato raster). Torna-se importante ressaltar que a elaboração do esboço cartográfico não representa o mapeamento das feições geomorfológicas atuais, mas sim a aproximação com as mesmas, uma vez que a ausência de estereoscopia nas imagens orbitais impossibilita a avaliação da morfologia e seu mapeamento por meio de símbolos como nos cenários de 1953, 1965 e 1995.

Entretanto, após a finalização dessa primeira etapa, foram realizados trabalhos de campo a fim de evidenciar e ratificar alguns pontos que apresentavam discordância após o

alinhamento dos dados. A qualidade das imagens orbitais do software GOOGLE EARTH™ também contribuiu para que essas alterações atreladas ao alinhamentos dos dados pudessem ser efetivadas, demonstrando, assim, que transformações nas formas do relevo e na hidrografia foram passíveis de constatação entre os anos de 1995 e 2006.

A organização desses esboços cartográficos permitiu ainda a análise espacial mais detalhada das relações entre a morfohidrografia e a conjuntura atual de uso da terra, uma vez que a morfografia pôde ser acompanhada da imagem real ao fundo, possibilitando a compreensão da localização das feições geomorfológicas e da organização da estrutura socioeconômica. A apresentação das feições geomorfológicas sobre as imagens orbitais concede também uma interpretação mais didática da correlação dos dados apresentados pelos mapas de uso da terra e geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995.

4.2.2.4 Trabalhos de campo e pesquisa documental

Os trabalhos de campo consistem em etapas fundamentais para a compreensão da dinâmica de uso da terra no sistema ambiental em estudo e da alteração que essa dinâmica vem provocando nos elementos relevo, hidrografia e vegetação. Aqueles contemplam atividades de observação, descrição e fotografia, que podem ser comparadas com imagens anteriores de arquivos ou documentos pessoais, garantindo maior riqueza à análise espacial pretendida. Durante sua efetivação, emerge a oportunidade prática da reconstrução de cenários de épocas passadas, visto que esse fato em várias ocasiões pode ser dificultado devido à inexistência de material cartográfico, fato comum em décadas pretéritas e até em períodos recentes.

Os trabalhos de campo na bacia Santa Bárbara foram orientados pelas informações verificadas durante as atividades de fotointerpretação (nos anos de 1953, 1965 e 1995) e organização dos esboços cartográficos do uso da terra e das características geomorfológicas atuais. Dessa forma, sua operacionalização deu-se no sentido de constatar as principais alterações morfohidrográficas ocasionadas pela imposição de mecanismos de controle antrópico sobre o sistema ambiental, possibilitando também sua relação com a conjuntura atual de uso da terra.

As atividades de campo também abrangeram a pesquisa documental, referente aos materiais cartográficos e bibliográficos que concederam a base para a estruturação da pesquisa. As visitas e os diálogos com profissionais de instituições privadas e públicas

possibilitaram a obtenção dos materiais e também auxiliaram na reconstrução dos fatos que marcaram a dinâmica de uso da terra na bacia Santa Bárbara.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os mapeamentos geomorfológico e de uso da terra nos distintos cenários, 1953 (Figuras 10 e 11), 1965 (Figuras 12 e 13), 1995 (Figuras 14 e 15), além da representação cartográfica do uso da terra para o ano de 2006 (Figura 16), foram organizados para que a análise dos resultados pudesse ocorrer de forma a contemplar as características de evolução das classes de uso da terra e sua relação com as alterações morfohidrográficas, atentando para as condições de controle impostas pelas atividades antrópicas sobre os elementos e atributos do sistema ambiental, derivadas da dinâmica de uso da terra.

Assim, foram delimitados setores de análise na bacia Santa Bárbara, a fim de facilitar a localização dos fenômenos, auxiliando a interpretação dos documentos cartográficos. A compartimentação da bacia hidrográfica em setores teve caráter puramente analítico e levou em consideração as características do sistema ambiental – em especial a geologia, a geomorfologia e os solos (CUNHA; SILVEIRA, 1997; RADAMBRASIL, 1986) (Figura 5), além do comportamento do uso da terra observado durante as atividades de fotointerpretação, uma vez que a dinâmica do uso da terra na bacia Santa Bárbara esteve, em grande parte, atrelada às condições do sistema ambiental e também porque as atividades antrópicas apresentaram características distintas dentro da área em estudo, possibilitando análises de acordo com sua ocorrência, intensidade e intervenções na morfohidrografia.

Dessa forma, a área em estudo foi agrupada em cinco setores que conduziram à análise dos dados: *Setor de várzea*, *Patamar de expansão urbana leste*, *Patamar de expansão urbana oeste*, *Setor de transição de litologias* e *Setor de nascentes* (Figura 17). A denominação dos setores pautou-se nas características naturais - em especial a geomorfologia - bem como sua relação, em alguns casos, com os aspectos socioeconômicos locais - características de uso da terra - e possui caráter meramente representativo. A delimitação dos setores encontra-se representada sobre os mapas geomorfológicos e de uso da terra, facilitando a leitura e a interpretação das informações.

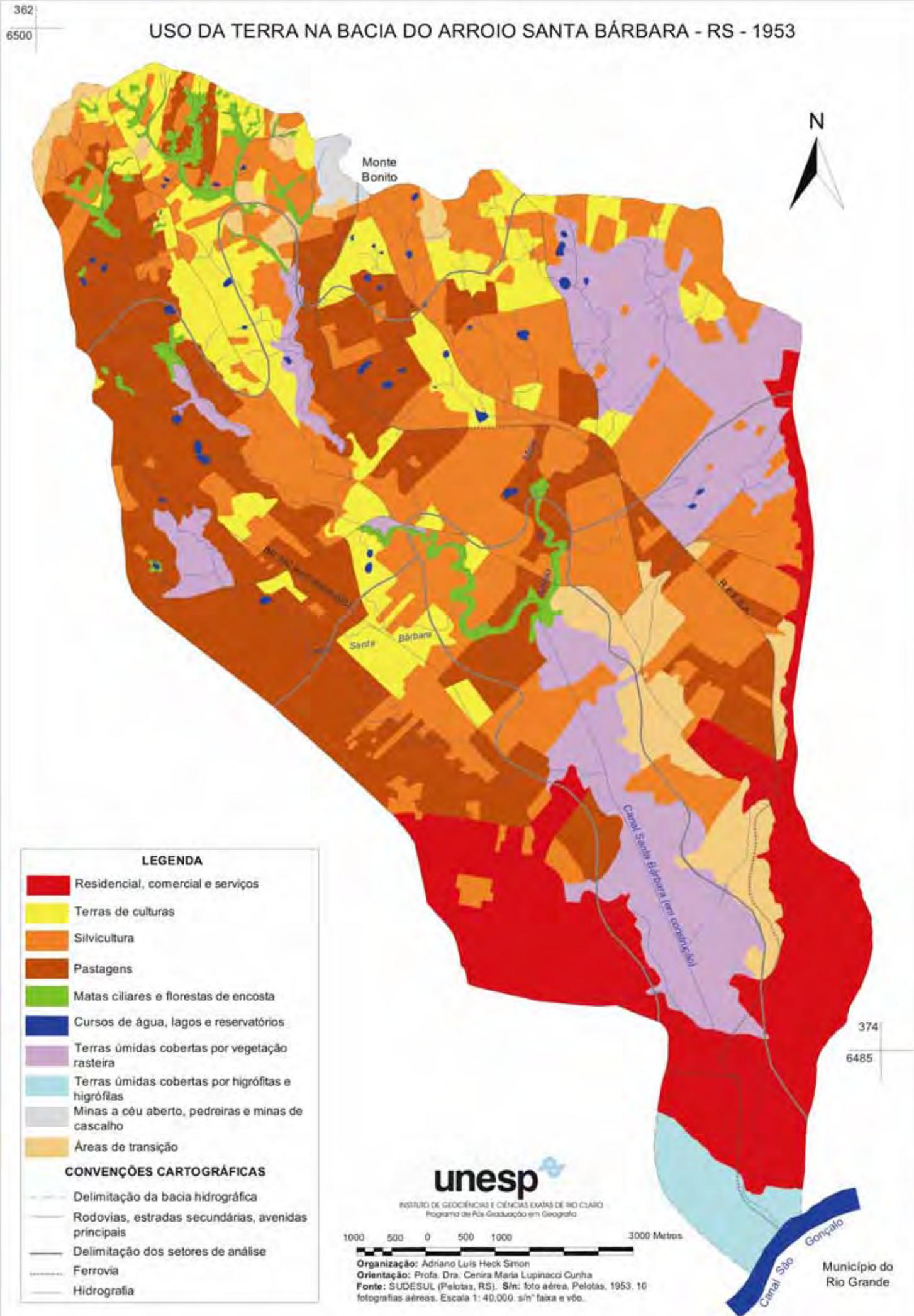


Figura 10: Mapa do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1953.

362
6500

MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - RS - 1953

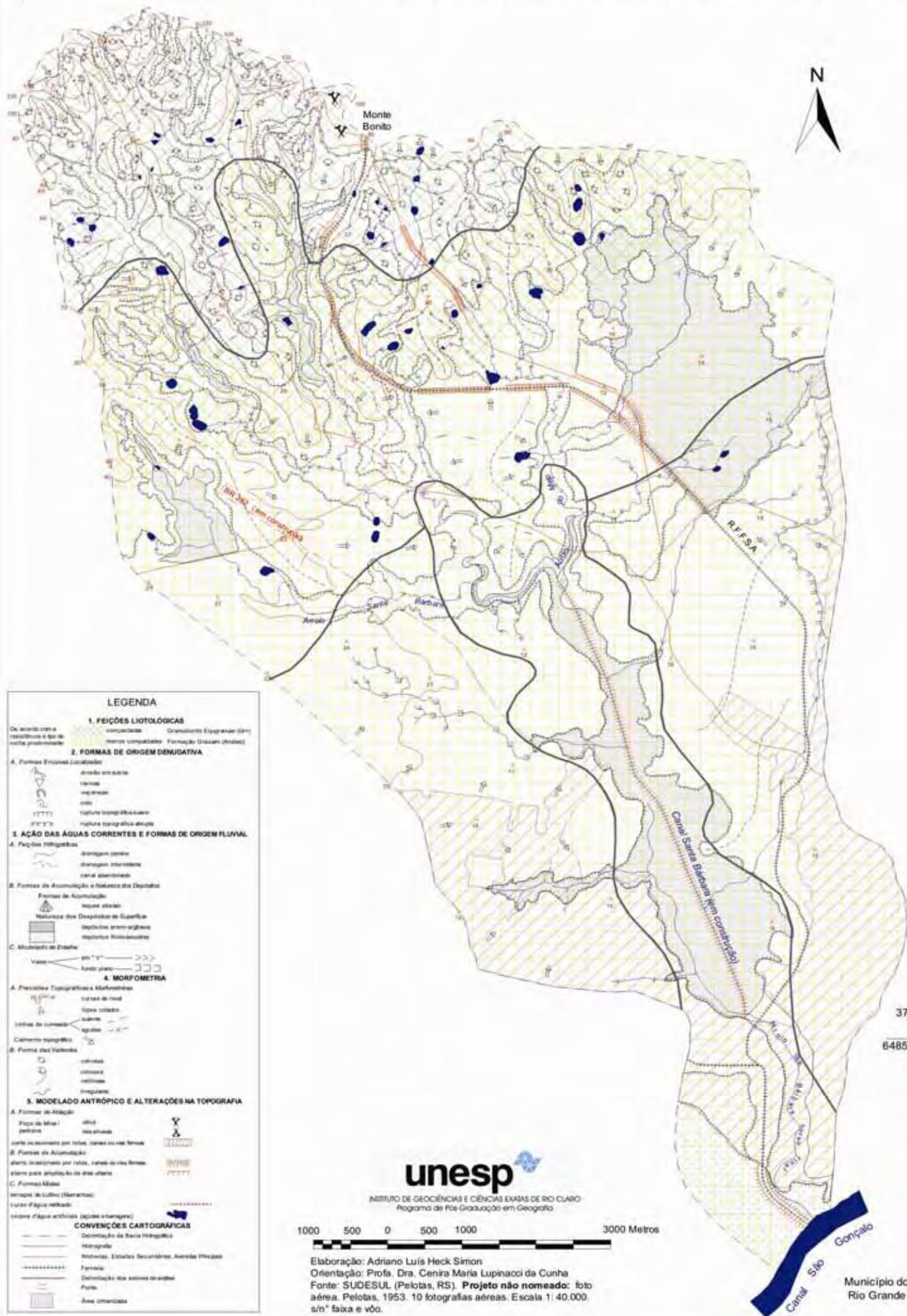


Figura 11: Mapa Geomorfológico da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1953.

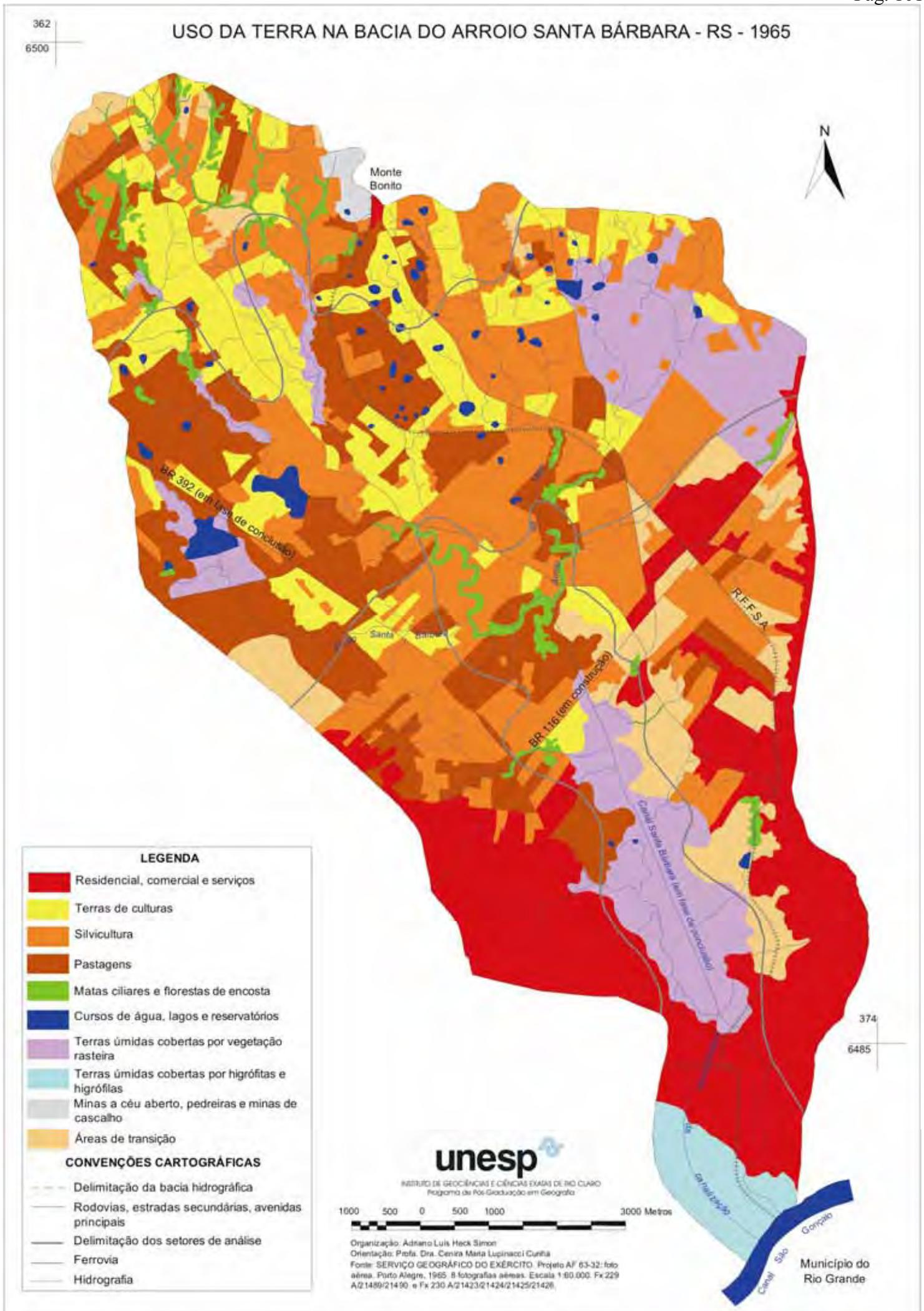


Figura 12: Mapa do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1965.

362
6500

USO DA TERRA NA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - RS - 1995

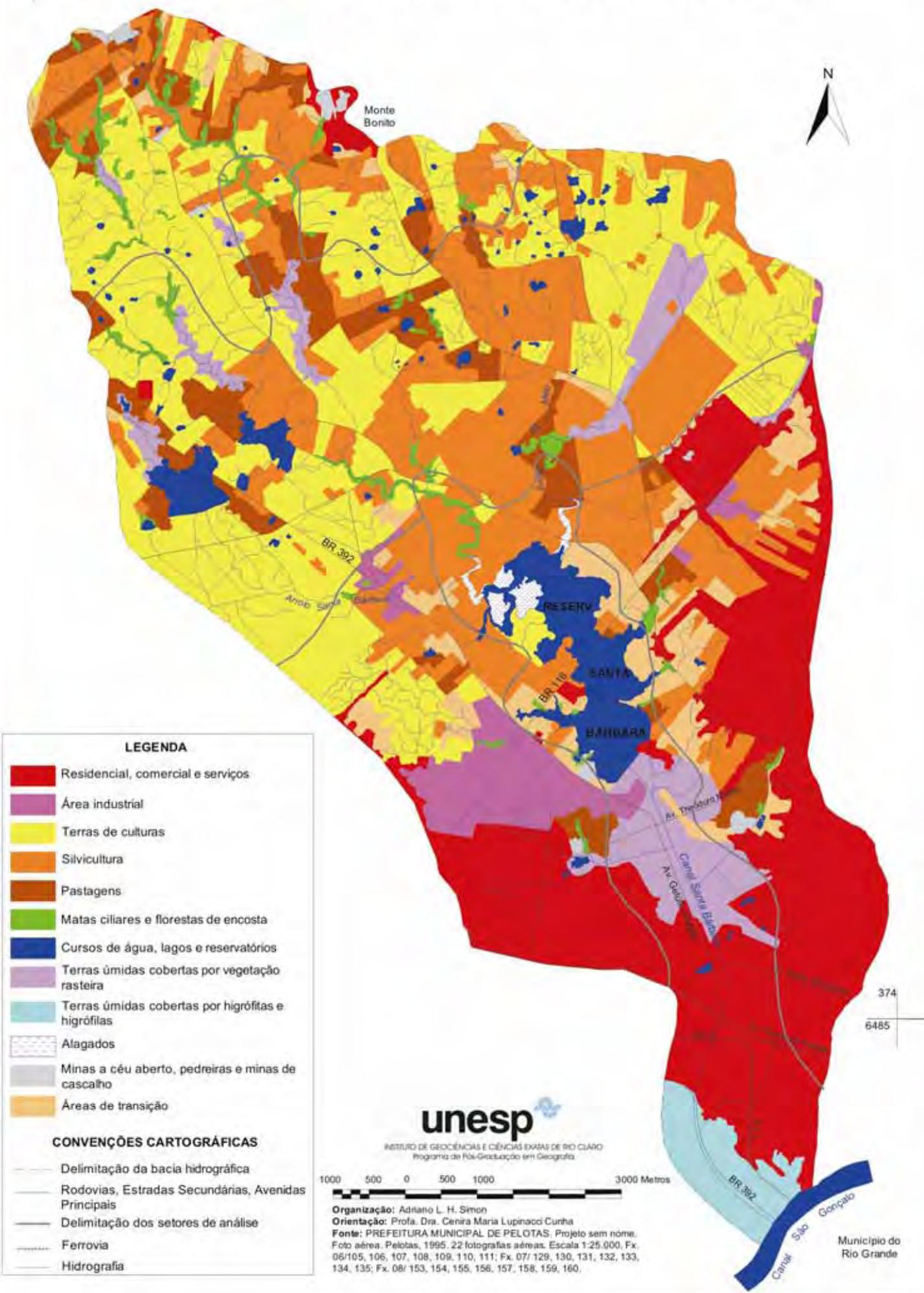


Figura 14: Mapa do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1995.

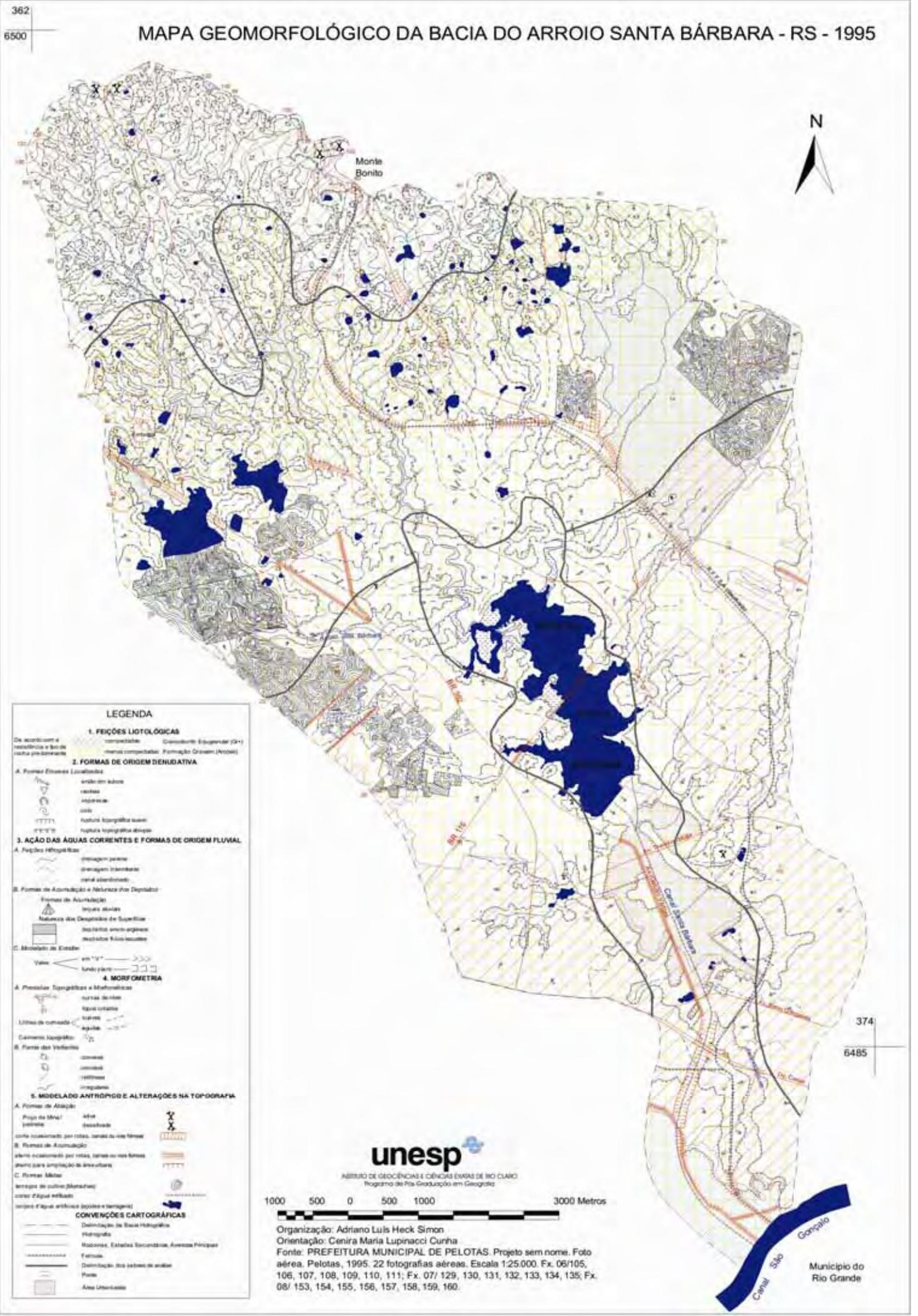


Figura 15: Mapa Geomorfológico da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 1995.

USO DA TERRA NA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - RS - 2006

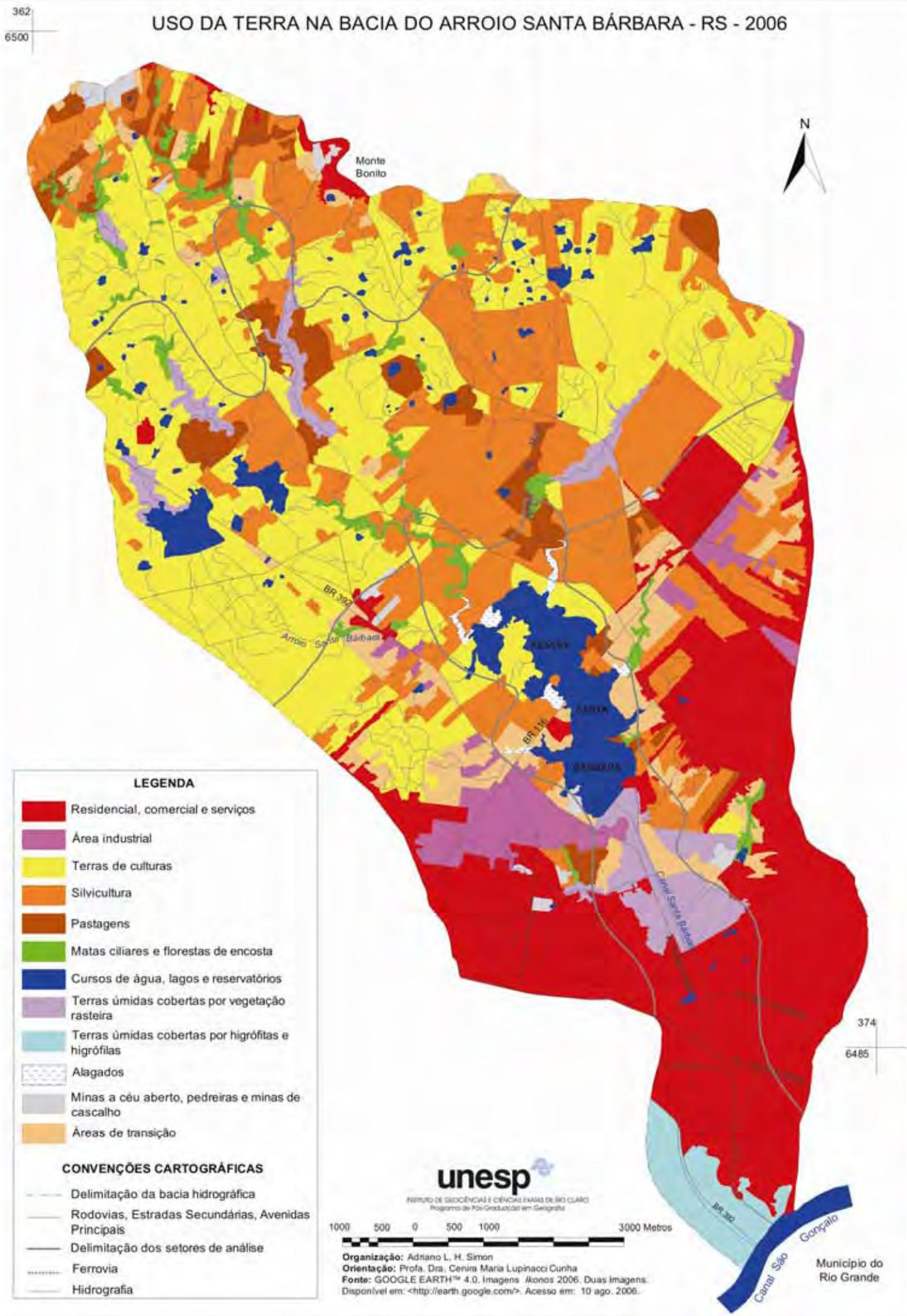


Figura 16: Representação Cartográfica do Uso da Terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.

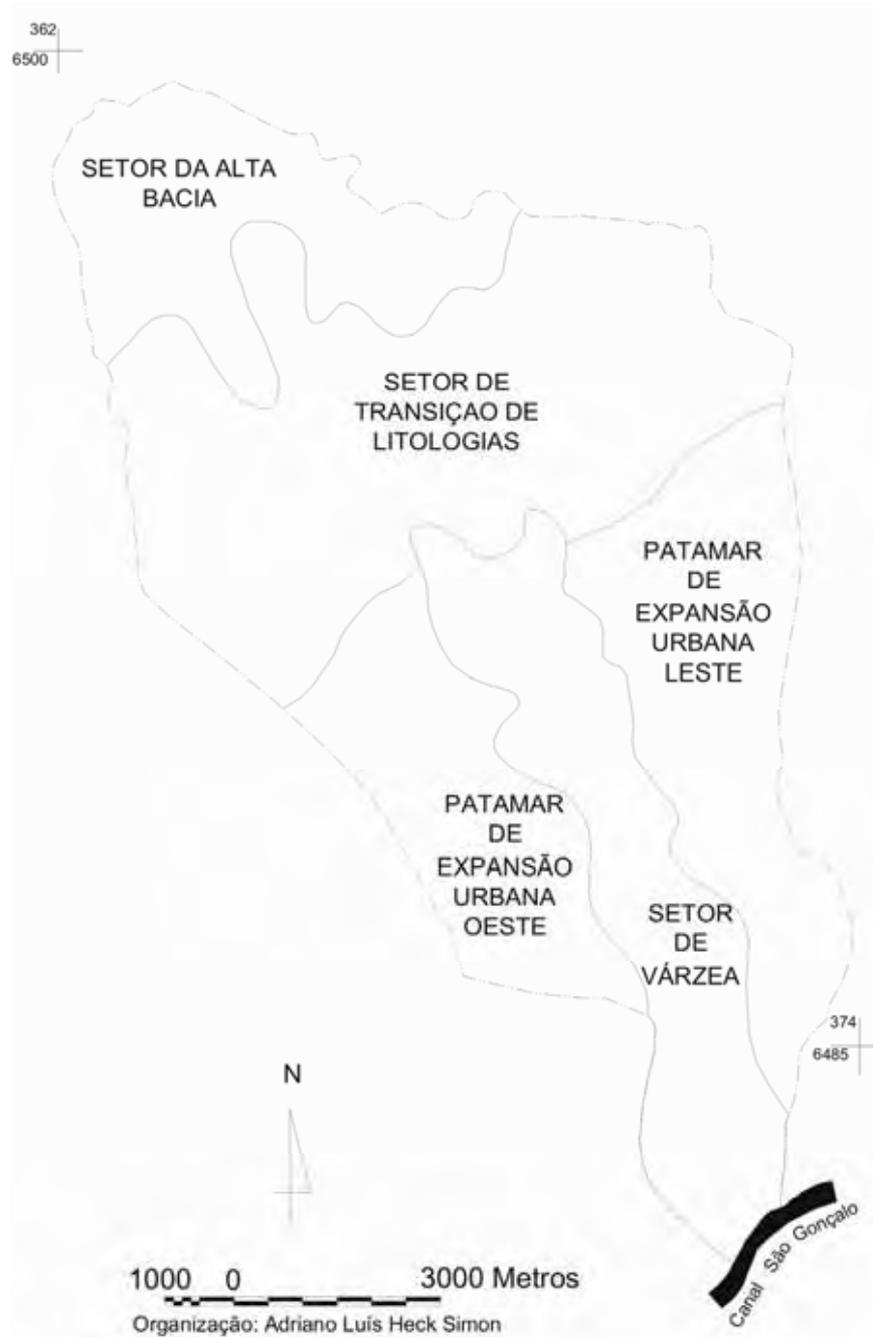


Figura 17: Setores de análise dos dados na bacia do Arroio Santa Bárbara.
Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

A análise do setor de várzea e dos patamares de expansão urbana leste e oeste ocorreu sob a perspectiva das intervenções ocasionadas pela evolução da estrutura urbano-industrial sobre a morfohidrografia. No entanto, o setor de várzea apresentou transformações vinculadas principalmente às obras de engenharia, voltadas para a drenagem de terras úmidas, que por sua vez tiveram caráter decisivo na evolução do aglomerado urbano para além dos limites dos patamares leste e oeste – onde ocorreu a

germinação do núcleo urbano pelotense – ocasionando o aumento das superfícies impermeabilizadas nesse segundo setor considerado. Apesar de distinções verificadas nos mecanismos de controle, conexões intrínsecas puderam ser realizadas sob o ponto de vista das alterações na estrutura e dos processos naturais na baixa bacia Santa Bárbara, que engloba o setor de várzea e os patamares de expansão urbana leste e oeste.

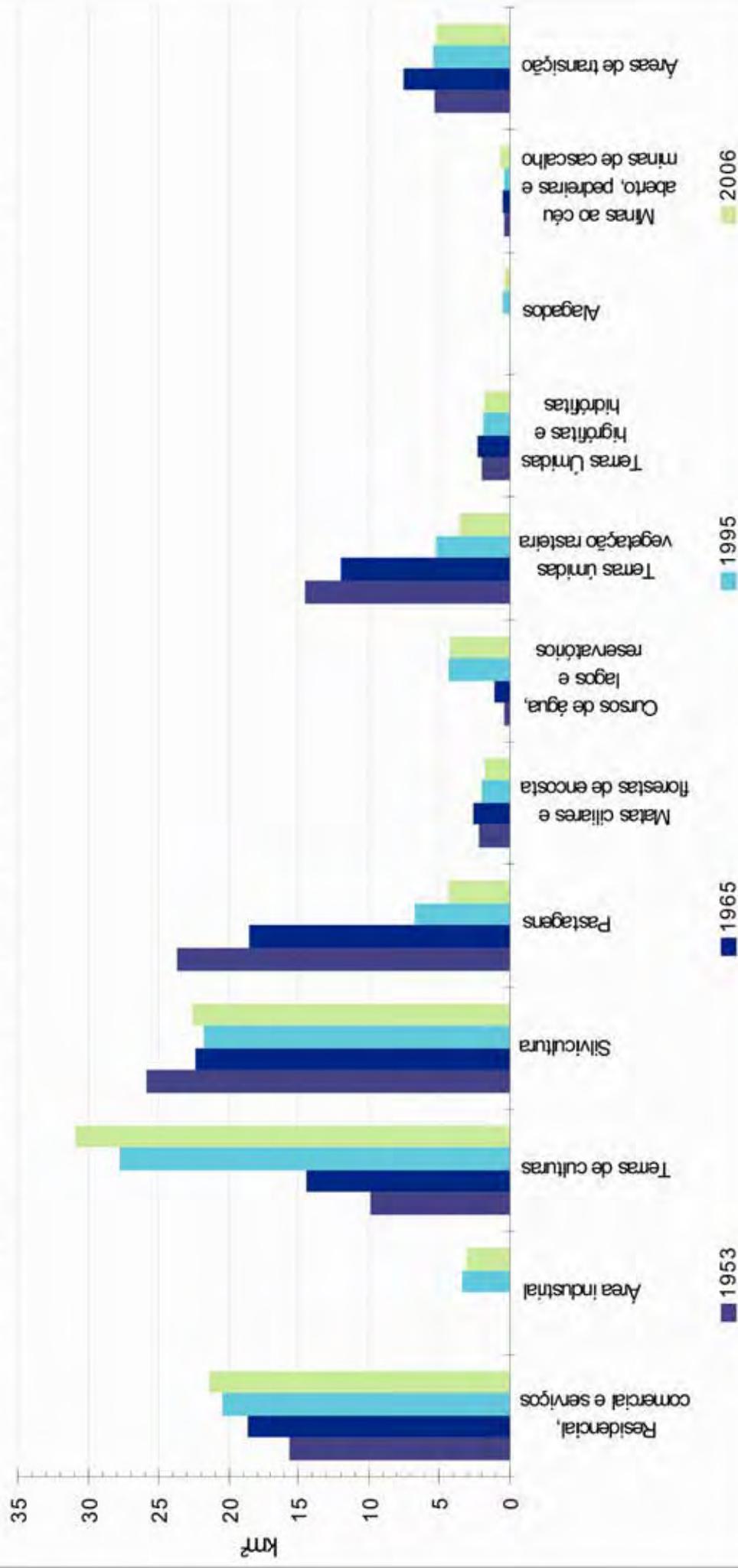
Os patamares de expansão urbana leste e oeste, embora caracterizados como setores diferentes, foram analisados em conjunto, todavia, respeitando as distinções na dinâmica de uso da terra e nas alterações na morfohidrografia. Essa condição possibilitou interpretações singulares diante das peculiaridades de cada setor, bem como sua relação com aspectos gerais de alteração no uso da terra e na morfohidrografia da bacia Santa Bárbara.

Os setores de transição de litologias e de nascentes, por sua vez, foram analisados sob a perspectiva da evolução do uso da terra em zonas rurais e das diferentes derivações geradas pelas técnicas utilizadas no trato de cultivos agrícolas e na silvicultura. Apesar de diferenciações na característica e na intensidade das alterações morfohidrográficas terem sido constatadas nesses dois setores, procurou-se estabelecer vínculos que permitiram compreender a relação dos fenômenos derivados de mecanismos de retroalimentação entre os elementos e os atributos do sistema ambiental transformados pela ação antrópica.

Torna-se importante ressaltar que a compartimentação da bacia Santa Bárbara em setores não vem estabelecer uma abordagem reducionista na efetivação da análise dos dados. Isso porque, de acordo com Morin (2002, p. 103), é preciso haver uma redução consciente, ou seja, aquela que sabe que é necessário dividir, hierarquizar e selecionar para que a simplicidade possa reunir-se à complexidade do objeto de estudo, por meio de contra-processos, que são a comunicação e a articulação daquilo que foi dissociado em um primeiro momento.

De forma geral, a dinâmica de uso da terra ocorrida na bacia do Arroio Santa Bárbara – comparada a partir de dados que demonstram o aumento e a diminuição das classes de uso da terra em km² (Gráfico 3) - destaca a evolução espacial de cinco classes em especial: (1) residencial, comercial e serviços – identificadas em vários momentos ao longo do texto como área urbana ou estrutura urbana; (2) as terras de cultura; (3) áreas de pastagem; (4) cursos de água, lagos e reservatórios e (5) terras úmidas cobertas por vegetação rasteira.

Gráfico 3: Evolução espacial das classes de uso da terra na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas (RS)



Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

Os demais usos da terra apresentaram-se coadjuvantes sob o ponto de vista da dinâmica espacial ocorrida na bacia Santa Bárbara, porém com mesmo grau de interesse e relevância diante das alterações morfohidrográficas sucedidas. O Gráfico 3 atenta para uma análise prévia do comportamento do uso da terra que conduz o leitor a um entendimento primário da dinâmica espaço-temporal ocorrida na bacia Santa Bárbara. Durante a análise dos setores, primou-se pela contextualização dos padrões de uso da terra por meio de mapas comparativos e gráficos de evolução espacial, que indicam a porcentagem em relação ao total de área da bacia e a evolução areal (em km²) de algumas classes mais representativas.

5.1 O setor de várzea e as alterações morfohidrográficas vinculadas às obras de engenharia

O desenrolar das alterações morfohidrográficas ocorridas no setor de várzea da bacia do Arroio Santa Bárbara pode ser compreendido a partir de uma perspectiva histórico-narrativa, que engloba períodos em que ocorre a implementação dos mecanismos de controle e a fase das intervenções efetivas destes sobre os elementos e os atributos naturais, além dos processos derivados, considerando as conseqüências das transformações impostas ao longo do tempo e sua dimensão espacial. Dessa forma, a análise das alterações ocorridas no setor de várzea procura constituir uma linha do tempo, lançando mão de conjugações pretéritas, presentes e, em alguns momentos, futuras, haja vista a necessidade de predizer prováveis conseqüências advindas das ações atuais.

O setor de várzea localiza-se na porção centro-sul da bacia do Arroio Santa Bárbara (Figura 17). Encontra-se assentado, predominantemente, sobre depósitos sedimentares holocênicos, pertencentes à unidade geomorfológica da Planície Lagunar, que estão temporário ou permanentemente inundados por água de arroios ou lagoas (RADAMBRASIL, 1986). A morfologia original dessa zona é constituída por superfícies aplainadas e homogêneas, pouco inclinadas, com altitudes que não ultrapassam os 10m nos limites com o setor de transição de litologias (De LEON, 1986).

Nessa porção da bacia, a característica estrutural aliada à atuação dos processos geomorfológicos e hidrológicos foi responsável pela consolidação de uma ampla zona de terras úmidas, localizada sobre depósitos areno-argilosos e drenada por uma complexa rede fluvial composta por inúmeros canais de drenagem. Durante as atividades de foteointerpretação realizadas sobre as aerofotografias do ano de 1953, foi possível constatar

a existência desses inúmeros canais de drenagem nas terras úmidas do setor de várzea. No entanto, diante da escala de análise adotada para a presente pesquisa, foram mapeados apenas os mais representativos.

A superfície de terras úmidas localizada no setor de várzea encontra-se delimitada por rebordos erosivos que indicam a ação das águas correntes no desgaste dos patamares leste e oeste, formando zonas de sedimentação e concentração de água. A cobertura vegetal original predominante nessa porção do setor em questão insere-se na classe de uso das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira (Quadro 6, Figuras 11, 13, 15 e 16) e corresponde às formações arbustivas e rasteiras adaptadas a variações no nível do lençol freático e a solos mal ou muito mal drenados. O mapeamento geomorfológico do ano de 1953 (Figura 10) apresenta várias características da morfologia original dessa área, situada na porção central do setor de várzea, que foi significativamente alterada a partir da intervenção humana por meio de obras de engenharia.

Acreman; Miller (2006) ressaltam que a maioria das terras úmidas encontra-se hidrologicamente conectada com outros corpos de água, incluindo rios, lagos, estuários, lençóis subterrâneos e o mar. O sistema de concentração de água existente na porção central do setor de várzea da bacia Santa Bárbara apresentava conexão com a rede de drenagem oriunda dos setores de nascentes, de transição de litologias e dos patamares de expansão urbana leste e oeste, concentrando a maior parte do escoamento da bacia de captação do Arroio Santa Bárbara (Figura 10). Além do mais, a interferência das oscilações do lençol freático exercia aspecto relevante sobre o sistema hidrológico dessa zona de terras úmidas, controlando o regime de escoamento dos canais e as fases de desenvolvimento da vegetação rasteira.

O escoamento oriundo dos demais setores da bacia Santa Bárbara era drenado lentamente pela complexa rede de canais até sua confluência com o curso final do Arroio Santa Bárbara. Essa conexão ocorria a partir do estreitamento da superfície de terras úmidas, por meio da aproximação de dois patamares mais elevados existentes na porção sul do setor de várzea (Figura 10). Tal situação gerava a concentração e o afunilamento do escoamento superficial para o curso final do Arroio Santa Bárbara até sua foz no Canal São Gonçalo.

No limite sul do setor de várzea, às margens do Canal São Gonçalo, ocorrem depósitos flúvio-lacustres, originados do processo de colmatagem da Lagoa Mirim, a partir da deposição de sedimentos oriundos da dinâmica lagunar Patos-Mirim e da dinâmica

fluvial de diversos arroios, que têm seu deságüe no Canal São Gonçalo. Essa última porção do setor de várzea encontra-se coberta por vegetação de banhado que, de acordo com Menegat (2001, p. 59), “apresenta diferentes fases sucessionais de passagem dos vegetais de áreas mais úmidas para terrenos um pouco mais secos”.

As espécies herbáceas, que predominam nesse complexo, são fixas ou flutuantes e se organizam em zonas sucessionais junto às margens de pequenos corpos de água. Esse tipo de cobertura vegetal foi inserido na classe de uso das terras úmidas cobertas por higrófitas e higrófilas (Quadro 6, Figuras 11, 13, 15 e 16).

Coates (1976) e Bullock; Acreman (2003) compactuam com o fato de que as terras úmidas, apesar das inúmeras características e distinções - banhados, várzeas, zonas de vegetação rasteira, pântanos, brejos, lamaçais e charcos -, possuem funções especiais na dinâmica fluvial e no aporte de sedimentos em bacias hidrográficas, atuando como “esponjas” que absorvem a água em períodos chuvosos e úmidos, cedendo quantidades significativas durante períodos de estiagem a partir da atuação do lençol freático. Os autores citados apontam também que a manutenção dessas terras de forma integral, ou mesmo parcial, auxilia no equilíbrio dos processos hidrológicos, principalmente nas porções mais baixas das bacias hidrográficas.

As terras úmidas cobertas por vegetação rasteira e as zonas de banhado, inseridas no setor de várzea da bacia do Arroio Santa Bárbara, foram palco de grandes transformações nos elementos naturais, sobretudo na morfologia original e na rede hidrográfica. Tais alterações vinculam-se principalmente à efetivação de obras de engenharia, consolidadas no intuito de proporcionar o crescimento urbano e o desenvolvimento econômico do município de Pelotas por meio do controle da estrutura e dos processos naturais da área.

As alterações morfológicas e hidrográficas resultantes das técnicas de apropriação espacial que propiciam a expansão da estrutura urbana são identificadas em vários estudos, sob diferentes perspectivas. Rodrigues (2005) procurou reconhecer os sistemas geomorfológicos em seus diversos estágios de intervenção antrópica na metrópole paulista, distinguindo os estágios de pré-perturbação, perturbação ativa e pós-perturbação, oriundos de mecanismos de controle antrópico, identificando fases em que a morfologia apresenta características originais e antrópicas. Peloggia (2005), em estudos realizados no município de São Paulo, analisou a ação do homem sobre as formas do relevo, constatando a modificação e a criação dos processos geomórficos e das formas de relevo pelo homem.

Estudos recentes, realizados por Oliveira et al. (2006), procuraram constatar e analisar as modificações impostas à rede de drenagem do Arroio Cadena, no estado do Rio Grande do Sul, decorrentes da expansão urbana de Santa Maria. Os autores consideraram três tipos de intervenções nos canais fluviais: *Canais Abertos*, escoando abertamente, com modificações nas margens; *Canais Fechados*, percorrendo a área urbana controlados por galerias de concreto; *Canais Mistos*, abertos em alguns trechos e fechados em outros por galerias setorizadas; além dos *Barramentos*, realizados em canais fluviais visando ao controle da vazão. Alterações em planícies de inundação, aceleração dos processos erosivos e feições erosivas localizadas puderam ser identificadas e foram consideradas como derivadas das alterações morfohidrográficas resultantes de obras de engenharia citadas.

Kentula et al. (2004) avaliaram as conseqüências da evolução urbana de Portland (USA) durante 16 anos (1982-1998) sobre zonas de terras úmidas, uma vez que a expansão urbana dessa cidade efetivou a modificação e a destruição de muitas áreas temporariamente alagadas, desencadeando alterações nos processos geomorfológicos e hidrológicos. Os autores constataram a expressiva redução das zonas de terras úmidas, evidenciando a destruição e a diminuição areal de algumas dessas áreas destinadas à construção civil, à ampliação de aeroportos, à construção de estacionamentos, shopping centers, além de zonas de expansão agrícola.

Os estudos supracitados possibilitam relacionar e, por vezes, compreender como são instituídas e quais são as conseqüências de muitas alterações morfohidrográficas identificadas a partir dos mapeamentos geomorfológicos na bacia Santa Bárbara. De acordo com Peter (2004), o Arroio Santa Bárbara teve uma posição importante na história da cidade de Pelotas, já que o povoamento inicial estabeleceu-se, em função das charqueadas, nas várzeas do Canal São Gonçalo, do Arroio Pelotas e do Arroio Santa Bárbara pelo vínculo com o transporte hidrográfico.

Entretanto, essa mesma posição, fundamental ao fortalecimento da estrutura urbana pelotense, também foi o vetor das grandes transformações desencadeadas, uma vez que a malha urbana pelotense, ao extrapolar os limites do patamar onde fora inicialmente consolidada – a leste do curso –, passou a ocupar as zonas marginais do Arroio Santa Bárbara. Peter (2004) destaca também que em 1845, 1847 e 1850 foram construídas as primeiras pontes sobre o arroio, na porção sul do setor de várzea, onde a evolução do núcleo urbano atingiu primeiramente as margens do curso. Esses acontecimentos indicam

as primeiras intervenções efetivas sobre o Arroio Santa Bárbara e permitiram a comunicação com outros municípios vizinhos, além da dinamização da ocupação urbana nos patamares localizados a oeste do arroio.

A cidade foi se aproximando cada vez mais da várzea do Arroio Santa Bárbara, que em 1921, já estava completamente envolvido pela malha urbana **na porção sul do setor de várzea**. Com a urbanização veio também a retirada da vegetação original [...]. Ruas foram abertas e pavimentadas, impermeabilizando ainda mais o solo. Edificaram-se prédios que dificultavam ainda mais o escoamento natural das águas. (PETER, 2004, p. 14, grifo nosso).

Simon (2005) explica que as precárias condições sanitárias dos imóveis urbanos situados às margens do Arroio Santa Bárbara, aliadas ao despejo de dejetos orgânicos por parte de hospitais e indústrias (essas últimas em incipiente desenvolvimento), acarretaram no gradual processo de poluição do curso em seu segmento final, tornando o mesmo um constrangimento para a população local. Aliadas a essa situação, as cheias dos anos de 1914 e 1941, além de outros transbordamentos após precipitações intensas, evidenciavam as conseqüências do descaso do poder público e da população pelotense com o Arroio Santa Bárbara.

Diante dessa situação e no anseio pelo desenvolvimento econômico de Pelotas, no início da década de 1950 foram arquitetados e firmados projetos que propunham a intervenção nas terras úmidas do setor de várzea, por meio de obras de engenharia que incluíam a transposição, a canalização e a retificação do Arroio Santa Bárbara, além da construção do Reservatório Santa Bárbara (próximo ao limite norte do setor de várzea), haja vista que a demanda de água não atendia mais a crescente população pelotense. Tais ações tinham como objetivo suprir prioridades do poder público municipal como:

(1) a amenização das enchentes que atingiam a área urbana marginal ao Arroio Santa Bárbara na porção sul do setor de várzea. Uma vez transposto da área central para um local distante da estrutura urbana, o leito original do arroio poderia ser aterrado, viabilizando a ocupação urbana;

(2) a drenagem das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira na porção central do setor de várzea, para promover a interligação das zonas de patamares leste e oeste - predominantemente urbanizadas - e possibilitar a expansão da estrutura urbana e,

(3) como conseqüência das ações anteriores, a consolidação de um vertedouro para o reservatório Santa Bárbara – cuja construção inicia-se no período de conclusão das obras de drenagem e canalização do arroio no setor de várzea (SIMON, 2005).

Scheidleder et al. (1996) destacam que as obras de drenagem sobre terras úmidas causam a degradação de importantes áreas de retenção de água, onde se concentra grande biodiversidade que auxilia nas trocas e retenções de nutrientes. Por causa da remoção de água dessas áreas de inundação efêmeras, aumentam os níveis de escoamento superficial como também o risco de inundações a jusante. Os autores citados inferem também sobre as alterações no nível do lençol freático, que tende à diminuição em porções da bacia hidrográfica atingidas por mecanismos de controle que visam à drenagem de terras úmidas, desencadeando o desequilíbrio das espécies vegetais e da dinâmica fluvial.

Dessa forma, a partir dos mapeamentos de uso da terra e geomorfológicos realizados, foi possível definir duas fases que englobam distintos níveis de implantação e intervenção dos mecanismos de controle no setor de várzea da bacia Santa Bárbara. A fase inicial ocorre nos dois primeiros cenários analisados, demonstrando as etapas primárias das obras de canalização e drenagem das terras úmidas. O segundo período se refere as intervenções em maior escala, evidenciando as derivações da ação humana sobre os elementos do sistema ambiental no setor de várzea. Apesar da análise dos períodos distintos, é preciso considerar que os processos decorrentes de intervenções em uma ou em outra fase mantêm relação direta, em face dos desequilíbrios desencadeados ao longo do tempo histórico sobre os elementos do sistema ambiental da bacia Santa Bárbara.

5.1.1 Fase inicial das transformações: 1953 e 1965

O mapeamento geomorfológico realizado sobre o cenário de 1953 (Figura 11) evidencia os primeiros estágios de intervenção antrópica na dinâmica fluvial do setor de várzea. Verifica-se o início das atividades de canalização do Arroio Santa Bárbara ao longo desse setor, por meio da construção de um canal retilíneo que efetivou a captação do escoamento na junção do Arroio Santa Bárbara e Arroio do Meio, ao norte do setor de várzea – responsáveis pela drenagem dos setores da alta bacia e de transição de litologias – com o segmento final do Arroio Santa Bárbara – ao sul do setor de várzea – receptor do escoamento da extensa área de terras úmidas cobertas por vegetação rasteira drenada por canais de pequeno porte.

Essa etapa das atividades concentrou o escoamento dos cursos à montante em um único canal artificial, alterando a dinâmica fluvial da área de terras úmidas, pois, estando a maior parte do fluxo da bacia de drenagem controlada pelo canal em construção, o escoamento de água e o carreamento de sedimentos pela rede de canais existente sobre os

depósitos areno-argilosos de superfície sofreriam decréscimos. Tendo sua capacidade de concentração e escoamento de água diminuída, essa zona estaria suscetível à gradual ocupação, tanto por avenidas como por lotes urbanos, uma vez que mudanças no regime de concentração de água e formação de terrenos menos encharcados passariam a ocorrer.

As intervenções iniciais descritas proporcionariam a introdução de outras obras de engenharia nos anos seguintes, que dariam cabo à drenagem das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira, pois, à medida que a área urbana desenvolvia-se para além das topografias mais elevadas dos patamares leste e oeste, era necessário o aprimoramento do sistema viário para interligar os bairros. Tal situação demonstra a intenção do sistema socioeconômico sobre o sistema ambiental, na aplicação de técnicas que alteram as características naturais dos elementos e processos físicos, a fim de possibilitar a ocupação e a utilização dos recursos naturais a favor da manutenção da dinâmica socioeconômica.

O mapa de uso da terra do ano de 1953 (Figura 10) permite verificar a área ocupada pelas terras úmidas cobertas por vegetação rasteira no setor de várzea. Nele é possível constatar que a estrutura urbana pelotense envolve os terrenos marginais ao curso final do Arroio Santa Bárbara – ao sul do setor de várzea – sendo esse o único elo entre as porções leste e oeste da área urbanizada onde ocorre a maior aproximação dos patamares mais elevados (Figura 10). Verifica-se também o processo de ocupação urbana às margens das terras úmidas na porção centro-oeste do setor de várzea, indicando uma tendência a possível evolução da cidade de Pelotas sobre as superfícies temporariamente inundadas.

A ocorrência de áreas de transição no setor de várzea (Figura 10) também sugere a evolução das atividades antrópicas sobre as terras úmidas. Apesar de denotarem a mudança, não passível de identificação, de um tipo de uso da terra para outro, as áreas de transição identificadas no setor de várzea no ano de 1953 – a partir das atividades de fotointerpretação – apontam para a pressão da estrutura urbana, principalmente sobre áreas de campo nativo e zonas de vegetação rasteira.

O mapa geomorfológico de 1953 (Figura 11) apresenta, de forma geral, poucas alterações na morfologia original do setor de várzea, em comparação aos cenários posteriores. Ele evidencia, pelo contrário, aspectos do relevo desse setor que contribuíram para o reconhecimento de suas características naturais e da dinâmica fluvial existente sobre os depósitos areno-argilosos.

Entretanto, feições antropogênicas derivadas das atividades de canalização puderam ser constatadas durante as atividades de fotointerpretação. Essas se referem

principalmente aos pré-aterramentos realizados em alguns pontos, para o início das obras de construção das BR's 116 e 392 – na porção norte do setor de várzea – além de escavações e acúmulo de materiais para a construção de diques marginais ao canal edificado para a drenagem das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira.

No cenário de 1965, a partir da interpretação do mapa geomorfológico (Figura 13) é possível constatar alterações mais expressivas sobre a morfologia original do setor de várzea. Comparações realizadas com o mapeamento geomorfológico do cenário de 1953 (Figura 11), para esse setor, evidenciaram a gradual redução das terras úmidas situadas sobre depósitos areno-argilosos de superfície, possivelmente resultantes das obras de canalização do Arroio Santa Bárbara.

A análise das aerofotografias do ano de 1965 constatou a diminuição da complexa rede de canais que drenava essa área, bem como a permanência, apenas, dos cursos de maior expressão. A coloração heterogênea na cobertura vegetal, verificada durante as atividades de fotointerpretação, também pode estar relacionada à concentração irregular de água na superfície das terras úmidas, dando origem a áreas mais encharcadas e outras mais secas, onde a cobertura vegetal tende a adaptar-se às novas condições impostas.

Com a progressiva redução do nível de água nas terras úmidas, grande parte dos pequenos canais fluviais componentes da complexa rede hidrográfica do setor de várzea foi extinta. Como consequência desse processo, vários cursos com nascentes nos patamares de expansão urbana leste e oeste – e que deságuam diretamente na zona inundada – tiveram seu nível de base local alterado para o canal de drenagem principal, situado em cotas topográficas inferiores.

Essa situação de alteração no nível de base pode ter contribuído efetivamente para o desencadeamento de retomadas erosivas dos arroios que deságuam nos terrenos inundados, provocando o aumento de superfícies erodidas pela ação do escoamento superficial. Tal característica é verificada no mapeamento geomorfológico de 1965 (Figura 13), sobretudo nas porções oeste e nordeste do setor de várzea, onde o avanço das rupturas de declive em direção aos patamares leste e oeste demonstra a atuação das águas correntes sobre terrenos sedimentares que possuem maior suscetibilidade aos processos erosivos. Tais mudanças nas rupturas de declive podem refletir o ajustamento das vertentes a uma nova dinâmica de fundo de vale ocasionada pela mudança do nível de base local.

Estudos realizados na cidade de Portland (USA) por Kentula et al. (2004), procurando constatar a interferência da expansão urbana sobre terras úmidas, indicaram

que as alterações derivadas das ações antrópicas, diretas e indiretas, sobre as superfícies temporariamente alagadas ocasionaram a transformação das mesmas em terrenos hidrogeomorfologicamente atípicos. Essas superfícies atípicas apresentam potencial ecológico, hidrológico e geomorfológico negativo, devido ao aumento da estabilidade dos solos – menor permeabilidade e alterações da camada orgânica – e à diminuição no nível de água superficial e aprofundamento dos terrenos, uma vez que camadas flutuantes de matéria orgânica e sedimentos tiveram sua sustentação decrescida em virtude da diminuição da lâmina de água. Esse último fator, assinalado pelos autores, pode estar vinculado às alterações verificadas nos canais fluviais do setor de várzea e também nos patamares de expansão leste e oeste da bacia Santa Bárbara, já que o aprofundamento do vale alterou o nível de base local, levando ao ajustamento dos arroios.

O entalhamento fluvial produzido pelos arroios e o paulatino recuo das rupturas de declive ocasionaram a deposição do material erodido nas bordas da superfície das terras úmidas. Esse processo originou o gradual aterramento e diminuição dos depósitos areno-argilosos de superfície mais antigos, evidenciados na Figura 13, ao longo de todo o setor de várzea, formando depósitos recentes, derivados da aceleração dos processos erosivos a partir dos mecanismos de controle antrópico impostos aos processos naturais do sistema ambiental.

Fica evidente, dessa forma, que a atuação dos mecanismos de controle sobre os elementos do sistema ambiental pode alterar alguns processos em prol da dinâmica socioeconômica, sendo que a interferência drástica sobre esses processos condiciona a ajustes diante das novas características impostas, buscando um novo equilíbrio dinâmico, que pode muitas vezes confluir em efeitos negativos, como no caso da erosão acelerada ocorrida sobre os rebordos situados nos limites do setor de várzea.

No mapa de uso da terra do ano de 1965 (Figura 12), a análise voltada ao setor de várzea aponta para a diminuição das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira, principalmente na porção norte desse setor. Nesse ponto, ocorre a conexão do Arroio Santa Bárbara como o Arroio do Meio – responsáveis pelo escoamento dos setores de nascentes e de transição de litologias – e que desaguavam nas terras úmidas cobertas por vegetação rasteira.

As obras de canalização no setor de várzea iniciam exatamente na junção desses arroios, fazendo com que o escoamento, que antes se distribuía pela complexa rede de canais, fosse drenado pelo canal artificial, desencadeando, gradualmente, a drenagem das

terras úmidas que tornaram-se menos encharcadas, sendo substituídas por zonas de pastagem e agricultura.

No que tange à ocupação urbana e à progressão espacial das áreas de transição, o mapa de uso da terra do ano de 1965 (Figura 12) aponta para evoluções pouco significativas dessas duas classes de uso sobre as terras úmidas localizadas na porção central do setor de várzea. Essa conjuntura, porém, possui exceções, como no caso do avanço da área urbana na porção sul do setor em questão, derivado do gradual processo de aterramento do antigo leito do Arroio Santa Bárbara e do avanço da malha urbana no sentido dos patamares para o setor de várzea, que nos anos seguintes tornar-se-ia mais expressivo.

A análise do mapa geomorfológico do ano de 1965 (Figura 13) evidencia ainda a evolução das obras de canalização do Arroio Santa Bárbara, iniciadas na década de 1950 e constatadas no mapeamento geomorfológico do ano de 1953 (Figura 11). A transposição do curso final do arroio para um local distante do adensamento urbano foi efetivada a partir da ampliação do canal artificial até a foz, no Canal São Gonçalo. Para isso, cortes na topografia – localizada à margem oeste do curso final do Arroio Santa Bárbara – foram realizados (Figura 13, sul do setor de várzea), possibilitando a passagem do curso retilinizado e seu escoamento até o São Gonçalo.

Durante as atividades de fotointerpretação sobre o cenário de 1965, constatou-se que as obras de canalização encontravam-se parcialmente concluídas e o curso final do Arroio Santa Bárbara, interceptado pela transposição, teve sua contribuição ao escoamento final da bacia Santa Bárbara significativamente reduzido, passando a drenar apenas o escoamento pluvial urbano, tornando-se assim um canal abandonado. Essas afirmações sustentam-se na constatação de mecanismos de controle impostos ao curso final do Santa Bárbara, como a construção de diques – marginais ao curso retilinizado – que desviaram o escoamento, subtraindo-o do segmento final do Arroio Santa Bárbara.

Nos anos seguintes, galerias subterrâneas foram construídas para realizar o escoamento pluvial, possibilitando a ocupação do leito aterrado, na porção sul do setor de várzea. Tais alterações na dinâmica fluvial, porém, não foram suficientes para evitar a continuidade das enchentes, uma vez que as condições morfológicas naturais continuaram a conduzir o escoamento superficial para o fundo de vale então aterrado, causando alagamentos após períodos de precipitação intensa (PETER, 2004).

Obras de canalização como as efetivadas no setor de várzea da bacia Santa Bárbara são consideradas inadequadas por vários profissionais, pois podem confluir em efeitos prejudiciais ao sistema ambiental, como degradação estética da paisagem, retomadas erosivas e deposição acelerada de sedimentos, além de impactos em ecossistemas aquáticos e subaquáticos existentes na planície de inundação (Cunha, 2001; Coates, 1976, Christofolletti, 1980). O controle exercido sobre a dinâmica fluvial, por intermédio dessas obras de engenharia, desencadeia alterações nos fluxos de matéria e energia pelo sistema, alterando as características dos processos naturais por meio da transformação dos mecanismos de transporte e deposição dos sedimentos.

Simultaneamente à finalização das ações de canalização e de retificação do Arroio Santa Bárbara (no final da década de 1960), são iniciadas e concluídas as obras do reservatório homônimo, arquitetado para prover água à crescente população urbana e à iminente evolução industrial pelotense. Sua construção ocorreu no limite norte do setor de várzea, sobre terrenos temporariamente alagados, onde se dá a confluência de dois arroios – Santa Bárbara e Arroio do Meio (Figura 13) – que respondem pelo escoamento proveniente dos setores de transição de litologias e de nascentes.

As obras de estruturação do reservatório puderam ser identificadas durante as atividades de fotointerpretação no cenário de 1965, mediante aterramentos efetivados para a construção de estradas, além do aprofundamento do leito do Arroio Santa Bárbara e da construção da barragem. O término das obras de edificação do reservatório viria a completar os planos de drenagem das terras úmidas do setor de várzea, pois todo o escoamento superficial à montante desse setor seria captado pelo reservatório e conduzido pelo canal principal até a foz, no Canal São Gonçalo, sem conexões diretas com as terras úmidas cobertas por vegetação rasteira, controlando o escoamento superficial por meio de válvulas (reservatório e canal), que alterariam a dinâmica dos elementos e atributos do sistema ambiental em prol da evolução dos elementos do sistema socioeconômico.

5.1.2 Intervenções em maior escala no cenário de 1995 e nas representações cartográficas de 2006

A conclusão do Reservatório Santa Bárbara ocorreu no dia sete de novembro do ano de 1968 (PETER, 2004) e sua área de inundação corresponde a aproximadamente 2,76 km². Os mapas de uso da terra e geomorfológico do ano de 1995 (Figura 14 e 15)

apresentam a localização do Reservatório Santa Bárbara na porção norte do setor de várzea.

O lago formado a partir da interceptação do escoamento do Arroio Santa Bárbara alterou o nível de base local dos cursos situados à montante, regulando também os fluxos de água e sedimentos liberados para o Canal Santa Bárbara, localizado à jusante do reservatório em direção ao canal São Gonçalo – foz da bacia em questão. Retomadas erosivas nos cursos que deságuam no reservatório, oriundas de mecanismos de retroalimentação, condicionaram a modificação de alguns vales com fundo plano (identificados nas figuras 11 e 13) para vales com seção transversal em “V” (Figura 15), demonstrando o aumento do potencial erosivo e o conseqüente aprofundamento do leito dos arroios após a construção do reservatório. Essa situação convergiu no aumento das rupturas de declive nas circunvizinhanças do reservatório, além do desgaste e do recuo de rebordos erosivos já existentes e identificados nos mapeamentos geomorfológicos anteriores, indicando a aceleração dos processos erosivos (Figura 15).

A retomada erosiva de muitos dos arroios após a alteração do nível de base – principalmente em terrenos sedimentares que apresentam maior suscetibilidade aos processos denudacionais – pode diminuir o tempo de vida de reservatórios. Procurando identificar os depósitos tecnogênicos do reservatório Santa Bárbara, Korb (2006) realizou a análise de testemunhos geológicos na área em questão.

A autora citada optou pela coleta de amostras subsuperficiais, cobertas pela lâmina de água, abaixo da interface sedimento/água, que “apresentam características que foram determinadas pelos processos deposicionais que atuaram e atuam” (KORB, 2006, p. 98). A desembocadura dos afluentes teve escolha primordial para a realização das testemunhagens, diante do aporte de sedimentos provindos dos arroios e, também, por representarem os locais onde alterações na dinâmica erosiva podem ser identificados com maior ênfase, a partir da análise das características dos testemunhos que destacam a intensidade da interferência das atividades antrópicas sobre os processos erosivos.

A partir da análise da coloração dos grãos, granulométrica, da identificação dos artefatos tecnogênicos, do teor de matéria orgânica e de metais pesados, Korb (2006) pôde demonstrar a existência um passado recente de intervenções em menor escala na bacia Santa Bárbara, com presença esparsa de materiais de origem antrópica em níveis mais profundos dos estratos coletados (abaixo de 0,32 cm).

Nos estratos mais superficiais coletados, localizados acima daquilo que Korb (2006) denomina de “limite da fase menos antropizada” (acima de 0,32 cm), entretanto, foram encontrados sedimentos com texturas e constituições que indicam aumento dos processos erosivos, possivelmente efetivados pela dinamização do uso da terra pelas atividades agrícolas e de silvicultura e também pela reativação fluvial dos arroios da bacia Santa Bárbara.

Nesses estratos superiores, a autora citada pôde indicar também a presença de artefatos e estruturas que comprovam a influência direta das atividades humanas sobre a formação dos depósitos sedimentares no reservatório, como fragmentos plásticos, fragmentos de madeira, fibras vegetais, matéria orgânica, entre outros. Essa situação expressa a interferência dos padrões de uso e de ocupação da terra – enquanto mecanismos de controle humano – sobre a morfologia original e a dinâmica fluvial, confluindo em considerações que demonstram que a rápida dinâmica de uso da terra ocorrida na bacia Santa Bárbara, durante o período analisado pelos mapeamentos, teve significativa influência na aceleração dos processos erosivos da área, evidenciando que as camadas depositadas no reservatório comprovam a aceleração dos processos de controle e degradação ambiental.

A conjuntura verificada por Korb (2006) encontra-se vinculada também às características de uso da terra no setor de várzea em 1995 (Figura 14). Nesse cenário o comportamento do uso da terra apresenta-se mais fragmentado em comparação aos cenários de 1953 e 1965 (Figuras 10 e 12). Na porção norte do setor citado, houve uma evolução significativa das áreas de silvicultura sobre áreas de pastagens, condição decorrente da diminuição da contribuição da atividade pecuária na economia pelotense.

Áreas de transição persistem, sobretudo, na margem leste do setor de várzea e nas proximidades do reservatório. As atividades de fotointerpretação realizadas sobre o cenário de 1995 indicaram que essas áreas de transição englobam características rurais e urbanas, ou então glebas de silvicultura com pequenas áreas de cultivo agrícola, porém não se caracterizando em uma única atividade de uso da terra passível de classificação dentro da proposta de Anderson et al. (1979).

O mapa de uso da terra do ano de 1995 (Figura 14) também evidencia a esparsa cobertura vegetal nas margens do reservatório Santa Bárbara, restringindo-se às margens de alguns cursos que deságuam no lago artificial. A fragilidade dos terrenos desprovidos de cobertura vegetal, diante dos processos erosivos, pode ter contribuído para o aumento das

rupturas de declive identificadas no mapa geomorfológico de 1995 (Figura 15). Aliada a quase ausência de uma cobertura vegetal que garanta a proteção do manto intempérico, a evolução das áreas de silvicultura também pode estar contribuindo para a dinamização dos processos erosivos nas proximidades do reservatório Santa Bárbara.

As características das glebas de silvicultura nessa porção do setor de várzea, constatadas durante os trabalhos de campo, demonstram o plantio das árvores em linhas, na direção dos caimentos topográficos, fato que promove a aceleração dos processos erosivos por meio da formação de sulcos erosivos e ravinamentos. Embora a declividade dos terrenos não seja pronunciada, a estrutura dos solos – arenosos e com baixa constituição argilosa e material orgânico – contribui para a remoção efetiva do manto intempérico, sobretudo quando esse se encontra desprovido de uma cobertura vegetal desejável ou então de um manto de serrapilheira que atue contra a ação dos processos erosivos.

A Figura 18 corresponde à representação atual das alterações na morfohidrografia do setor de várzea, mesclando dados orbitais com a simbologia aplicada aos mapeamentos geomorfológicos e as informações obtidas durante os trabalhos de campo. A Figura 18 (1) demonstra as características da porção norte do setor de várzea no ano de 2006, apontando para processos de desbarrancamento nas margens do reservatório Santa Bárbara.

Essas formas erosivas ocorrem devido à união de dois aspectos do reservatório: (1) as variações na lâmina de água – decorrentes de períodos de estiagem ou de precipitações intensas – e as pequenas ondas formadas no reservatório – causadas pela variação na intensidade dos ventos; e (2) a escassez de vegetação marginal capaz de conter o solapamento basal das margens do reservatório e o conseqüente desmoronamento do material sobrejacente que contribui para o assoreamento do lago. Maiores análises dessa representação cartográfica confirmam ainda as áreas esparsas de cobertura vegetal, bem como a proximidade de atividades de mineração para a extração de areia nas margens do reservatório.

Porém, modificações mais expressivas no uso da terra, identificadas nos mapeamentos dos anos de 1995 (Figura 14) e 2006 (Figura 16), ocorreram na porção central do setor de várzea, onde nos cenários anteriores predominavam as terras úmidas cobertas por vegetação rasteira. A diminuição da área de vegetação rasteira é inversamente proporcional ao aumento da área urbana e das condições de controle impostas sobre o sistema morfohidrográfico para que essa característica de evolução espacial pudesse ocorrer.

A Figura 19 apresenta a evolução espacial das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira e da área urbana (residencial, comercial e serviços) na bacia do Arroio Santa Bárbara. Apesar de abranger toda a bacia Santa Bárbara, a figura torna possível a constatação da dinâmica de uso da terra ocorrida nas porções que contemplam o setor de várzea, diagnosticando o expressivo aumento da área urbana e a drástica redução dos depósitos recentes de superfície, que foram encobertos por aterramentos para a consolidação de lotes urbanos e vias de circulação. Esse processo é resultante dos mecanismos de controle que efetivaram a drenagem das terras úmidas e propiciaram a expansão urbana no setor de várzea. Em 1953, a superfície ocupada pela estrutura urbana na bacia Santa Bárbara correspondia a 13,02 Km², sendo que em 2006 a área total ocupada por instalações urbanas é de 17,74 Km² (Figura 19).

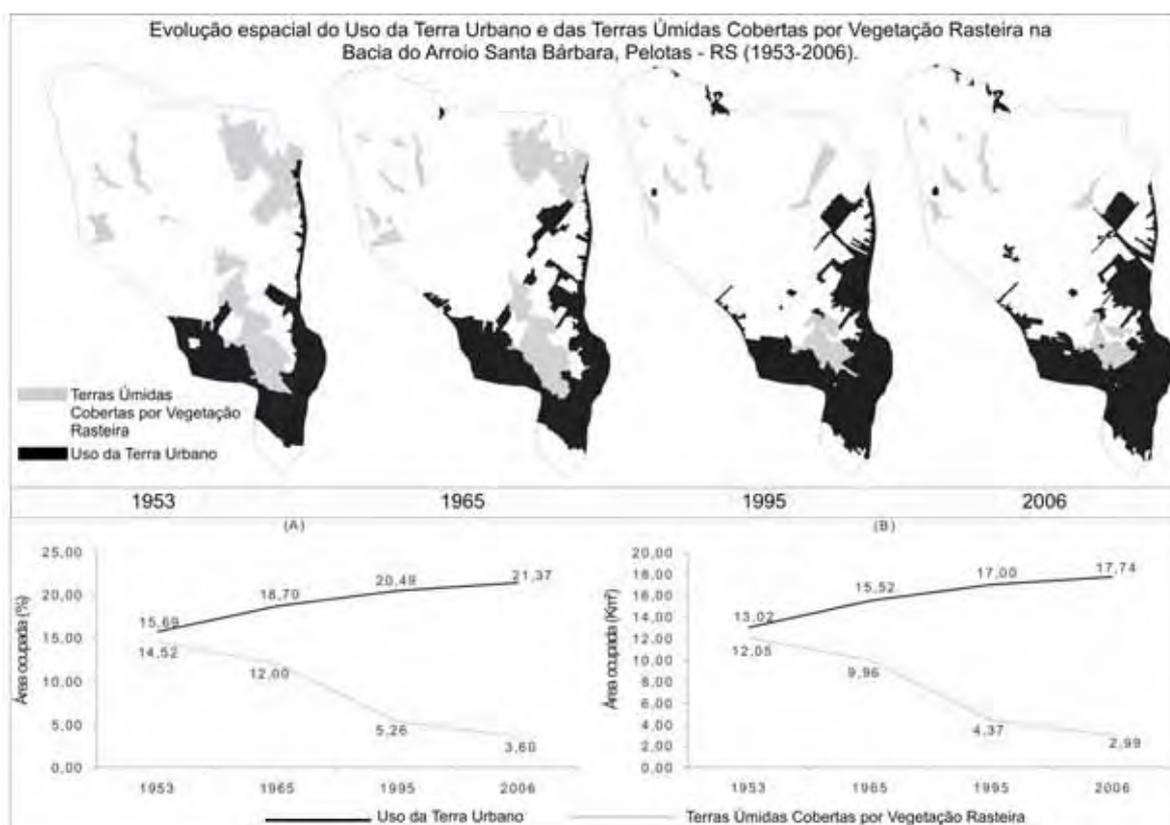


Figura 19: Evolução espacial do uso da terra urbano e das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS (1953-2006).

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

O mapa geomorfológico do ano de 1995 (Figura 15) demonstra, além das feições antrópicas derivadas do processo de canalização do arroio Santa Bárbara, outras formas artificiais oriundas das intervenções humanas sobre o sistema ambiental na porção central do setor de várzea e que contribuiram para a alteração da dinâmica fluvial e das características da morfologia original.

A drenagem das terras úmidas cobertas por vegetação rasteira obteve êxito sob o ponto de vista das intenções do poder público, a partir da canalização do Arroio Santa Bárbara e da construção do reservatório homônimo. Entretanto, o escoamento pluvial e o escoamento de pequenos cursos fluviais com nascentes no setor dos patamares leste e oeste continuaram a ocorrer sobre resquícios de terras úmidas situadas sobre formações arenos-argilosas de superfície.

Dessa forma, canais de pequeno porte foram construídos para drenar as porções de terras úmidas ainda existentes até o canal principal. A Figura 15 evidencia alguns desses canais enquanto a Figura 18 (2) apresenta de forma mais detalhada a gama de cursos

artificiais construídos e que muitas vezes não foram passíveis de identificação durante as atividades de fotointerpretação.

Sobre essas superfícies drenadas foram sendo constituídas, ao longo do processo de evolução da estrutura urbana pelotense, ruas e avenidas que consolidaram a interligação de bairros, que até então possuíam ligação apenas pelas pontes que cortavam o antigo curso do Arroio Santa Bárbara, na porção sul do setor de várzea. A construção dessas vias de circulação – como as Avenidas Getúlio Vargas e Theodoro Müller – lançou mão de aterramentos que permitiram sua retilinidade além de sua construção em níveis altimétricos superiores ao da zona inundável. Porém, seccionaram ainda mais a zona de terras úmidas, condicionando o escoamento dos canais à interceptação por pontes e dutos.

De acordo com Coates (1976), os aterramentos e cortes decorrentes da construção de estradas e também das redes ferroviárias alteram a rota do escoamento superficial e subsuperficial, afetando a estabilidade das vertentes e as características da rede de drenagem. O autor citado ressalta ainda que processos erosivos concentrados podem ocorrer quando sistemas de drenagem artificiais e naturais não são resistentes à contenção de excessos de água.

A consolidação dessas vias de circulação abriu espaço para a efetivação de aterramentos destinados a expansão dos lotes urbanos sobre as áreas antes ocupadas pelas terras úmidas. O mapa geomorfológico de 1995 (Figura 15) evidencia, a partir da simbologia própria, as características impostas a essa zona em virtude dos aterramentos processados. Relacionando as características geomorfológicas representadas na Figura 15 àquelas representadas nas Figuras 11 e 13, constata-se a gradual diminuição em superfície dos depósitos arenosos, os quais foram recobertos por aterramentos que destruíram a vegetação rasteira típica desse setor.

A forma quase retilínea das superfícies aterradas comprova a interferência direta dos mecanismos de controle antrópico sobre essa área. A Figura 18 (2) utiliza a simbologia empregada nos mapeamentos geomorfológicos para representar as feições geomorfológicas originais e o modelado de origem antrópica, caracterizado tanto pelos aterramentos para a expansão da área urbana, como pelas elevações e cortes efetivados durante a construção das vias de circulação.

Fujimoto (2005) ressalta que os arruamentos, mesmo quando respeitando a topografia, cortam e direcionam os fluxos de água, gerando padrões de drenagem artificiais. As ruas transformam-se em leitos pluviais direcionando fluxos que, em sua

morfologia original, possuíam um sistema de drenagem diferente. A autora citada explica ainda que os aterros recobrem a vegetação e os materiais de cobertura superficial de formação natural, criando áreas de descontinuidades entre materiais heterogêneos, além de elevarem altimetricamente a superfície original, alterando sua declividade e drenagem superficial. Todas essas características de interferência atuam diretamente na morfodinâmica do sistema, reduzindo ou aumentando as taxas de erosão e deposição de materiais, que vão, em consequência, influenciar na dinâmica fluvial.

De acordo com Peloggia (2005), a ocupação urbana e sua expansão periférica, especificamente, introduzem elementos perturbadores da topografia ao desenvolver formas de erosão e modelados específicos, decorrentes das formas de ocupação de encostas (favorecendo o desequilíbrio das vertentes) e das várzeas, a partir da retificação dos canais fluviais e o aterramento “em lençol” das planícies. Para o autor citado, as planícies fluviais quaternárias são transformadas em verdadeiras “planícies tecnogênicas” e encontram-se, normalmente, soterradas por terraços antrópicos derivados de aterramentos generalizados, que destruíram os níveis dos terraços originais, os diques marginais e os brejos inundáveis, além da estrutura pedológica local, alterando a dinâmica fluvial.

A Figura 18 (3), por sua vez, representa o segmento final da bacia Santa Bárbara, na porção sul do setor de várzea, onde ocorrem terras úmidas cobertas por higrófitas e hidrófitas – denominados regionalmente de banhados. Nessa porção do setor de várzea, a evolução do aglomerado urbano não possuiu extensão areal significativa, entretanto, consolidou-se de forma extremamente agressiva, por meio de aterramentos não planejados que ameaçam esse ecossistema sensível a pequenos desequilíbrios (Figuras 11, 12, 13 14, 15 e 16, ao sul do setor de várzea). Com o desenvolvimento da urbanização precária, todo o sistema de esgoto e lixo é direcionado para os banhados, provocando uma série de impactos ambientais como a poluição das águas, a quebra na cadeia alimentar e a proliferação de roedores, conforme constatados em diálogos com os moradores locais.

A realização dos trabalhos de campo possibilitou a verificação da precariedade das ocupações irregulares nessa porção do setor de várzea. Aterramentos inconsistentes, realizados com o auxílio de materiais heterogêneos como lixo, restos de construção e troncos de árvores, formam um aglomerado que sustenta as construções sobre terrenos úmidos onde prevaleciam áreas de banhado.

A construção de rodovias de grande importância regional, como a BR 392, responsável pela ligação com o Porto de Rio Grande, além dos aterramentos consolidados

para a construção de vias férreas causaram o seccionamento das zonas de banhado, conforme evidenciam as Figuras 15 e 18 (3). Essas obras de engenharia acarretaram em desequilíbrios na dinâmica fluvial dessa área, uma vez que a deposição de sedimentos e matéria orgânica oriunda desse processo sofreu interferência dos aterramentos efetivados, levando a diminuição do encharcamento de algumas dessas superfícies e também a degradação estética da paisagem de banhado.

O setor de várzea da bacia Santa Bárbara passou por grandes transformações que alteraram as características dos elementos do sistema ambiental. A interferência antrópica pelos mecanismos de controle, ao longo do período analisado, provocou a modificação dos atributos desses elementos, que eram responsáveis pelos processos naturais e que mantinham o equilíbrio da dinâmica erosiva e fluvial dessa área, além da manutenção de uma estrutura que respondia a essa estabilidade, adaptando-se a pequenas variações de ordem natural. O controle antrópico, porém, reajustou os elementos naturais aos novos processos, acelerados ou retardados pelos mecanismos implantados (aterramentos, barragens e canalização), criando dinâmicas diferenciadas que se estabeleceram em prol da evolução do sistema socioeconômico, definidas pelas atividades de uso da terra.

Essa evolução, porém, foi vetor de desequilíbrios decorrentes da busca dos elementos naturais e seus atributos ao novo perfil de equilíbrio que foi sendo moldado pelas intervenções humanas. Esse novo perfil pode ser caracterizado pelas taxas de erosão aceleradas nas margens do reservatório – devido à ausência de cobertura vegetal satisfatória –, pela resposta dos cursos de água ao novo nível de base local demarcado, pelo recuo e aumento no número de rupturas topográficas não somente no setor de várzea e também pela alteração na dinâmica fluvial em todo o setor de várzea. Essa situação ocorre em consequência da implantação de mecanismos de controle, como as obras de retificação, canalização e interceptação de cursos de água, que foram, progressivamente, transformando os fluxos de escoamento de água e sedimentos pelo setor de várzea, bem como pela bacia Santa Bárbara, enquanto sistema inerente a ação de mecanismos de retroalimentação.

5.2 Evolução da estrutura urbana nos patamares leste e oeste

Os setores dos patamares leste e oeste (Figura 17), embora considerados de forma distinta devido a sua segmentação espacial, possuem características comuns que possibilitam uma análise integrada, porém, respeitando suas particularidades. A área

delimitada pelos setores em questão encontra-se assentada sobre litologias sedimentares pleistocênicas, pertencentes à unidade geomorfológica da Planície Alúvio-Coluvionar, inserida, por sua vez, na região geomorfológica da Planície Costeira Interna (RADAMBRASIL, 1986).

A morfologia dessas áreas é caracterizada por ondulações mais suaves e planas, com vertentes retilíneas alongadas, conectadas a vales com fundo em V nas nascentes – evidenciando entalhamentos fluviais – e com fundo plano nas zonas de contato com o setor de várzea, onde ocorre deposição de materiais. As linhas de cumeada, quando representativas, se apresentam suaves, indicando, de forma pouco precisa, a divisão da direção do escoamento superficial. O contanto das superfícies planas dos patamares de expansão urbana leste e oeste com as terras úmidas do setor de várzea ocorre por meio de rupturas de declive suaves – 3 a 5m – que em alguns pontos adquirem características mais abruptas (> 5m), (De LEON, 1986).

A consolidação do núcleo urbano pelotense e sua expansão ocorreram primeiramente nas zonas de patamar leste e oeste, cuja característica plana dos terrenos propiciou a estruturação dos arruamentos que definiram o traçado urbano de Pelotas. A evolução dessa estrutura urbana foi viabilizada a partir da década de 1950, quando iniciaram-se as obras de drenagem do setor de várzea e a construção de avenidas conectando os patamares leste e oeste, possibilitando o avanço de loteamentos regulares, e também clandestinos, sobre as terras úmidas cobertas por vegetação rasteira.

Os mapas de uso da terra dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 10, 12, 14) além da representação cartográfica do uso da terra no ano de 2006 (Figura 16) evidenciam o processo de expansão da área urbana pelotense na bacia do Arroio Santa Bárbara, sobretudo nos patamares leste e oeste. A Figura 19 apresenta esse fenômeno por meio da comparação da evolução espacial da área urbana em 53 anos, discriminando uma evolução areal de 4,72 Km².

No patamar leste (Figura 17) as áreas ocupadas pela estrutura urbana estiveram, em todos os cenários avaliados, freqüentemente acompanhadas por áreas de transição, que indicam a passagem de uma classe de uso da terra para outra. Essas áreas de transição apresentaram um comportamento espacial variável durante o período analisado pelos mapeamentos, possuindo dimensão areal e concentração espacial consideráveis nos cenários de 1953 e 1965 (Figuras 10 e 12), sugerindo que transformações no uso da terra encontravam-se em andamento, definindo novos padrões de ocupação espacial. Já nos

mapeamentos de 1995 e 2006 (Figura 14 e 16), nota-se a gradual fragmentação dessas áreas, bem como a sua substituição, especialmente pela estrutura urbana pelotense.

Essa situação permite diagnosticar que as áreas de transição no patamar leste cedem espaço à expansão urbana, fato que já vinha sendo constatado durante as atividades de fotointerpretação dos cenários de 1953 e 1965, quando se observou que as superfícies qualificadas como áreas de transição possuíam uma interação entre qualidades campestres e aspectos urbanos. Ressalta-se aqui que essa é a área de ocupação mais recente da cidade de Pelotas – correspondente ao bairro Três Vendas – onde, sobretudo a partir da década de 1970, desenvolveram-se vilas e condomínios, conjuntos habitacionais e zonas de comércio que fortaleceram a expansão urbana sobre áreas de pastagem e silvicultura, ocupando também zonas antes destinadas às atividades agrícolas. A realização de trabalhos de campo no patamar leste permitiu constatar que as áreas de transição presentes atualmente nessa porção da bacia continuam caracterizadas pela mescla da estrutura urbana com aspectos rurais, sobressaindo-se o gradual avanço da estrutura urbana.

No patamar oeste (Figura 17) os mapeamentos de uso da terra indicam, pelo contrário, reduzida predominância de áreas de transição, apontando para uma estrutura urbana cristalizada que manteve, em geral, as mesmas formas e dimensões areais nos quatro cenários de uso da terra analisados (Figuras 10, 12, 14 e 16). Tal característica decorre do fato de que nesse setor a ocupação urbana é mais antiga – correspondente ao bairro Fragata – tendo ocorrido já nos primeiros anos da formação da cidade de Pelotas ao longo das rotas estabelecidas entre o município com outras regiões do estado e que, aos poucos, foram concentrando aglomerações em suas circunvizinhanças. Entretanto, a evolução urbana no patamar oeste também pôde ser constatada, sucedendo-se, principalmente sobre o setor de várzea, onde predominavam terras úmidas cobertas por vegetação rasteira.

A análise dos mapeamentos de uso da terra no patamar oeste demonstra ainda a ocorrência de áreas industriais no cenário de 1995 (Figura 14), apontando para sua evolução no ano de 2006 (Figura 16). As terras ocupadas por atividades industriais tiveram seu desenvolvimento impulsionado a partir da década de 1970 (VIEIRA, 1994) quando áreas residenciais, comerciais e de serviços foram, paulatinamente, cedendo espaço à evolução de estruturas industriais que, em Pelotas, encontram-se vinculadas ao processamento de frutas e outros gêneros alimentícios, tendo surgido de pequenas manufaturas que se desenvolveram e assumiram a condição de pólo industrial regional.

A construção de importantes corredores rodoviários (BRs 392 e 116) também impulsionou a evolução das áreas industriais, que ocorreu ao longo dessas vias de circulação devido à facilidade de escoamento de produtos e à maior inserção dessas indústrias no cenário estadual, decorrente de sua ligação estratégica com o Porto da cidade do Rio Grande e com a capital do estado, Porto Alegre.

A expansão urbano-industrial pelotense, verificada nos mapeamentos de uso da terra, condicionou a gradual impermeabilização das superfícies dos patamares leste e oeste, irradiando-se também para o setor de várzea. Essa dinâmica no uso da terra ocasionou intensas transformações na morfologia original e na dinâmica fluvial desses setores, caracterizando-se como principal mecanismo de controle antrópico que desencadeou alterações nos elementos e nos atributos do sistema ambiental dessa porção da bacia do Arroio Santa Bárbara.

Araújo et al. (2005) explicam que as alterações hidrológicas na bacia hidrográfica são intensificadas após a consolidação de aglomerações urbanas. As superfícies impermeáveis diminuem a capacidade de infiltração do solo e resultam em um grande aumento no volume do escoamento superficial. Drew (1986) evidencia que os processos hidrológicos que contribuem para retardar os fluxos de água para o rio, tais como infiltração e deslocamento do fluxo subsuperficial, são minimizados com a impermeabilização efetivada pela expansão da malha urbana.

Fujimoto (2002) destaca que o primeiro nível de intervenção do processo de urbanização sobre os elementos do sistema ambiental corresponde à retirada da cobertura vegetal original. O segundo nível de intervenção ocorre por meio da criação de uma nova morfologia, ligada ao meio urbano e, por vezes, às atividades de mineração. A autora citada explica ainda que, nessa fase, são elaborados grandes cortes e/ou aterros no terreno para a instalação do sistema viário e posterior instalação das construções. Durante a instalação das construções, os materiais superficiais são modificados mediante uma nova distribuição, estruturação dos depósitos e de uma modificação na resistência dos agregados.

O aumento das edificações provoca uma alteração mais profunda através de cortes e/ou aterros na morfologia original. Áreas de superfície expostas aumentam de forma significativa. Ocorrem nos arruamentos e nos próprios lotes em consideráveis proporções. Dentro das unidades construídas ocorre uma mescla de unidades habitacionais, superfícies expostas dos quintais e ruas e cobertura vegetal de gramíneas e áreas verdes (vegetação arbórea e/ou arbustiva preservada e/ou introduzida), **corroborando para distúrbios na morfodinâmica** (FUJIMOTO, 2002, p. 22, grifo nosso).

Nesse sentido, as principais alterações na morfologia original e na dinâmica fluvial no setor de patamares de expansão urbana leste e oeste ocorreram a partir da impermeabilização do solo – que ocasionou transformações na drenagem e no escoamento superficial e sub-superficial; das modificações impostas aos caimentos topográficos e à geometria das vertentes, a partir de transformações geomorfológicas derivadas da estruturação de lotes, ruas e avenidas, que se valeram de aterramentos e cortes na morfologia original; além da retificação de cursos de água em alguns pontos ou na sua integralidade, devido a demasiada aproximação da malha urbana com os canais fluviais.

No patamar leste, as transformações na morfohidrografia foram mais intensas em face da significativa evolução espacial do aglomerado urbano (Figura 19) que desencadeou a substituição da cobertura vegetal (campos), áreas de transição e glebas de silvicultura, por superfícies impermeabilizadas. As alterações têm início de forma pontual a partir do nivelamento de terrenos e da abertura das vias de acesso, que desconfiguram os caimentos topográficos originais, procurando manter a regularidade dos lotes diante do aspecto da morfologia original, conforme constatado durante as atividades de fotointerpretação. A concentração destas atividades, no entanto, atua diretamente na morfohidrodinâmica em áreas significativas dentro da bacia hidrográfica.

Piacente (1996) destaca que as atividades humanas em áreas urbanas determinam a interrupção dos processos naturais, governando também a formação dos solos e promovendo a introdução de um “solo antrópico” constituído por áreas asfaltadas e outros tipos de construção. Origina-se, dessa forma, um ambiente artificial, impermeabilizado e controlado por inúmeros canais que conduzem a drenagem superficial. A morfohidrodinâmica passa a ser submetida a esses mecanismos de controle, que retardam ou aceleram processos erosivos condicionando maior movimentação e, ao mesmo tempo, o aumento da concentração de materiais dentro do sistema.

A impermeabilização da superfície conduz o escoamento superficial por vias artificiais (arruamentos, valas e canais pluviais), fazendo com que a água das precipitações percorra em menor tempo o caminho existente entre o ponto de queda da gota e o fundo de vale que concentra a drenagem. A velocidade do escoamento superficial é elevada nas superfícies impermeabilizadas e a infiltração é praticamente nula. Ao atingir o limiar com as zonas não impermeabilizadas, a energia acumulada pelo escoamento superficial torna-se responsável pela aceleração da dinâmica erosiva nessas superfícies, culminando no

aumento do número de canais, podendo transformar-se em feições erosivas localizadas como sulcos e ravinamentos.

Resultados associados a esse processo podem ser verificados a partir da análise dos três mapeamentos geomorfológicos (Figuras 11, 13 e 15), para o patamar leste, mediante constatação do aumento da descontinuidade em superfícies, as quais, no mapeamento geomorfológico de 1953 (Figura 11), apresentavam-se relativamente planas, com pouca rugosidade. O incremento de superfícies descontínuas pôde ser evidenciado nos mapeamentos geomorfológicos, a partir das linhas de cumeada e pela identificação de concavidades nas vertentes, durante a realização das atividades de fotointerpretação.

O cenário de 1965 (Figura 11) aponta para o aumento da rede de drenagem no patamar leste e para a característica dos fundos de vale que, em sua maioria, apresentam seção transversal em “V”, evidenciando o trabalho das águas correntes no entalhamento das superfícies e na aceleração dos processos erosivos. O resultado do processo de esculturação do relevo realizado pela ação das águas correntes pôde ser constatado no cenário de 1995 (Figura 15), no qual verifica-se o aumento das rupturas de declive e o recuo daquelas já existentes, estando esse processo possivelmente relacionado ao acréscimo das superfícies impermeabilizadas e à aceleração dos processos erosivos derivados de alterações na dinâmica fluvial.

Torna-se importante ressaltar que as atividades de fotointerpretação revelaram detalhes da evolução urbana que muitas vezes não puderam ser representados por meio de mapeamento do uso da terra, mas que possuem destaque na análise das alterações na morfohidrodinâmica dos setores dos patamares leste e oeste. Essas informações referem-se principalmente ao aspecto do adensamento urbano que nos anos de 1953 e 1965 apresentava-se de forma menos compacta, com lotes ocupados por poucas residências e impermeabilização parca das superfícies, sendo constatados resquícios de áreas verdes entre os lotes e uma estruturação da malha urbana que ainda respeitava os limites com os fundos de vale.

Nos cenários de 1995 e 2006, entretanto, a interpretação das aerofotografias e das imagens orbitais evidenciou o adensamento da área urbana pelotense. Foram encontradas poucas áreas verdes e lotes sem a presença de construções.

A impermeabilização das superfícies e o revestimento dos arruamentos – em sua maioria asfaltados ou cobertos por paralelepípedos – aumentaram, colaborando para a intensificação dos processos erosivos nas zonas de contato com as superfícies não-

impermeabilizadas, uma vez que essa conjuntura propiciou o incremento na velocidade do escoamento superficial e a diminuição da infiltração no solo. Nos trabalhos de campo constatou-se que a ocupação urbana ocorreu com maior intensidade nas concavidades de vertentes que abrigam cursos intermitentes, ou ainda nas margens de canais fluviais de menor porte, sendo que muitos desses encontram-se controlados por galerias pluviais.

Fujimoto (2002), em estudos que procuraram evidenciar as alterações geomorfológicas e as transformações na dinâmica fluvial derivadas da expansão e do adensamento urbano de Porto Alegre, utilizou o esquema dos níveis de intervenção antrópica sobre a morfologia original para compreender as transformações ocorridas em sua área de estudo. Dessa forma, a autora citada constatou três possíveis fases de intervenção antrópica sobre a morfodinâmica, a partir da evolução da estrutura urbano-industrial:

A Morfologia Original Preservada caracteriza as superfícies que possuem formas muito semelhantes às originais, cujas intervenções morfológicas não foram de caráter direto. Trata-se de áreas onde se estende uma cobertura vegetal com significativo nível de preservação; a *Morfologia Original Semi-Preservada* corresponde às superfícies que sofreram intervenções humanas, principalmente lineares (arruamento), e/ou intervenções por elementos pontuais esparsos, sobre os quais ainda é possível obter informações relevantes da morfologia original; e a *Morfologia Antropogênica*, que corresponde às superfícies que sofreram intervenções antrópicas de forma total ou generalizada. Essas últimas apresentam esparsa cobertura vegetal e áreas verdes introduzidas no interior dos lotes urbanos, agregando superfícies com formas de processos atuais criadas pelas atividades humanas como degraus de corte, superfícies planas e rampas de aterros de representação areolar significativa (FUJIMOTO, 2002).

Rodrigues (2005), em estudos realizados na região metropolitana de São Paulo, destaca que a interferência antrópica como ação geomorfológica pode modificar as propriedades e a localização dos materiais superficiais, interferindo de forma significativa nos vetores, taxas e balanços dos processos, gerando outra morfologia, concebida como *Morfologia Antropogênica*. Tais feições são derivadas da ação direta e indireta dos mecanismos de controle impostos pelo homem, compreendendo também os processos derivados a partir da efetivação dessas intervenções.

Dentro de uma análise que buscou a evolução temporal e espacial das alterações geomorfológicas e hidrográficas decorrentes da expansão da metrópole paulista, a autora

citada compreende a existência de uma *Morfologia Original* que, apesar de sofrer interferências importantes sob o aspecto dos processos, não passou por situações de controle diretas, como remanejamento de materiais, cortes, aterramentos e substituição por materiais tecnogênicos. Essa morfologia, interpretada como original, foi reconhecida a partir da análise do material cartográfico mais antigo que, de acordo com a autora, apresenta “janelas” ou “chaves” para a caracterização das feições originais.

As intervenções antrópicas, à medida que evoluíam com a expansão da estrutura urbana, geraram o que Rodrigues (2005) assinalou de *Morfologia Antropogênica*. A autora citada destaca que foi possível identificar uma apropriação urbana inicial, ocorrida de forma seletiva em compartimentos geomorfológicos até a década de 1920, sendo que as fases posteriores dessa urbanização avançaram sobre áreas menos propícias à expansão urbana, como no caso das planícies de inundação, desencadeando maiores intervenções diretas no sentido de propiciar o avanço da estrutura urbano-industrial e confluindo em formas não-naturais, derivadas do controle antrópico sobre a estrutura e os processos morfohidrográficos.

De maneira geral, o esquema utilizado por Fujimoto (2002) e a proposta de Rodrigues (2005) possibilitam o estabelecimento de algumas relações com os resultados obtidos a partir dos mapeamentos geomorfológicos realizados na área em estudo, e possuem forte aproximação com os aspectos da expansão urbana ocorrida nos setores dos patamares leste e oeste, além das transformações derivadas da evolução da cidade de Pelotas sobre o setor de várzea.

Assim, é possível relacionar o cenário de 1953 (Figura 11) com o nível de *Morfologia Original Preservada* de Fujimoto (2002), conectando-se também com as intenções de Rodrigues (2005) no que tange a *Morfologia Original*. Muito embora alterações oriundas das atividades antrópicas possam ser verificadas no ano de 1953, esse cenário, conforme já assinalado, auxiliou de forma significativa na compreensão das características originais da área em estudo, principalmente a partir das atividades de fotointerpretação, concedendo “janelas” e “chaves” para a análise das alterações morfohidrográficas oriundas dos mecanismos de controle antrópico.

Já os cenários de 1965 (Figura 13) e 1995 (Figura 15) possuem, respectivamente, ampla relação com os níveis de *Morfologia Original Semi-Preservada* e os de *Morfologia Antropogênica*, evidenciados no trabalho de Fujimoto (2002), enquadrando-se, outrossim, nas características da *Morfologia Antropogênica* propostos por Rodrigues (2005),

principalmente nos patamares leste e oeste e no setor de várzea. Isso porque o cenário de 1965 (Figura 13) apresenta a implantação e a evolução das obras de engenharia e da estrutura urbana, evidenciando mecanismos de controle antrópico que já atuam na morfohidrodinâmica, inserindo características artificiais nos processos naturais. O segundo cenário (1995, Figura 15), por sua vez, representa o resultado dos mecanismos de controle e intervenção antrópica impostos às feições geomorfológicas originais e às características da dinâmica fluvial, aproximando-se, ou quiçá representando, aquilo que Fujimoto (2002) e Rodrigues (2005) caracterizam como *Morfologia Antropogênica*.

A representação cartográfica das alterações morfohidrográficas nos patamares leste e oeste para o ano de 2006 (Figura 20) caracteriza a situação de controle antropogênico por meio da inserção da morfografia sobre imagens orbitais que indicam o uso da terra atual. A Figura 20 (2) expõe de forma mais específica as características do fundo de vale de um curso de maior porte localizado no patamar leste.

Nela é possível identificar as características do espaço urbano, no que tange ao seu adensamento, bem como a significativa rede de canais de drenagem derivada da impermeabilização do solo e que, por sua vez, foi responsável pela aceleração dos processos erosivos, determinando o aumento do entalhamento produzido pelas águas correntes sobre as vertentes. Como consequência desse processo, ocorrem escalonamentos nas vertentes (visíveis na figura) formando rupturas de declive suaves que demonstram desequilíbrios na morfodinâmica resultantes do reajustamento fluvial decorrente das atuais características de escoamento superficial e subsuperficial, determinados pelo controle antrópico a partir da evolução da estrutura urbano-industrial.

Representação das principais alterações morfohidrográficas no setores de expansão urbana leste e oeste da bacia do Arroio Santa Bárbara - 2006.

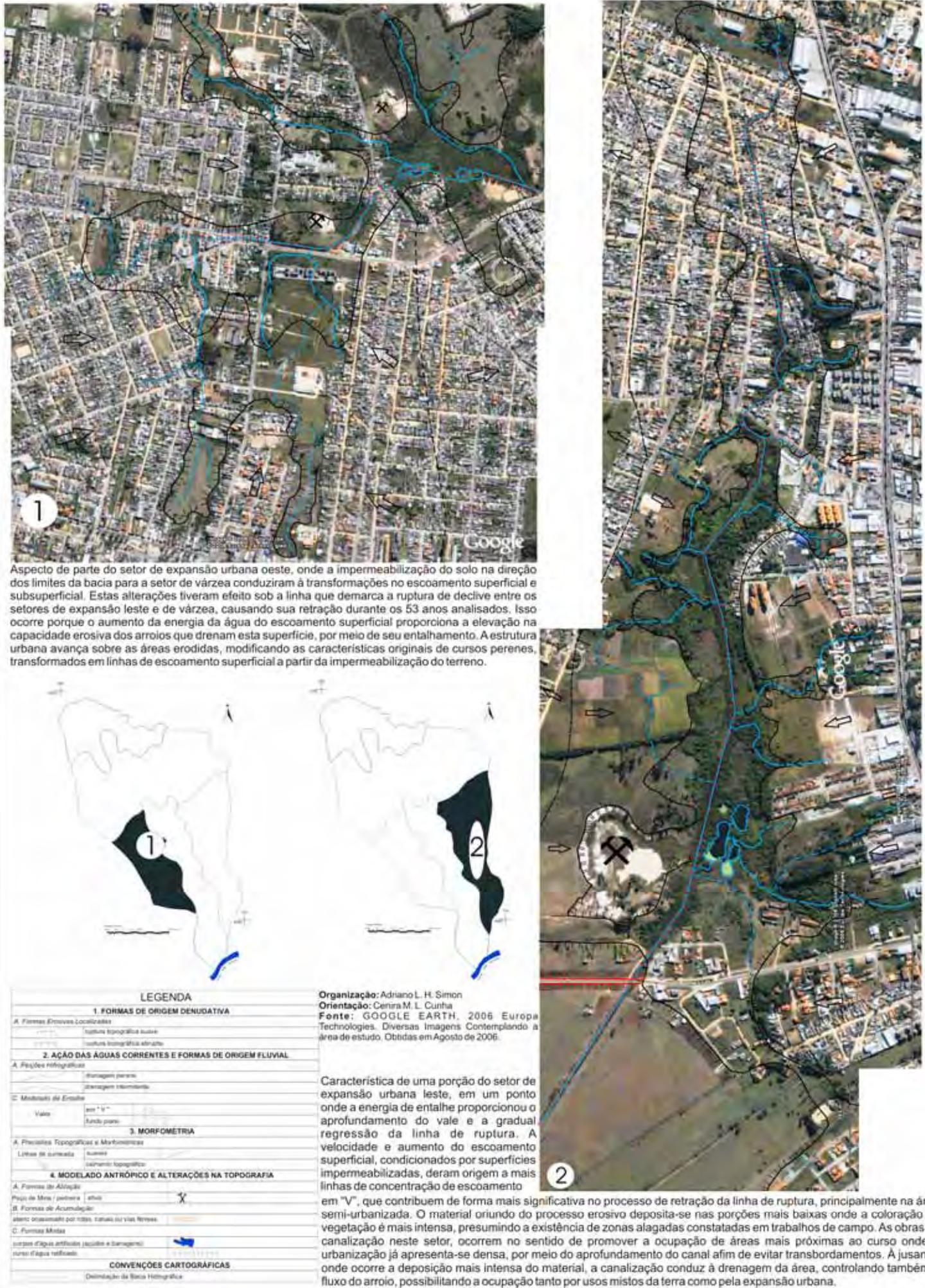


Figura 20: Representação Cartográfica das Principais Alterações Morfohidrográficas no Setor dos Patamares de Expansão Urbana Leste e Oeste da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.

A canalização evidenciada pela Figura 20 (2) insere-se nos planos de drenagem do setor de várzea, uma vez que o canal fluvial representado contribuía diretamente com a superfície das terras úmidas, conectando-se, atualmente, com o Canal Santa Bárbara. Apesar das obras de engenharia que procuraram interferir na drenagem da área, terrenos úmidos de formação recente ainda persistem e foram identificados durante as atividades de campo. Nessas superfícies, parte da vegetação original ainda é mantida até o limite do fundo de vale com as vertentes, apesar das diferentes atividades presentes nessa área, entre as quais a agricultura, a mineração e o reflorestamento.

No patamar oeste, as alterações verificadas também estão atreladas à expansão urbana e industrial no sentido dos patamares para o setor de várzea, diferenciando pouco das mudanças constatadas e descritas para o patamar leste. Tais transformações vinculam-se, sobretudo, ao aumento no número de canais de drenagem, conforme é possível constatar nos mapeamentos geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 11, 13 e 15).

O progressivo acréscimo na rede hidrográfica efetivou a aceleração dos processos erosivos derivados do entalhamento fluvial, causando o desequilíbrio das vertentes, acelerando o processo denudativo sobre essas e o conseqüente recuo das rupturas de declive que demarcam a transição com as terras úmidas cobertas por vegetação rasteira. A característica desses canais fluviais, que em sua maioria possuem vales com seção transversal em “V” indicando seu potencial sobre a morfodinâmica, possibilita compreender os mecanismos que atuaram nos processos erosivos efetivando o escalonamento das vertentes.

O adensamento urbano nos patamares leste e oeste contribuiu ainda para o aumento da velocidade no escoamento superficial que, ao atingir as superfícies não impermeabilizadas, promove a dinamização dos processos erosivos e o aumento no número das linhas de escoamento perenes e intermitentes que, conseqüentemente, irão colaborar para a dinamização do desgaste das rupturas topográficas existentes e também para o surgimento de novos escalonamentos. Cooke; Doorkamp (1974) explicam que a diminuição na infiltração é a responsável pelo surgimento dessas linhas de drenagem artificiais e que sua influência na dinâmica fluvial ocorre por meio de enchentes súbitas e solapamento das margens dos cursos que dão início ao processo de escalonamento das vertentes, contribuindo para a formação e recuo das rupturas topográficas.

A Figura 20 (1) representa as características da área situada no patamar oeste, em que a ação das águas correntes condicionou o aumento e o recuo das rupturas de declive. Nela é possível constatar a significativa rede de canais fluviais e as características da malha urbana no que tange a sua aproximação com as rupturas de declive que demarcam o limite com os fundos de vale, não ultrapassando esse limiar.

A atuação dos processos erosivos condicionou a formação de áreas de deposição de sedimentos na zona de contato com o setor de várzea, no qual prevalece a vegetação rasteira adaptada a terrenos úmidos. Obras de canalização também são representadas e compõem os planos de drenagem do setor de várzea, visto que o curso canalizado contribui de forma expressiva ao escoamento do patamar oeste e desaguava, antes das obras de canalização, nas superfícies alagadas do setor de várzea, onde se conectava à complexa rede de canais.

Como se pôde observar, o setor dos patamares de expansão urbana leste e oeste passou por alterações na morfohidrografia derivadas do controle exercido pelos mecanismos que compõem a estrutura urbana e sua evolução ao longo de 53 anos. Esses mecanismos funcionam como dispositivos que comandam a circulação de matéria e energia pelo sistema, como no caso do controle do escoamento superficial e subsuperficial por arruamentos, valas e galerias de drenagem, que modificam as condições naturais de infiltração e atuam diretamente na alteração da dinâmica fluvial. Como consequência desse processo, novas linhas de drenagem surgem como resposta dos elementos naturais e seus atributos ao excesso de escoamento derivado da impermeabilização das superfícies, contribuindo para dinamização dos processos erosivos e desgaste de superfícies que, em cenários pretéritos, possuíam feições morfológicas planas e suaves, com pouca rugosidade.

A interpretação dos cenários geomorfológicos, aliada à compreensão da evolução areal da estrutura urbana por meio dos mapeamentos de uso da terra, possibilitou compreender que o controle antrópico sobre os patamares levou a reajustes morfohidrográficos, que também se vinculam às obras de engenharia e às intervenções efetivadas no setor de várzea, a partir da drenagem das terras úmidas para a expansão da área urbana. Em termos de processos conectados a esses reajustes, muitos deles contribuem para a degradação da paisagem e para o desequilíbrio ambiental, uma vez que ciclos naturais foram interrompidos e condicionados por forças artificiais que, muitas vezes, não respondem de forma esperada aos mecanismos impostos, como no caso de enchentes, assoreamentos em canais artificiais e deterioração das terras.

5.3 A evolução das atividades agrícolas no setor de transição de litologias e as transformações na dinâmica fluvial e na morfologia original

O setor de transição de litologias (Figura 17) localiza-se na interface das estruturas mais resistentes do Pré-Cambriano – inseridas no domínio morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos – e das litologias sedimentares da Planície Lagunar (RADAMBRASIL, 1986). A transição dessas estruturas geológicas é caracterizada por formas medianamente dissecadas, representadas por vertentes convexas e retilíneas mais alongadas, conectadas a vales com seção transversal plana na maioria dos casos e a topos com divisores suaves, por vezes formando patamares. O mapa geomorfológico do ano de 1953 (Figura 11) representa características do relevo que se aproximam da morfologia original da área, apesar das intervenções antrópicas identificadas.

Nesse setor, as alterações morfohidrográficas constatadas encontram-se vinculadas, sobretudo, à evolução do uso da terra agrícola sobre zonas de pastagem, conforme apontam os mapas de uso da terra dos anos de 1953 (Figura 10), 1965 (Figura 12), 1995 (Figura 14), bem como a representação cartográfica do uso da terra do ano de 2006 (Figura 16) para o setor de transição de litologias.

Essa situação, especificada pela Figura 21, revela uma mudança no perfil econômico ocorrida no município de Pelotas a partir da decadência da atividade pecuária – mantenedora da indústria e do comércio do charque – e do desenvolvimento das atividades agrícolas, que englobou a inserção de uma série de técnicas de preparo do solo necessárias à implantação das culturas. A diminuição da área ocupada pelas pastagens na bacia Santa Bárbara de 19,65 Km² em 1953 para 3,55Km² em 2006 (Figura 21) é uma característica não somente local, tendo ocorrido ao longo de toda a faixa situada entre o Escudo Cristalino Sul-Riograndense e a Planície Lagunar como reflexo da crise ocorrida no ciclo do charque que originou e fortaleceu a sociedade pelotense por mais de um século.

O aumento das terras de culturas – 8,22 Km² em 1953 para 25,66 Km² em 2006 (Figura 21) – foi acompanhado, sobretudo no setor de transição de litologias, pela implantação de lavouras de arroz irrigado. Simon (2005) destaca que as características pedológicas – solos mal drenados a úmidos – além das feições geomorfológicas do setor de transição de litologias favoreceram a ampliação de extensas lavouras de arroz que alavancaram o desenvolvimento da indústria de alimentos em Pelotas, com distinção ao beneficiamento do arroz.

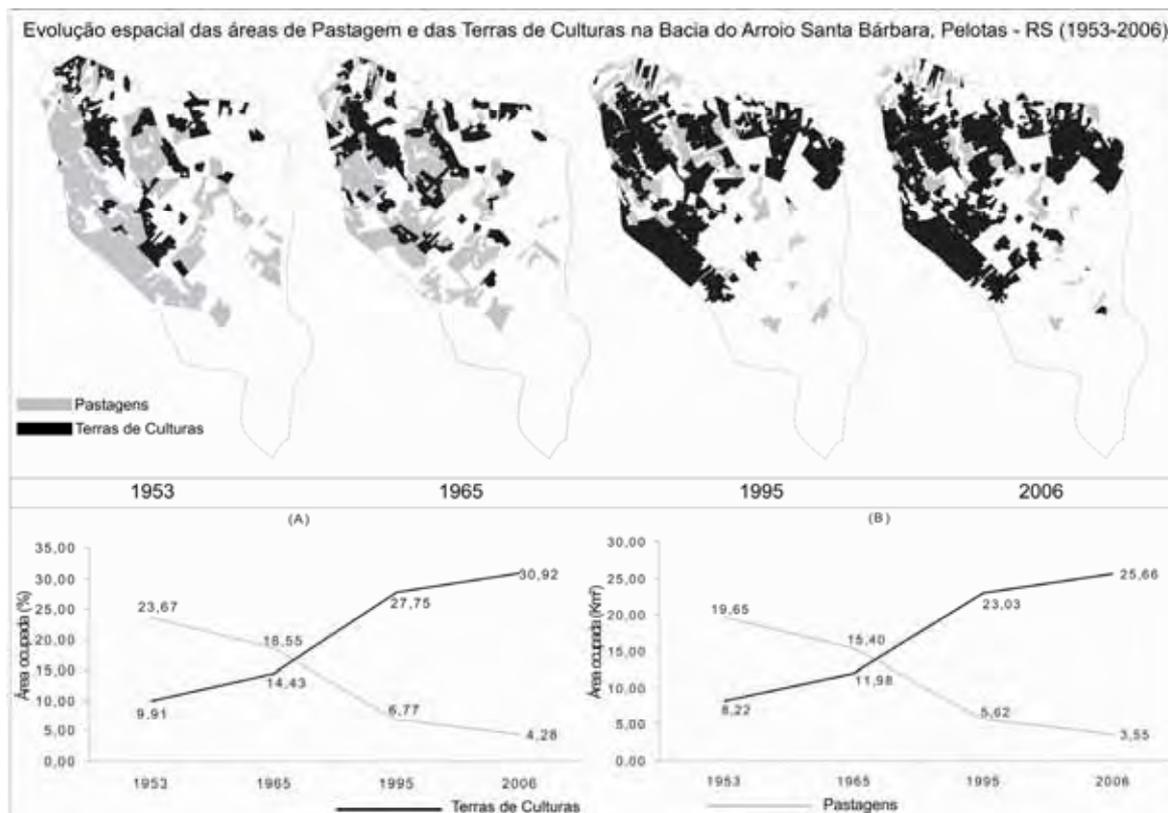


Figura 21: Evolução espacial das áreas de pastagem e das terras de culturas na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS (1953-2006).

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

Entretanto, a introdução da atividade orizícola foi efetivada por meio de técnicas de preparo do solo que corromperam as características do relevo e da rede de drenagem, confluindo em alterações na morfohidrodinâmica da bacia do Arroio Santa Bárbara. A análise dos mapas geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 11, 13 e 15, respectivamente), para o setor de transição de litologias, permite constatar significativas alterações sobre a morfologia original, sobretudo nas porções leste e oeste do mesmo, originadas a partir da implementação das lavouras de arroz.

De acordo com Althoff; Kleveston (1996), o preparo da terra para o plantio do arroz irrigado é realizado em superfícies rasas cobertas por uma lâmina de água, operação essa conhecida como “lameiro”, que consiste no “alisamento” do solo. Essa atividade é realizada a partir da utilização de maquinário agrícola para a retirada das irregularidades topográficas e para o aplainamento das superfícies.

Após a construção dos quadros de cultivo, a água é espalhada pelas superfícies aplainadas. Como as lavouras de arroz irrigado geralmente ocorrem sobre terras úmidas, a água que encharca os terrenos mantém-se por um período determinado, em face das baixas taxas de infiltração decorrentes da proximidade do lençol freático com a superfície.

Neuman; Loch (2004) explicam que o cultivo do arroz caracteriza-se como um sistema altamente mecanizado, ocorrendo, na maioria dos estabelecimentos, em quadros sistematizados denominados de “canchas” ou “níveis”.

Os autores citados explicam ainda que esses quadros correspondem a áreas com formatos geométricos variados de terra nivelada (com um mínimo de desnível em seu interior), cercadas por elevações de terras denominadas regionalmente de “taipas” ou “marrachas”, que têm a função de reter a água no interior dos quadros. As marrachas foram incluídas na simbologia empregada para o mapeamento geomorfológico, constando no *Modelado antrópico e alterações na topografia*, sendo consideradas como *terraços de cultivos*. O tamanho dos quadros, delimitados pelas marrachas, está relacionado às características do terreno, principalmente a desnível e geometria da vertente além do aspecto da topografia local (Figura 22 (B) e 22 (C)).

Torna-se importante destacar aqui que pesquisas bibliográficas em busca de estudos que tratassem de alterações morfohidrográficas vinculadas ao cultivo de arroz irrigado foram efetivadas em diferentes bases de dados nacionais e internacionais, com o intuito de obter informações que pudessem ser relacionadas com os dados identificados nos mapeamentos realizados na bacia do Arroio Santa Bárbara. Entretanto, as pesquisas confluíram em resultados esparsos que, na maioria dos casos, relacionavam-se a poluição das águas e dos solos, porém sem atentar-se para dados de alterações no relevo e na rede hidrográfica. Desse modo, esforços foram realizados no sentido de contextualizar as informações provenientes de fotografias aéreas com as observações de campo e contatos com profissionais que atuam junto a lavouras de arroz na região de Pelotas, a fim de que as alterações constatadas no setor de transição de litologias da bacia Santa Bárbara pudessem colaborar para estudos futuros.

Na bacia do Arroio Santa Bárbara, as áreas destinadas ao cultivo de arroz possuem duas características distintas (Figura 22 A, B e C). Em alguns casos, a superfície destinada ao cultivo desse gênero agrícola sofre alterações menos intensas, pois os caimentos topográficos e a drenagem natural são aproveitados (Figura 22 A). As canchas de cultivo aparecem em menor número e, quando existentes, apresentam desnivelamentos, demonstrando a interferência em menor grau nas características topográficas.

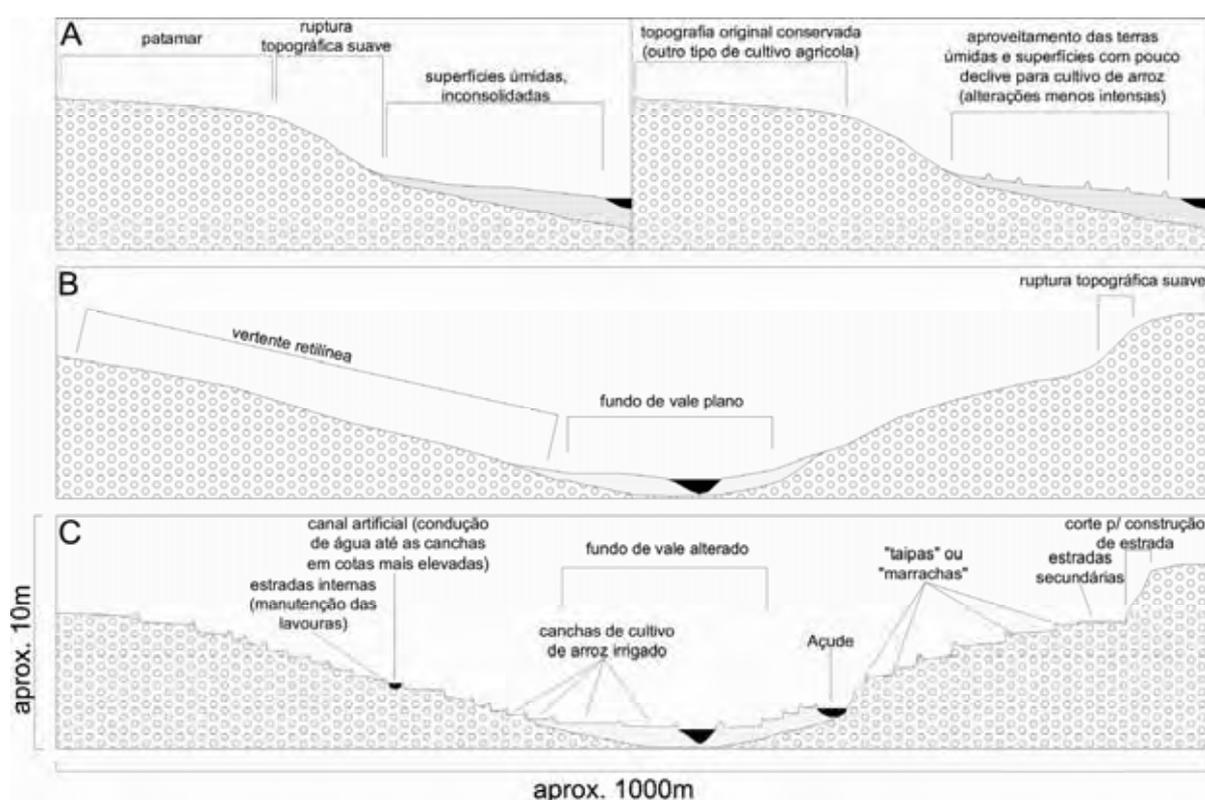


Figura 22: Características das alterações morfohidrográficas desencadeadas pelas lavouras de arroz na bacia Santa Bárbara, Pelotas – RS.

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

A área de cultivo restringe-se às superfícies inconsolidadas situadas às margens dos canais, em vales com seção transversal plana, onde ocorrem terras úmidas situadas sobre depósitos recentes. Lavouras de arroz apresentando esse aspecto possuem menor ocorrência na bacia Santa Bárbara e foram mapeadas no cenário de 1995 (Figura 15) em porções isoladas do setor de transição de litologias, no qual foi possível identificar as irregularidades topográficas formadas pelas marrachas, de acordo com a simbologia empregada.

As atividades de fotointerpretação evidenciaram que essa modalidade de cultivo de arroz, um tanto rústica, é praticada geralmente em pequenas e médias propriedades, cujo maquinário agrícola e investimentos financeiros não possibilitam uma intervenção morfológica em maior escala. Durante a realização dos trabalhos de campo, buscando evidenciar as características dessas lavouras, constatou-se que a característica heterogênea das marrachas – descontinuidades na altura e rompimentos freqüentes – além do aspecto das canchas de cultivo – desnível interno e maior permeabilidade dos solos – são derivados de técnicas que não utilizam mecanização intensa e que afetam de forma menos intensa a morfohidrodinâmica se comparados com os sistemas de cultivo mecanizados.

O segundo tipo de sistema de cultivo de arroz ocupa extensões maiores e menos fragmentadas dentro do setor de transição de litologias da bacia do Arroio Santa Bárbara (Figura 22 B e C). As áreas abrangidas por esse segundo tipo de lavouras de arroz irrigado encontram-se, predominantemente, sobre depósitos areno-argilosos de superfície onde havia terras úmidas cobertas por vegetação rasteira (Figuras 11, 13, 15 e 16). As características das terras úmidas – exposição freqüente do lençol freático e declividade pouco pronunciada – foram fatores importantes na localização desse cultivo agrícola.

As técnicas agrícolas envolvidas nesse segundo tipo de lavouras de arroz contam com a utilização de maquinário pesado na preparação das canchas de cultivo e na construção das marrachas. Os conjuntos de canchas localizam-se geralmente em grandes propriedades rurais que contam com alta tecnologia para sua implantação e manutenção. As intervenções na morfologia original ocorrem no sentido de reduzir ao máximo o desnível entre as canchas, segmentando o terreno em quantas partes forem necessárias, dependendo da inclinação e da irregularidade da vertente (Figura 22 C).

Coates (1976) afirma que as atividades agrícolas realizadas em terraços, a partir da segmentação das vertentes, situam-se entre os mecanismos de controle antrópico mais representativos sob o ponto de vista das alterações nos processos geomorfológicos e na hidrodinâmica. A manutenção dos terraços de cultivo agrícola requer cuidados constantes e técnicas aperfeiçoadas. O autor citado identifica dois tipos básicos de terraços agrícolas durante suas explanações: os *bench-type*, compreendidos como aqueles realizados em zonas planas situadas também em terras úmidas, em formato de bancos que circundam canchas de cultivo; e os *ridge-type*, realizados em declives acentuados, semelhantes a sulcos abertos em níveis diferentes devido à reduzida superfície de cultivo.

Durante a realização das atividades de fotointerpretação e dos trabalhos de campo, verificou-se que os caimentos topográficos originais do terreno são anulados e, conseqüentemente, o escoamento superficial e subsuperficial sofrem alterações a partir do momento em que se inicia a contenção da água nas canchas de cultivo e o retardamento de sua chegada ao leito dos arroios. O reconhecimento das características das marrachas em lavouras de arroz irrigado, realizadas em campo, constatou sua homogeneidade, nivelamento e compactação – evitando perdas de água nas canchas – comprovando assim a eficiência de técnicas mecanizadas na consolidação de feições antrópicas que controlam a morfohidrodinâmica.

A análise dos três mapeamentos geomorfológicos realizados (Figuras 11, 13 e 15) permite a identificação das alterações já referidas anteriormente com destaque às porções do extremo leste e extremo oeste do setor de transição de litologias, no qual superfícies relativamente planas e com declividade pouco pronunciada (Figuras 11 e 13) foram ocupadas por canchas de cultivo de arroz. A representação cartográfica das alterações morfohidrográficas para o cenário de 2006 (Figura 23 (1)) possibilita uma visão mais detalhada dos quadros onde é praticada a atividade orizícola inserida na segunda categoria citada. A partir dessa, constata-se a característica de parcelamento das canchas de cultivo, efetivada pela construção de estradas (por meio de aterramentos) e pela abertura de canais artificiais que possibilitam a irrigação homogênea das parcelas.

A digitalização das linhas correspondentes aos terraços de cultivo (ou marrachas), na Figura 23 (1), foi efetuada apenas em alguns quadros para que fosse possível a compreensão das características dos mesmos a partir da visualização da imagem ao fundo. A interpretação da Figura 23 (1) evidencia ainda que a área ocupada por lavouras de arroz varia de acordo com a topografia local, uma vez que o trabalho para a construção das canchas e a manutenção da irrigação das lavouras em declividades mais acentuadas passam a apresentar maiores riscos e gastos, além de baixos rendimentos para o produtor. Tal situação indica que os mecanismos de controle antrópico, por mais interferências que possam causar à morfohidrografia, ainda encontram-se subordinados por determinantes naturais.

As alterações na morfologia original, derivadas da atividade orizícola, atuam conseqüentemente sobre a dinâmica fluvial do setor de transição de litologias. Isso porque, uma vez que a morfodinâmica sofre interferência antrópica – por meio da transformação de sua estrutura e dos processos erosivos – o transporte dos materiais pela ação das águas correntes também é modificado, confluindo na maior concentração de material erodido ou então na aceleração de sua eliminação para fora do sistema.

A rede de drenagem procura se ajustar às pequenas e grandes transformações, buscando equilibrar os fluxos oriundos de sua dinâmica sobre as feições do relevo, em face das transformações realizadas. Essa readaptação aos mecanismos de controle impostos pelas atividades humanas transmite-se para vários pontos da bacia hidrográfica, uma vez que a dinâmica fluvial sofre incremento de energia e matéria, atuando de forma mais intensa nos processos erosivos.

A necessidade de irrigação constante das lavouras de arroz, bem como a oferta contínua de água para esse procedimento, estimulou a construção de reservatórios artificiais de água (regionalmente denominados de açudes) para contar com reservas hídricas em períodos de escassa precipitação (Figura 23 (1 e 3)). A construção dos açudes utiliza-se das características naturais do setor em questão, no qual ocorrem transições geológicas, geomorfológicas e pedológicas que permitem a formação de olhos de água devido à aproximação do lençol freático com a superfície. A intervenção para a construção de açudes também ocorre diretamente nos arroios de pequeno, médio e até grande porte.

Os mapeamentos geomorfológico e de uso da terra realizados em todos os cenários avaliados evidenciaram o aumento no número de corpos de água artificiais em todos os setores de análise, especialmente no setor de transição de litologias, cujo vínculo com a estrutura constituída pelas lavouras de arroz confluiu no maior controle da rede de drenagem para a construção de pequenos e médios reservatórios. Em 1953, a área ocupada por lagos e reservatórios na bacia Santa Bárbara era de 0,30 Km². Nos cenários seguintes houve um aumento dessa classe de uso: em 1965 ocupava 0,93 Km² e nos cenários de 1995 e 2006 passou a abranger 3,58 Km² e 3,53 Km², respectivamente (Figura 24).

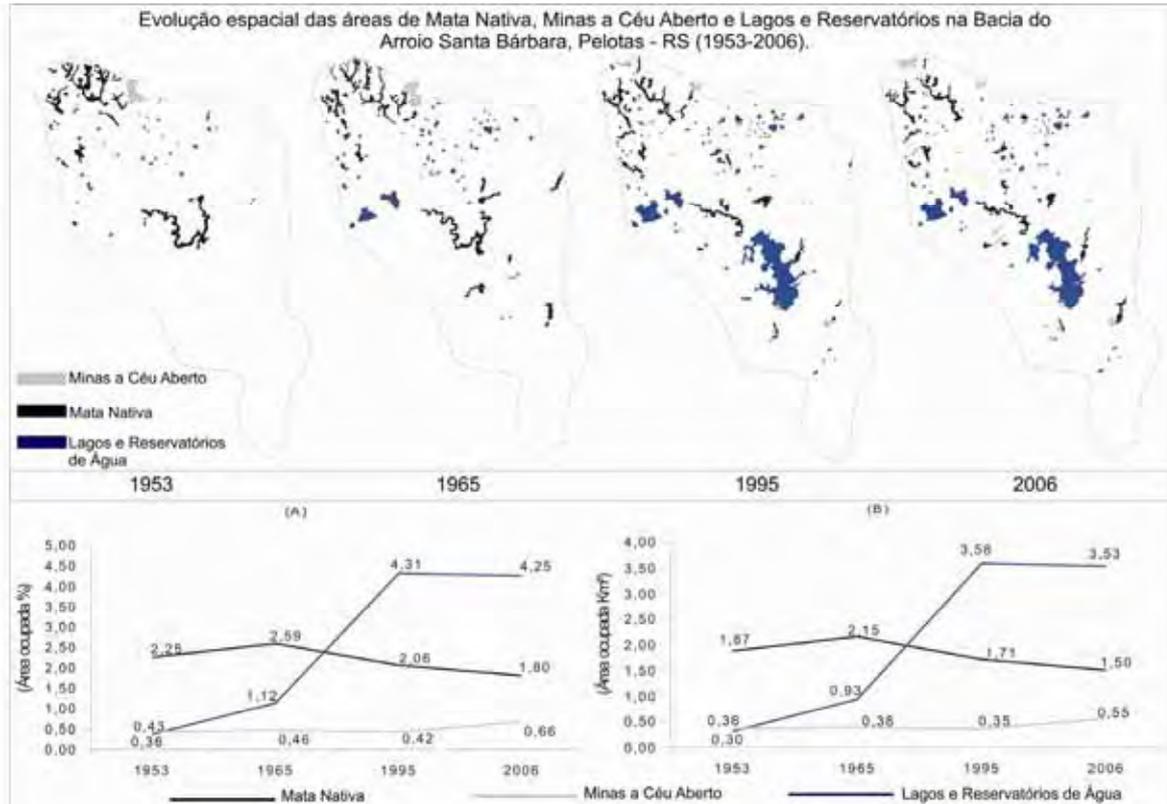


Figura 24: Evolução espacial das áreas de mata nativa, minas a céu aberto e lagos e reservatórios na bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS (2006).

Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

Deve-se, obviamente, considerar a construção do Reservatório Santa Bárbara que ocupa uma área de 2,76 Km². Porém, o restante dos cursos mapeados, mesmo apresentando ínfimas dimensões areais, apresenta significativos mecanismos de controle impostos à dinâmica morfológica e fluvial da bacia Santa Bárbara, especialmente àqueles que foram efetivados de modo a interceptar os arroios para a captação de água. De acordo com Cunha (2001) e Suguio (2003), a construção de açudes e reservatórios atua diretamente sobre o ambiente fluvial, acarretando em processos que se desencadeiam tanto na fonte de interceptação, quanto à jusante e à montante da obra, por meio do reajustamento das atividades fluviais.

Cunha (2001) destaca que nas porções situadas à montante do barramento ocorre a elevação do nível de base local, confluindo em alterações na forma dos canais e na capacidade de transporte de sedimentos. A autora citada complementa afirmando que os impactos transmitem-se para além do ponto de interceptação, transformando a estrutura das vertentes. Essa situação pode explicar alterações no comportamento espacial de alguns cursos da bacia Santa Bárbara, constatados nos mapeamentos geomorfológicos de 1953,

1965 e 1995 (Figuras 11, 13 e 15), estando vinculados aos barramentos efetivados sobre os arroios do setor de transição de litologias e principalmente com o reservatório Santa Bárbara (no setor de várzea), o que atesta a ação dos mecanismos de retroalimentação.

Esses corpos de água sofreram reajustamentos fluviais decorrentes do aumento do potencial erosivo dos arroios, diante da alteração do nível de base em vários pontos da bacia hidrográfica, desarticulando, assim, a dinâmica fluvial que procurou seu novo equilíbrio dinâmico diante das características impostas e que transmitiu os efeitos de reajustes fluviais para as vertentes por meio de escalonamentos que demonstram o desequilíbrio nos processos erosivos. A ocorrência desse processo é ainda mais intensa em litologias sedimentares e em zonas onde ocorrem depósitos recentes, como as encontradas no setor de transição de litologias, de várzea e de expansão urbana leste e oeste, que impõem pouca resistência às variações no comportamento espacial dos canais fluviais, uma vez que o perfil longitudinal desses cursos encontra-se menos subordinado ao controle estrutural.

A Figura 23 (3) evidencia a alteração na estrutura das vertentes, as quais vinculam-se indiretamente com a nova dinâmica fluvial dos cursos de água interceptados por açudagens e que tiveram seu nível de base local alterado. A acentuação da dinâmica fluvial causa desequilíbrios no fundo de vale que são transmitidos para as vertentes, dinamizando o recuo de rupturas de declive, que possivelmente já ocorriam nessa zona, e apresentam-se em sua maioria suaves, mas que, por vezes, possuem caráter mais abrupto, relacionando-se à resistência do manto de alteração e da litologia local aos processos erosivos atuantes.

Ainda de acordo com as proposições de Cunha (2001), à jusante do curso interceptado pelo barramento também ocorrem alterações significativas no que tange aos fluxos de água e de material erodido. Estudos realizados por Grimshaw; Lewin (1980, citados por CUNHA, 2001) apontam que, à jusante do curso abordado, a carga de sedimentos pode ser reduzida em até 90%. Cunha (2001) indica ainda que processos de entalhe podem ocorrer no segmento inferior a açudagem; entretanto, as características topográficas e geológicas, além do tamanho e da capacidade de eliminação de água pelo vertedouro dos açudes mapeados na bacia Santa Bárbara – sobretudo no setor de transição de litologias – não evidenciam o entalhamento dos arroios à jusante. Essa afirmação orienta-se pela análise do perfil transversal dos segmentos dos arroios localizados após os

barramentos e a partir da constatação da permanência, na maioria dos casos, das características originais dos fundos de vale (Figuras 11, 13 e 15).

Ainda inseridas no conjunto de transformações impostas à morfohidrografia do setor de transição de litologia, estão as obras de transposição e de retificação dos arroios existentes, bem como a construção de demais leitos artificiais. Maiores atenções foram dispensadas às obras de retificação e de canalização durante a análise das alterações morfohidrográficas no setor de várzea.

Entretanto, as características dos canais artificiais verificados no setor de transição de litologias vinculam-se às atividades agrícolas, complementando a estrutura das lavouras de arroz, uma vez que a alteração da topografia e das feições geomorfológicas originais permite a adequação do terreno para o plantio; a construção de açudes garante as reservas de água, enquanto os canais – articulados de maneira geométrica acompanhando as canchas de arroz – atuam como “veias” na distribuição de água pelos quadros de cultivo.

Os canais artificiais percorrendo lavouras de arroz são verificados no mapeamento geomorfológico do ano de 1995 (Figura 15), onde é possível identificá-los integrando as canchas de cultivo orizícola situadas nas porções extremo leste e extremo oeste do setor de transição de litologias. A Figura 23 (1) representa de forma mais específica a estruturação dos canais artificiais pelas lavouras de arroz, apresentando as características geométricas que favorecem o controle do escoamento de água e de sedimentos, além de sua função no abastecimento das canchas de cultivo. Na mesma figura, percebe-se ainda a lâmina de água formada nos quadros de cultivo inundados como resultado das transformações impostas a partir das intervenções antrópicas.

A canalização dos cursos que participam do sistema de irrigação das canchas de arroz induz a intensas transformações na dinâmica fluvial, tanto da área submetida diretamente às modificações, como nas porções à jusante, na qual os cursos artificiais conectam-se aos arroios que não sofreram intervenção direta. A canalização e a retificação conduzem ao aumento da velocidade do escoamento pelos canais, acentuando seu potencial erosivo em períodos de liberação da água das canchas de cultivo.

Dessa forma, quando a água escoar pelos canais presentes nas lavouras de arroz e é liberada para fora desses, sua conexão com os cursos não alterados se dá de forma muito brusca, uma vez que os fluxos de água e sedimento apresentam velocidades superiores às apresentadas em situações normais. Torna-se importante destacar que o aumento do potencial erosivo dos cursos fluviais canalizados ocorre apenas quando a água é liberada

das lavouras de arroz, sendo que, em períodos de concentração de água nas canchas de cultivo, o escoamento pelos canais artificiais é pouco representativo.

A ação das águas correntes dá-se no sentido do entalhamento do vale não-transformado – conforme explica Cunha (2001) para os segmentos dos cursos à jusante de barramentos – e na formação de processos erosivos localizados como sulcos e ravinas, passíveis de identificação nas Figuras 15 e 23 (1) ao longo do Arroio Santa Bárbara no setor de transição de litologias. Todas essas constatações, aliadas à ausência de cobertura vegetal desejável, confluem no aumento dos fluxos de sedimentos transportados pelos arroios e sua conseqüente deposição no reservatório Santa Bárbara, contribuindo para o assoreamento do maior corpo de água artificial da bacia – ponto de captação de água para a população pelotense – e inserindo-se nas constatações de Korb (2006) sobre as rápidas transformações no uso da terra que resultaram em maiores níveis de sedimentação do reservatório Santa Bárbara.

Além das feições antrópicas originadas a partir da atividade orizícola – constatadas no setor de transição de litologias – ocorrem também alterações na topografia derivadas da construção de estradas de rodagem, principais e secundárias, bem como de estradas de ferro. A comparação dos mapas geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 11, 13 e 15), para o setor de transição de litologias, aponta para o aumento no número de intervenções efetivadas a partir da construção de rodovias federais e de estradas secundárias que realizam a ligação da área urbana a comunidades interioranas.

Os cortes e os aterramentos realizados para a construção de estradas são efetivados no sentido de amenizar os efeitos da topografia original, procurando manter um padrão de retilinidade e ângulos de declividade da pista pouco variáveis. Essa característica é mais evidente em rodovias pavimentadas (Figura 15, BR 392) e em ferrovias (Figuras 11, 13 e 15, R.F.F.S.A), uma vez que o transporte de cargas e o fluxo de veículos é maior, implicando, portanto, em maiores intervenções sobre as características morfológicas originais, bem como sobre a rede de drenagem.

Seppälä (1999) explica que a inserção de grandes rodovias, além de estradas de acesso internas, deve ser realizada por meio da construção de estruturas que comportem as cargas que sobre elas circulam. Torna-se complicado, entretanto, acompanhar as formas do relevo no traçado dessas estradas, uma vez que cortes e aterramentos são necessários para que ocorram menores gastos e perda de tempo na construção, além de mais agilidade nos corredores formados para o transporte terrestre. Além disso, de acordo com o autor citado,

a estrutura dessas estradas não se adequaria às condições topográficas originais, haja vista que essas requerem bases estáveis e fundamentos que resistam às condições climáticas e aos processos morfológicos e hidrológicos derivados das variações dos eventos climáticos.

Os aterramentos efetivados para a construção de estradas ocorrem geralmente em fundos de vale e atuam diretamente sobre a dinâmica fluvial, interceptando os canais fluviais a partir de dutos e pontes – esses, apenas, no caso de cursos com grande extensão. Os dutos atuam como soleiras nos cursos interceptados no segmento posterior à interceptação, podendo ocasionar o aprofundamento do leito, pois, condicionam o escoamento por passagens mais estreitas, aumentando a energia e a velocidade do fluxo que, ao vencer esse obstáculo, deságua no segmento inferior com força suficiente para causar o aprofundamento do leito, acelerando assim os processos erosivos.

Os cortes, por sua vez, realizados na morfologia original para a construção de estradas atuam no sentido de possibilitar a mínima ondulação das vias de acesso, conectando-se aos aterramentos produzidos em superfícies deprimidas, como fundos de vale e planícies de inundação. Essas formas descaracterizam a estrutura das vertentes, alterando os processos erosivos e a dinâmica fluvial. A Figura 23 (2) aponta para as características de um fragmento espacial localizado no setor de transição de litologias, em que os aterramentos e os cortes na topografia confluíram em transformações na rede de drenagem e na morfodinâmica, interferindo nos processos de transporte e deposição dos materiais.

Nessa figura são destacados dois segmentos das rupturas de declive que constituíam o limite entre patamares mais elevados (Figura 23 (2), acima e abaixo), bem como o fundo de vale com seção transversal plana. Aterramentos e cortes foram efetivados para a construção da estrada secundária que liga a cidade de Pelotas ao distrito de Monte Bonito e também para a consolidação da ferrovia Canguçu-Rio Grande, atualmente desativada. Essas ações exigiram o nivelamento do terreno, gerando cortes sobre os patamares citados e aterramentos no fundo de vale, além da construção de duas pontes sob as quais escoam o canal fluvial.

A implantação dessas obras ocasionou a alteração dos caimentos topográficos e conseqüentes mudanças no escoamento superficial, que se ajustou ao novo perfil da topografia, originando cursos intermitentes antes não existentes, derivados do controle imposto pelas feições antrópicas sobre a morfohidrodinâmica local. Os trabalhos de campo na área possibilitaram a constatação da ação desses mecanismos de controle sobre o

escoamento nos canais fluviais. As fotografias (D e E), pertencentes à Figura 23 (2), evidenciam o aspecto de um dos dutos construídos para a passagem da linha férrea Canguçu – Rio Grande, apresentando também a concentração do escoamento promovida a partir da redução do seu fluxo no ponto de interceptação, provocando a formação de zonas de inundação, propícias à deposição de materiais finos a grosseiros.

As alterações morfohidrográficas verificadas no setor de transição de litologias demonstram o alto grau de controle sobre os elementos do sistema ambiental e também sobre os atributos desses elementos que se encontram subordinados a mecanismos de regulação dos fluxos de matéria e energia. A alteração dos processos naturais nesse setor corresponde às propostas e aos anseios do sistema socioeconômico, porém, demonstra aspectos de desequilíbrio, inerentes às condições artificiais impostas.

5.4 Setor de nascentes: transformações derivadas das atividades agropastoris e de mineração

O setor de nascentes localiza-se nas porções noroeste e norte da bacia do Arroio Santa Bárbara (Figura 17). Encontra-se assentado sobre litologias cristalinas do Pré-Cambriano, possuindo características geomorfológicas distintas dos demais setores, com superfícies medianamente dissecadas, típicas da borda oriental do Escudo Sul-Riograndense (RADAMBRASIL, 1986).

As atividades de fotointerpretação, aliadas aos trabalhos de campo, demonstraram que nesse setor predominam topos aplainados, formando patamares por vezes interrompidos por colos – que indicam a existência de seções, nos quais a litologia encontra-se mais suscetível a ação dos processos erosivos que atuam na formação do manto intempérico e na sua gradual remoção mediante a ação dos processos denudativos.

A conexão desses patamares com as vertentes ocorre por meio de rupturas de declive suaves, em sua maioria, podendo-se evidenciar também rupturas abruptas em alguns pontos onde a resistência litológica se sobressai diante da ação dos processos erosivos. As rupturas de declive derivam também do ajuste dos canais fluviais às alterações impostas no nível de base local, por meio de açudes ou barragens de maior porte, ou encontram-se vinculadas às atividades de mineração. Prevalecem nesse setor vertentes convexas conectadas a vales encaixados, sobretudo nas nascentes dos principais arroios.

As características litológicas locais tiveram e possuem caráter decisivo diante das transformações superficiais e das situações de controle antrópico impostas sobre os

elementos do sistema ambiental no setor de nascentes. Isso porque muitos desses mecanismos, constatados em maior intensidade nos setores anteriormente analisados, encontram maiores obstáculos a sua implementação no setor de nascentes no que tange ao grau de dissecação das superfícies e às propriedades da estrutura litológica – que limita a intervenção antrópica – atuando de forma relevante na conservação das características morfohidrográficas originais.

Nas nascentes da bacia do Arroio Santa Bárbara, as alterações morfohidrográficas foram consideradas menos pronunciadas e arealmente reduzidas, se comparadas às outras áreas da bacia, vinculando-se principalmente às atividades de mineração de granito (ativas ou inativas), saibro e argila e à expansão das áreas de agricultura sobre as zonas de pastagem e vegetação ciliar – causando a diminuição da cobertura responsável pela proteção dos cursos de água de primeira ordem e o risco de desaparecimento de alguns desses; além da expansão da estrutura urbana na vila de Monte Bonito, condicionando a impermeabilização parcial e a degradação da área de nascentes no extremo leste do setor da alta bacia, a partir da ocupação das vizinhanças de cavas de mineração abandonadas.

A análise comparativa dos mapas de uso da terra dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 10, 12 e 14), além da representação cartográfica do uso da terra no cenário de 2006 (Figura 16), permitiu a compreensão de uma dinâmica de uso da terra que ressalta a gradual diminuição e a segmentação de áreas de pastagem, bem como a expansão das terras de culturas. Essa situação, que também pôde ser verificada no setor de transição de litologias, encontra-se especificada na Figura 21, onde se constata o gradual avanço das atividades agrícolas sobre zonas de pastagem na bacia Santa Bárbara, que aponta para dados de evolução dessas classes de uso da terra em termos de Km², destacando, assim, o aumento das áreas destinadas às práticas agrícolas de 8,22 km² (1953) para 25,66 km² (2006), além da diminuição das zonas de pastagens de 19,65 km² (1953) para 3,55 km² (2006).

De acordo com Goudie (1986) as atividades agrícolas pertencem ao grupo de operações indiretas do homem sobre as feições do relevo. Os processos antropogênicos indiretos são de difícil reconhecimento, não porque envolvem a inserção de novos processos, mas porque induzem a aceleração dos processos naturais, provocando alterações ambientais por meio do controle dos ciclos naturais. Não obstante, esse grupo de processos efetiva as alterações mais cruciais sobre os elementos do relevo mediante eliminação da cobertura vegetal, acelerando as taxas de erosão e de sedimentação.

Outrossim, o avanço das terras de culturas no setor de nascentes também ocorreu sobre matas ciliares e florestas de encosta (embora essas últimas possuam menor ocorrência na área em estudo). A característica agrícola das propriedades rurais do setor em questão, constatadas durante as observações em campo, é de pequenos e médios estabelecimentos, onde se cultivam diversos gêneros agrícolas (batata, milho, feijão, mandioca, trigo, soja, frutíferas e hortaliças), com baixa mecanização das lavouras e utilização de técnicas agrícolas manuais, com auxílio de mão-de-obra animal. Tais características propiciaram a gradual, porém não drástica remoção da vegetação nativa situada às margens dos principais arroios para a ampliação das lavouras.

A Figura 24 representa a evolução espacial das áreas de mata ciliar e florestas de encosta na bacia Santa Bárbara e permite a visualização das diferenças entre os cenários analisados. Torna-se importante destacar que as atividades de fotointerpretação procuraram estabelecer da forma mais precisa possível o limite das áreas de vegetação ciliar e de encosta na bacia Santa Bárbara. No entanto, as características do material aerofotográfico (fotografias pancromáticas, material antigo e diferenciações na escala dos aerofotolevantamentos) geraram, por vezes, hesitação na delimitação dessas áreas, devido a dificuldades de distinção quando as glebas de silvicultura eram limítrofes às faixas de vegetação de galeria.

Embora os gráficos de evolução das áreas de vegetação nativa (Figura 24) demonstrem sua diminuição espacial ao longo de 53 anos (1,87 Km² em 1953 para 1,50 Km² em 2006), no setor de nascentes, a permanência de grande parte das zonas de mata ciliar faz perceber que as agressões derivadas das atividades antrópicas não afetaram de forma tão intensa a cobertura vegetal original se comparado a outros setores da bacia.

Durante as atividades de campo procurou-se constatar a permanência de faixas de mata ciliar ao longo dos arroios do setor de nascentes. Em muitos dos locais vistoriados foi possível identificar faixas de mata nativa que se enquadram nos limites propostos pela legislação. Entretanto, as atividades de campo também permitiram constatar a existência de corredores ínfimos de vegetação de galeria com extensão menor do que a proposta pela legislação e de difícil identificação nas atividades de fotointerpretação, mas que possuem fundamental importância para o equilíbrio da dinâmica erosiva e fluvial. Essas áreas, em que ocorrem pequenas linhas de mata nativa ao longo dos arroios, localizam-se, principalmente, onde as atividades agrícolas e de silvicultura avançaram significativamente sobre os fundos de vale.

A manutenção da mata nativa, em qualquer conjuntura, é de grande importância para a preservação das propriedades básicas da morfohidrodinâmica nesse setor, uma vez que a cobertura vegetal atua na interceptação e na amenização das precipitações intensas e no retardamento da chegada do escoamento superficial ao canal fluvial, evitando enchentes súbitas e assoreamentos. O manto de serrapilheira formado sob as árvores também é indispensável para que ocorra a quebra da velocidade do escoamento e a gradual infiltração para camadas inferiores do solo.

Os mapas de uso da terra, referentes aos quatro cenários (Figura 10, 12, 14 e 16), também tornaram possível a constatação da existência de glebas de silvicultura, com predominância da espécie *Eucalyptus spp.*, as quais ocupam consideráveis parcelas do setor de nascentes nos anos de 1953, 1965, 1995 e 2006. A dinâmica de uso da terra aponta para a permanência das áreas de reflorestamento em alguns pontos do setor de nascentes, sobretudo na porção norte e leste, e também para características semelhantes às encontradas no setor de transição de litologias, ou seja, glebas que não demonstraram significativa redução ou ampliação de sua área durante 53 anos. Tal situação permite inferir algumas considerações a respeito da atuação do uso da terra na alteração das características morfohidrográficas do setor de nascentes.

O eucalipto é uma espécie considerada alheia às condições naturais por inúmeros motivos: trata-se de uma espécie não-nativa (natural da Austrália), cujo desenvolvimento vegetativo envolve a absorção significativa de água e também de nutrientes, podendo provocar o esgotamento do solo diante da não reposição por meio de adubações periódicas (LIMA, 1996). Além do mais, seu tempo de vida é limitado – dependendo da sua finalidade: indústria madeireira, celulose, etc. – envolvendo práticas de revolvimento das camadas do solo e períodos de solo exposto nas áreas destinadas à silvicultura.

No entanto, apesar dos aspectos desfavoráveis, as áreas de silvicultura podem ser consideradas como zonas de cobertura vegetal arbórea capazes de atuar na proteção do solo contra a ação dos eventos erosivos acelerados. Lima (1996) destaca resultados de experimentos realizados e que procuraram relacionar as taxas de erosão entre parcelas testemunhas (desprovidas de qualquer tipo de cobertura vegetal e ocupadas por cultivos agrícolas) e glebas de silvicultura, sob as mesmas condições topográficas e edáficas, demonstrando resultados satisfatórios no que tange à proteção do solo, ao controle do escoamento superficial acelerado e aos processos de remoção e carreamento de material para o canal fluvial.

O autor citado esclarece, no entanto, que é preciso levar em consideração o período de crescimento das áreas de silvicultura, bem como o espaço de tempo destinado ao corte, pois quando a proteção do solo diminui, conseqüentemente, aumenta sua propensão aos processos erosivos acelerados. Não obstante, técnicas de cultivo e preparo do solo também devem estar associadas à atividade silvicultora, reforçando a proteção contra os mecanismos de desgaste e remoção do solo.

Em busca de resultados semelhantes aos de Lima (1996), Pires et al. (2006) conduziram experimento em uma bacia hidrográfica, a fim de avaliar as perdas de solo, sob chuva natural, em diferentes sistemas de manejo de eucalipto (eucalipto plantado na direção do declive, na direção do declive com queima de restos culturais, e eucalipto plantado em nível). A esses sistemas foram relacionadas as perdas de solo ocorridas em parcelas de mata nativa, pastagem plantada e solos descobertos (parcela testemunha), sob as mesmas condições pedológicas – Latossolo Vermelho-amarelo (LVA).

Os autores citados constataram que as perdas de solo na parcela de eucalipto plantado em nível ($0,260 \text{ t ha}^{-1}$ por ano) aproximavam-se relativamente às ocorridas em matas nativas ($0,137 \text{ t ha}^{-1}$ por ano), indicando menor impacto desse sistema. Áreas de pastagem plantada ($0,209 \text{ t ha}^{-1}$ por ano) e mata nativa apresentaram, de acordo com os resultados obtidos, os menores índices de perda de solo, enquanto a parcela testemunha sofreu perdas de $13,179 \text{ t ha}^{-1}$ por ano. As demais parcelas conduzidas durante o experimento – eucalipto plantado na direção do declive e eucalipto plantado na direção do declive com queima de restos culturais – apresentaram $0,368 \text{ t ha}^{-1}$ e $0,815 \text{ t ha}^{-1}$ por ano de perdas do solo, respectivamente.

Bigarela (2003) afirma que a proteção desejável das vertentes contra os processos erosivos acelerados ocorre, principalmente, em superfícies florestadas, que contribuem efetivamente na manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico em sua fase terrestre. O autor citado apresenta ainda blocos diagramas baseados em Strahler & Strahler (1973), que destacam vários tipos de uso da terra (áreas cultivadas, pastagens, campos abandonados, florestas exploradas e plantações de pinheiros) na região norte do Mississippi (EUA), ilustrando valores de precipitação (todos acima de 1200 mm), de escoamento superficial e de erosão equivalente.

Os resultados demonstram significativas diferenças entre os diversos usos, apontando para taxas de escoamento superficial e erosão em kg de: 400 mm e 50.000 kg para terras de cultivo; 380 mm e 36.000 kg para terras de pastagens; 180 mm e 290 kg para

campos abandonados; 130 mm e 220 kg para solos com floresta explorada e 25 mm e 45 kg para áreas onde ocorrem plantações de pinheiros, levando-se em consideração os pinheiros como espécies nativas de zonas temperadas.

Após as comparações realizadas pelos diferentes pesquisadores, no que tange à perda de solos sob distintos usos da terra, atenta-se para que, dentre as práticas de uso que ocorrem no setor de nascentes e diante das características geomorfológicas descritas e da dinâmica fluvial encontrada, seja preferível a opção por aquelas que acarretarão em menores impactos à morfohidrodinâmica da bacia hidrográfica, a partir da manutenção do equilíbrio na formação e na remoção do manto de alteração e das características edáficas satisfatórias.

Nesse caso, uma breve comparação entre as terras de culturas e as áreas de silvicultura leva a crer que, mesmo diante de todos os fatores negativos associados a essas duas práticas de uso da terra, a segunda ainda atua de forma mais efetiva na proteção do solo, devido ao seu período de permanência, à formação (embora parca) de um manto de serrapilheira, e à proteção contra o efeito *splash* pela copa das árvores, amenizando a desagregação e a remoção das partículas do solo.

As atividades de campo na bacia Santa Bárbara indicaram que a maior parte das glebas de silvicultura encontrada é realizada em curvas de nível, sobretudo no setor de nascentes, cuja declividade dos terrenos é maior. Não se trata de uma apologia à silvicultura, mas sim, de uma comparação prática que almeja demonstrar o maior impacto das atividades agrícolas sobre os processos erosivos, conforme anteriormente descrito por Goudie (1986).

As terras de cultura, por outro lado, embora praticadas com o auxílio de técnicas como o plantio direto e em curvas de nível – constatados durante os trabalhos de campo – contribuem para a ação mais efetiva dos agentes denudativos. Isso porque o tempo de permanência das lavouras é menor, o revolvimento da terra ocorre mais vezes ao ano em decorrência das colheitas e da rotação de culturas, e a característica fisionômica dos gêneros agrícolas encontrados, em geral, possui baixa resistência à ação das precipitações intensas, que tendem a maior acumulação superficial e aumento da velocidade de escoamento, possibilitando a remoção de material e sua deposição nos canais fluviais.

A análise dos mapeamentos geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 11, 13 e 15) aponta para o desgaste de alguns patamares do setor de nascentes da bacia Santa Bárbara, principalmente na sua porção leste, nas imediações da vila de Monte

Bonito. A ocorrência desse fenômeno se dá, em geral, nas áreas onde zonas de pastagem foram substituídas por terras agrícolas e também ocorrem em superfícies caracterizadas pelo uso da terra para fins de reflorestamento.

A Figura 25 (1) representa de forma mais específica as características morfohidrográficas no setor de nascentes, destacando o aspecto da rede de drenagem, fundos de vale com seção transversal em “V”, além da predominância de vertentes convexas. Ainda na mesma figura, é possível identificar os patamares formados nos topos, onde são indicadas as linhas de cumeada e a direção do escoamento superficial. Atenta-se para a ocorrência de colos entre zonas de desgaste dos patamares e para o uso da terra voltado à agricultura nos pontos próximos à ocorrência dessas formas de origem denudativa.

Representação das principais alterações morfohidrográficas no setor da alta bacia do Arroio Santa Bárbara - Pelotas - 2006.

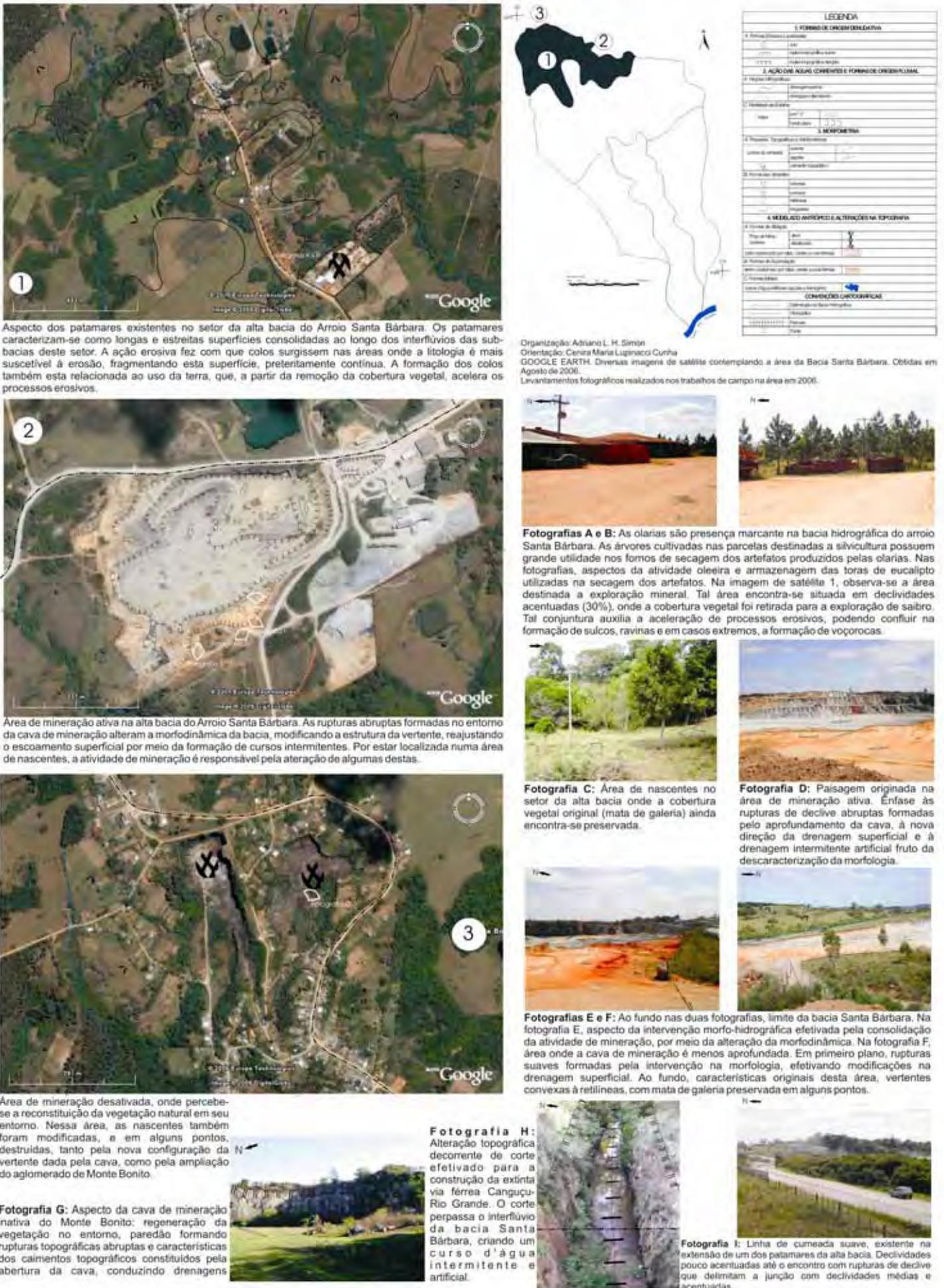


Figura 25: Representação Cartográfica das Principais Alterações Morfohidrográficas no Setor de Nascentes da Bacia do Arroio Santa Bárbara – RS – 2006.

Acredita-se que o desgaste dos patamares no setor de nascentes vincula-se, possivelmente, às técnicas agrícolas utilizadas no preparo das lavouras e também no manejo das terras destinadas a silvicultura. Dessa forma, o emprego de técnicas como a aragem e a própria construção de curvas de nível para evitar o desgaste do solo podem ter contribuído para o desenvolvimento desse processo, uma vez que tais técnicas requerem o revolvimento do solo, diminuindo sua agregação e efetivando sua exposição por determinado período aos agentes intempéricos.

Piacente (1996) destaca que as forças animal e mecanizada, utilizadas durante a aragem do solo, intensificam a exploração das vertentes gerando conseqüências que dependem do ângulo existente entre o sulco aberto pelos implementos agrícolas - animal ou mecânico - durante a aragem e a declividade da rampa. A autora citada destaca que cortes verticais - do topo à base - podem concentrar o escoamento superficial, enquanto sulcos abertos transversalmente à direção da vertente auxiliam na contenção do escoamento superficial, mas podem atuar como mecanismos de concentração de água, absorção demasiada e de percolação em solos com maior concentração de argila. Essas situações ocorrem tanto em superfícies onde existe a permanência de material decomposto oriundo das colheitas, como em superfícies “limpas” após o plantio, acentuando-se, porém, no segundo caso.

Os processos erosivos que desencadeiam o desgaste dos patamares, no setor de nascentes, atuam também no sentido de conduzir o material removido para as partes mais baixas da topografia. Como os mapas de uso da terra e os geomorfológicos, correspondentes aos cenários analisados, indicaram o aumento no número de açudes e reservatórios de maior porte, é provável a ocorrência de sedimentação desses corpos de água, uma vez que eles promovem a permanência do material erodido no sistema.

Tal situação atua na diminuição do período útil desses reservatórios e açudes, fazendo com que muitas vezes os mesmos sejam aprofundados com o auxílio de maquinário para poder continuar provendo reservas de água. As conseqüências desse processo também se difundem para outros setores da bacia, podendo atingir o Reservatório Santa Bárbara. Korb (2006), ao analisar os depósitos recentes no reservatório em questão, constatou que são oriundos de processos erosivos acelerados, deflagrados em um período relativamente curto – quando consideramos a idade do reservatório de 38 anos – no qual, certamente, alterações no uso da terra tiveram papel significativo.

A deposição do material erodido também propicia a formação de depósitos areno-argilosos nos fundos de vale, sobretudo na zona limítrofe do setor de nascentes com o setor de transição de litologias (Figuras 11, 13 e 15). Nessa porção da bacia do Arroio Santa Bárbara, o perfil transversal sofre mudanças, passando de vales com seção em “V” para vales com características planas. Essa mudança deve-se tanto a deposição do material erodido nos setores à jusante, como a fatores litológicos e a feições geomorfológicas mais suaves que ocorrem no setor de transição de litologias. Essa alteração conflui na diminuição da capacidade de entalhe e de transporte de sedimentos por parte dos canais fluviais, predispondo a acumulação desses em terrenos planos, marginais aos arroios, formando depósitos recentes.

Tais depósitos puderam ser verificados em todos os mapeamentos geomorfológicos, apresentando gradual aumento em suas áreas do primeiro (1953, Figura 11) ao último cenário (1995, Figura 15), corroborando para deduções que inferem sobre a ação do uso da terra na aceleração dos processos erosivos e na significativa permanência do material erodido dentro do sistema, a partir da formação de depósitos recentes. Nos mapas de uso da terra, essas zonas foram classificadas como terras úmidas cobertas por vegetação rasteira (figuras 10, 12, 14 e 16).

Configura-se assim uma situação em que os mecanismos de controle impostos pela ação antrópica atuam tanto na aceleração da morfodinâmica e da morfogênese – por meio das atividades agrícolas que propiciam a remoção do material – como no desequilíbrio da circulação do material erodido e sua eliminação do sistema, causando efeitos negativos que interferem no funcionamento dos atributos e elementos do sistema ambiental e na estrutura do sistema socioeconômico. Fica constatada que a ação antrópica no controle dos elementos naturais, sobretudo nos aspectos da morfologia e na dinâmica fluvial, acarreta em reações que podem não surtir resultados benéficos aos interesses socioeconômicos, a partir do momento em que ocorre a degradação das terras cultiváveis por meio da diminuição de sua camada fértil e o decréscimo do tempo de vida útil de reservatórios utilizados para a irrigação de lavouras e para o consumo humano.

Os mapeamentos geomorfológicos dos anos de 1953, 1965 e 1995 (Figuras 11, 13 e 15) bem como os mapas de uso da terra (Figura 10, 12 e 14) e a representação cartográfica do uso da terra em 2006 (Figura 16) permitiram ainda a identificação de outro tipo de intervenção antrópica no setor de nascentes, que, ao contrário das atividades agrícolas e das zonas de silvicultura, apresentam-se de forma pontual, porém não menos

impactante: o aumento das áreas de mineração tanto no setor de nascentes como em toda a área da bacia Santa Bárbara.

A Figura 24 representa a evolução espacial das áreas de mineração na bacia Santa Bárbara, indicando o aumento de 0,36 Km² para 0,55 Km² em 1953 e 2006 respectivamente. No setor de nascentes, as atividades de mineração vinculam-se especialmente à exploração de granito, valendo-se de infra-estrutura pesada para a extração desse mineral. No setor de transição de litologias e no setor de várzea, por sua vez, as atividades de mineração encontram-se atreladas à extração de argila para fabricação de artefatos de cerâmica e tijolos, além de saibro, utilizado na pavimentação das ruas na cidade de Pelotas.

De acordo com Goudie (1986), os impactos ambientais decorrentes de escavações para a realização de atividades de mineração excedem vários outros tipos de ação humana no processo de intervenção e de controle das paisagens naturais, alterando as taxas de erosão mediante quebra do equilíbrio na estrutura das vertentes e alteração dos processos de formação do manto intempérico.

Bacci et al. (2006) afirmam que os efeitos ambientais das atividades de mineração estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais como a abertura da cava (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local) e o uso de explosivos no desmonte de rocha (sobreprensão atmosférica, vibração do terreno, ultralaçamento de fragmentos), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local.

As áreas de mineração de granito existentes no setor de nascentes, situadas nas proximidades do distrito de Monte Bonito (hoje inativas) e no extremo norte da bacia do Arroio Santa Bárbara (em atividade), foram e são responsáveis por alterações na estrutura das vertentes, em virtude das cavas que causam rupturas abruptas no declive, efetivando modificações na drenagem superficial. A Figura 25 (2) representa a área de mineração ativa, no extremo norte do setor de nascentes, e diagnostica as alterações na morfologia original, derivadas da abertura das cavas para exploração do granito. Constatam-se a interferência na estrutura da vertente e a transformação do escoamento superficial decorrente dos escalonamentos oriundos dos diversos níveis de escavação, formando rupturas abruptas que, de acordo com os levantamentos realizados durante os trabalhos de campo, apresentam, em alguns pontos, mais de 15 metros de altura.

Bacci et al. (2006), durante estudos realizados em área de mineração de diabásio no município de Campinas – SP, evidenciaram as problemáticas envolvidas na exploração desse mineral em cavas a céu aberto. Dentre os principais aspectos e impactos ambientais envolvidos nessa atividade, e que se relacionam com as transformações morfohidrográficas evidenciadas no setor de nascentes da bacia Santa Bárbara, os autores destacam o descapamento do solo, que envolve a retirada da cobertura vegetal e a formação de pilhas de solo escavado.

As práticas envolvidas na atividade de mineração desencadeiam eventos erosivos acelerados, atuando no assoreamento de córregos próximos e na alteração da paisagem. Os autores citados constataram ainda que a drenagem artificial oriunda das cavas de exploração mineral promove a geração de efluentes e o aporte de sedimentos para os cursos de água, contaminando e comprometendo os recursos naturais superficiais e também subsuperficiais.

Piacente (1996) esclarece que, mesmo localizada – como no caso das cavas do setor de nascentes – a retirada intensa de rochas e solo, originada das atividades de mineração, promove um grande impacto sobre as formas originais do relevo, implicando em alterações na morfologia por meio da retirada do material escavado e sua deposição em outro ponto. O acúmulo de resíduos, bem como o abandono das cavas de mineração, deixa ainda a impressão de um “relevo fabricado” pela ação antrópica.

Na porção leste do setor de nascentes, nas proximidades com a vila de Monte Bonito, são encontradas cavas de mineração abandonadas que, de acordo com os mapeamentos geomorfológicos e com as atividades de fotointerpretação, ainda apresentavam-se ativas nos cenários de 1953 e 1965 (Figuras 11 e 13). O mapeamento geomorfológico de 1995 (Figura 15) já representa essas áreas como zonas de mineração inativas.

O abandono das cavas de mineração ocorreu sem nenhuma preocupação maior em providenciar sua recuperação ambiental, vindo a confluir com as explicações de Pacciente (1996), já que durante os trabalhos de campo pôde-se verificar a existência de formas artificiais, fabricadas pela ação humana no controle dos elementos do sistema ambiental, que aos poucos vão sendo incorporadas às características originais da área, uma vez que a cobertura vegetal expande-se sobre o manto superficial formado a partir das rochas degradadas, conforme representa a Fotografia G pertencente à Figura 25 (3).

Essa característica aproxima-se com a noção de equilíbrio dinâmico dos elementos e dos atributos do sistema ambiental, uma vez que as atividades de mineração provocaram alterações, por meio de esforços aplicados, que excederam a capacidade de resiliência dos elementos, ultrapassando seu limiar de recuperação. O abandono das cavas de mineração deixou cicatrizes, ou seja, uma nova configuração espacial que induziu os elementos e os atributos do sistema ambiental a outro patamar de equilíbrio dinâmico, no qual os ciclos naturais, agora influenciados por mecanismos antrópicos, ajustaram-se as novas características impostas, embora apresentando configuração diferente da original.

A figura 25 (3) representa ainda, de forma específica, a porção do setor de nascentes onde se encontram as cavas de mineração abandonadas, ressaltando também a ocupação das proximidades dessa área pela expansão da vila de Monte Bonito. A evolução desse aglomerado pode ser verificada em todos os cenários mapeados, principalmente a partir de 1965 (Figura 13). As observações de campo no setor da alta bacia revelaram que a evolução espacial dessa comunidade rural vem ocorrendo sem planejamento nas proximidades dos cursos de primeira ordem, ameaçando a qualidade e o provimento de água à bacia do Arroio Santa Bárbara.

Em termos de alterações morfohidrográficas, a expansão da vila de Monte Bonito pode não ter grande significado, porém, a constatação de seu aumento espacial e também populacional deve despertar maiores preocupações por parte do poder público para que intervenções na morfohidrografia, semelhantes às encontradas em áreas de adensamento urbano, não venham a ocorrer, como no caso do surgimento de processos erosivos localizados e do aumento na densidade de canais, derivados da impermeabilização da superfície e da alteração das propriedades do escoamento superficial e subsuperficial constatadas na área urbana de Pelotas.

De modo geral, verificou-se um menor grau de controle antrópico sobre os elementos do sistema ambiental no setor de nascentes, especialmente sobre a morfologia original e a dinâmica fluvial. Feições antropogênicas, derivadas de mecanismos de controle diretos sobre a estrutura e processos morfohidrográficos, tiveram pouca expressão areal nesse setor se comparado com os demais, restringindo-se às áreas de mineração, aos cortes e aos aterramentos efetivados para a expansão da vila de Monte Bonito e em corpos de água artificiais construídos para viabilizar a irrigação agrícola. Entretanto, as atividades agrícolas, enquanto mecanismos de controle antrópico indiretos, tiveram grande

contribuição às alterações geomorfológicas no setor de nascentes, irradiando as conseqüências dos processos para outros setores da bacia Santa Bárbara.

Diante dessa situação, acredita-se que o setor de nascentes deva receber maiores atenções por parte dos órgãos competentes e também por parte da população local, justamente por apresentar problemáticas ambientais passíveis de recuperação, mantendo-se as intervenções antrópicas com o mínimo impacto sobre essa zona onde se encontra a maior parte das nascentes da bacia Santa Bárbara. Da mesma forma que se deve respeitar a ação de sinergia que rege os sistemas ambientais, controlados ou não, é necessária também que essa ação se expanda para os outros setores, na medida em que houver a possibilidade de estagnação ou reversão de alterações morfohidrográficas que repercutem em desequilíbrios nos ciclos erosivos e acarretam em derivações negativas, tanto sobre os elementos naturais como sobre as atividades socioeconômicas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades humanas, inseridas no contexto urbano-industrial ou rural, foram aperfeiçoadas ao longo do tempo histórico, sendo incrementadas por técnicas de apropriação dos recursos naturais cada vez mais sofisticadas e dinâmicas. A ação do homem sobre o meio onde vive possibilita a manutenção da estrutura e das propostas do sistema econômico vigente, resultando em organizações espaciais com características próprias, simbolizadas principalmente pelos diversos usos da terra. Em contrapartida, alterações significativas são oriundas desse processo, promovendo o desequilíbrio dos fluxos e ciclos naturais, além de uma série de impactos ambientais.

A Geografia procura analisar de que forma ocorrem essas alterações, compreendendo que as mesmas são frutos da interação do sistema ambiental com o sistema socioeconômico confluindo na formação das organizações espaciais. Nessa perspectiva, estudos voltados para a análise das transformações temporais ocorridas sobre elementos e atributos do sistema ambiental, como resultado da articulação com o sistema socioeconômico, podem evidenciar inúmeros mecanismos de controle antrópico que levaram a situações de impacto ambiental, ressaltando que os resultados oriundos de estudos dessa categoria podem possibilitar ações de planejamento e conservação dessas áreas.

A adoção de áreas de pesquisa que apresentam delimitação natural colabora para que os estudos geográficos possam apresentar resultados mais expressivos no que tange a análise temporal da dinâmica das organizações espaciais, que envolvem tanto a evolução da estrutura do sistema socioeconômico como as alterações nos elementos do sistema ambiental. Dentro desse contexto, as bacias hidrográficas antecipam-se como células de estudo, naturalmente delimitadas, em que ocorre a conexão dos elementos que as compõem, bem como sua relação com outras unidades de maior ou menor ordem hierárquica, confluindo em estudos que permitem a identificação da transmissão dos impactos para outros pontos da bacia ou então para outros sistemas adjacentes.

Assim, o presente estudo, realizado na bacia do Arroio Santa Bárbara – RS, procurou analisar as alterações morfohidrográficas resultantes da dinâmica de uso da terra em um período de 53 anos. A análise dos resultados, obtidos a partir da interpretação das informações espaciais e da aplicação das técnicas de mapeamento geomorfológico e do uso da terra, constatou que a dinâmica do sistema socioeconômico impôs mecanismos de controle diretos e indiretos sobre o sistema ambiental da bacia ao longo dos cenários analisados.

Tais mecanismos de controle desencadearam alterações nos elementos e nos atributos do sistema ambiental, sobretudo à hidrografia, a partir de modificações impostas à dinâmica fluvial; ao relevo, diante da aceleração dos processos erosivos e das transformações impostas às feições geomorfológicas pela ação antropogênica; e à cobertura vegetal original, a partir das mudanças nos padrões de uso da terra que desencadearam a redução de zonas de terras úmidas cobertas por vegetação rasteira e banhados.

Os dados resultantes das técnicas aplicadas mostraram-se qualitativamente satisfatórios no que se refere à constatação de alterações sobre as feições geomorfológicas e sobre a dinâmica fluvial da bacia do Arroio Santa Bárbara, pois possibilitaram a identificação das principais formas do relevo local nos cenários mapeados, facultando uma análise comparativa das transformações ocorridas. Os mesmos dados também corresponderam de forma quali-quantitativa diante das evidentes modificações no uso da terra desencadeadas em 53 anos, uma vez que possibilitaram a determinação espacial (aumento e diminuição) das classes mapeadas, permitindo a relação e a comparação dessas variações entre si e com as transformações nos elementos do sistema ambiental.

A utilização de uma metodologia híbrida para a realização do mapeamento geomorfológico, seguindo as orientações de Tricart (1965), Verstappen; Zuidan (1975) e Cunha (2001), possibilitou a identificação das feições geomorfológicas originais e também as derivadas da interferência antrópica. Dessa forma, foram verificadas alterações ocorridas sobre a morfologia original e sobre a dinâmica fluvial, a partir da constatação de mudanças espaciais nas formas do relevo e na rede de drenagem ocorridas ao longo do período analisado, oriundas de intervenções antrópicas diretas e indiretas.

As propostas de Anderson (1971) e Ceron; Diniz (1962) aplicadas ao mapeamento do uso da terra e para a interpretação de sua dinâmica mostraram-se passíveis a adaptações, as quais se referem, sobretudo, às especificidades da área em estudo, onde localizam-se estruturas urbano-industriais e rurais, compreendendo uma gama de classes de uso da terra. A utilização dessas propostas obteve êxito tanto na interpretação analógica das classes de uso da terra, processo no qual foi realizada a estereoscopia, quanto na interpretação digital das imagens do GOOGLE EARTH™. Essa última técnica, por sua vez, mostrou resultados interessantes no que se refere à possibilidade de sobrepor a semiologia cartográfica empregada nos mapeamentos geomorfológicos sobre os padrões de uso da terra representados nas imagens orbitais, tornando a representação cartográfica mais didática diante da capacidade de relação direta das características socioeconômicas com os elementos do sistema ambiental.

O aparato técnico utilizado para a identificação das alterações morfohidrográficas e na cobertura vegetal original, derivadas da dinâmica de uso da terra na bacia Santa Bárbara, entretanto, somente se mostrou capaz de atender de forma efetiva aos objetivos propostos pela pesquisa a partir de sua combinação com um arcabouço teórico-metodológico que possibilitou a visão conjunta das transformações ocorridas. A perspectiva sistêmica proporcionou uma análise da totalidade das alterações sobre os elementos do sistema ambiental como consequência da interferência dos mecanismos de controle antrópico. A imposição de “válvulas” ou “chaves” em pontos estratégicos do sistema ambiental da bacia Santa Bárbara irradiou, a partir de forças de sinergia e retroalimentação, suas transformações para toda a bacia, desequilibrando os ciclos naturais e conduzindo assim os elementos e os atributos do sistema ambiental a um novo equilíbrio dinâmico submetido à interferência antrópica efetiva, a qual determinou a circulação dos fluxos de matéria e energia em prol das atividades socioeconômicas.

A harmonização desses pilares da pesquisa fundamentou uma análise dos resultados, que partiu do grau de intensidade das alterações verificadas e das relações que a magnitude dessas transformações possuem dentro de um sistema aberto, caracterizado pela bacia Santa Bárbara. Assim, a área em estudo foi compartimentada em setores, levando-se em consideração as características do sistema ambiental e socioeconômico. Tal divisão mostrou-se eficaz na análise dos resultados obtidos, possibilitando o reconhecimento das alterações em grande, média e pequena escala que se relacionam umas com as outras a partir dos mecanismos de retroalimentação.

As áreas em que foram verificadas as maiores alterações morfohidrográficas derivadas de mecanismos de controle antrópico sobre o sistema ambiental da bacia Santa Bárbara localizam-se nos setores de várzea, os patamares leste e oeste e a transição de litologias. As transformações, nesses setores, originam-se de mecanismos de controle atrelados, sobretudo, a elementos urbano-industriais como a impermeabilização do solo por áreas urbanizadas, a canalização e a retificação dos cursos de água, a efetivação de aterramentos para a construção de vias de circulação e a ampliação dos lotes urbanos. A evolução das atividades agropastoris também originou uma série de alterações nas áreas mais baixas da bacia, sobretudo no setor de transição de litologias, onde foram constatadas interceptações diretas nos canais fluviais – formando barragens ou açudes que transformaram o nível de base local – e alterações da morfologia original desencadeadas pela intensidade das atividades agrícolas.

Entretanto, o maior impacto decorrente da evolução do uso da terra na bacia Santa Bárbara foi a construção do Reservatório Santa Bárbara, que provocou o reajuste da morfodinâmica na área, atuando assim na transformação dos canais de drenagem e na conseqüente alteração da morfologia original a partir da aceleração dos processos erosivos e do desequilíbrio das vertentes. As alterações nos elementos do sistema ambiental verificadas nesses setores localizados nas porções mais baixas da bacia irradiaram-se para montante da área em estudo, a partir das leis que regem a dinâmica fluvial, desencadeando alterações na bacia de drenagem a partir da retomada erosiva dos canais fluviais.

As alterações na dinâmica fluvial desencadeadas a partir da construção do Reservatório Santa Bárbara possuem efeito direto sobre as nascentes e, a partir de mecanismos de retroalimentação, podem provocar mudanças nos cursos à jusante. Isso significa admitir um aumento substancial nos processos erosivos a partir da crescente energia de entalhamento dos arroios que, agindo sobre vertentes desprovidas de cobertura

vegetal adequada, onde permanecem usos da terra inapropriados, podem conduzir a taxas de deposição mais elevadas, tanto nos fundos de vale como em reservatórios de pequeno, médio e grande porte que podem ter seu tempo de vida diminuído.

Por outro lado, no setor de nascentes localizado nos compartimentos mais elevados da bacia Santa Bárbara, foram identificadas alterações morfohidrográficas vinculadas sobretudo ao controle indireto dos elementos do sistema ambiental e relacionadas a uma dinâmica de uso da terra que evidenciou o avanço de áreas agrícolas sobre zonas de pastagens. Transformações morfohidrográficas diretas também foram constatadas, porém em intensidades menores as que ocorrem nos setores de várzea, nos patamares leste e oeste e na transição de litologias, permitindo inferir, em um primeiro momento, que a incidência de impactos ambientais no setor de nascentes ocorre em menor escala.

Entretanto, é exatamente a característica de relação dos elementos e dos atributos do sistema ambiental e seu ajuste aos mecanismos de controle antrópico que condicionou algumas alterações na dinâmica fluvial e nos processos erosivos identificados no setor de nascentes. Tal conjuntura ocorre porque a partir dos mecanismos de retroalimentação, o sistema adapta-se às alterações e propaga as conseqüências dessa transformação tanto à jusante quanto à montante, interferindo até mesmo no equilíbrio dinâmico de áreas menos impactadas, como no caso do setor de nascentes.

Assim, as áreas onde foram identificadas as alterações morfohidrográficas mais significativas, situadas nas porções mais baixas da bacia em questão, convergem os efeitos derivados dos mecanismos de controle antrópico à montante, a partir de mecanismos de retroalimentação que interferem de modo negativo no equilíbrio dinâmico do setor de nascentes, incitando o aumento de desequilíbrios ambientais.

Por outro lado, a colaboração da zona de nascentes na degradação e no impacto dos setores localizados nos compartimentos mais baixos da bacia ocorre em menor intensidade, pois, como as alterações morfohidrográficas diretas e indiretas apresentam menor magnitude nesse setor, a irradiação dos efeitos desses mecanismos antrópicos à jusante é conseqüentemente menor no que se refere ao reajuste de canais fluviais, à aceleração dos processos erosivos e ao desequilíbrio das vertentes.

Porém, a interdependência dos atributos dos elementos que compõem o sistema ambiental faz com que essas duas zonas, onde ocorrem alterações morfohidrográficas de distintas magnitudes, dependam de ações de planejamento paralelas. Essas ações atuam

no sentido de evitar que as transformações nos setores de várzea, patamares leste e oeste e transição de litologias, propaguem seus efeitos sobre o equilíbrio dinâmico das áreas menos alteradas e que, por outro lado, a conseqüente irradiação dessas transformações sobre o setor de nascente não estimule a evolução dos impactos ambientais derivados de transformações em grande escala e localizados nas porções mais baixas da bacia.

Acredita-se, diante dessa situação, que ações de planejamento ambiental, pautadas nos resultados apresentados pelo presente estudo, devam procurar atuar tanto no sentido de garantir a conservação das áreas ainda preservadas do setor de nascentes, bem como atentar para a capacidade que os mecanismos de controle antrópico – verificados em maior intensidade nos setores de várzea, patamares leste e oeste e transição de litologias – possuem em alterar o equilíbrio dinâmico das áreas ainda preservadas, por meio dos mecanismos de retroalimentação que regem os sistemas ambientais.

Isso significa que para haver um planejamento ambiental na área em estudo é necessário considerar as alterações que já se encontram em curso – procurando minimizar a intensidade de seus impactos – bem como considerar a necessidade que existe em manter preservadas as áreas de nascente da bacia hidrográfica, já que essas, a partir dos mecanismos de sinergia e retroalimentação, contribuem de forma menos efetiva na transmissão dos impactos ambientais para a jusante e também se caracterizam como parte principal da bacia hidrográfica, uma vez que essa é a zona onde nascem os arroios que contribuem para os fluxos de matéria e energia da mesma. Assim, estima-se que possibilidades de aplicabilidade dos resultados da presente pesquisa ocorrem desde que se considere a integração dos atributos dos elementos do sistema ambiental e sua relação com a estrutura e a dinâmica do sistema socioeconômico.

Por fim, torna-se necessário compreender que os resultados da presente pesquisa não são únicos e possuem conexões que possibilitam a inserção de outros trabalhos que pretendam aprofundar a temática abordada, tanto na bacia Santa Bárbara como em zonas adjacentes ou, ainda, tomando a área como objeto de relação com outra unidade de estudo. Por se tratar de uma bacia hidrográfica estratégica para o município de Pelotas, uma vez que nela situa-se o Reservatório Santa Bárbara, é de suma importância que estudos vinculados às alterações ocorridas na área e que apresentam também a conjuntura de impactos no sistema ambiental sejam levados em consideração para a implantação de ações de planejamento ambiental, aliando os dados verificados em pesquisas acadêmicas às ações

efetivas, organizadas por órgãos competentes como o poder público, a partir de secretarias de meio ambiente, planejamento urbano e agricultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A TERRA no Limite. **Veja**, São Paulo, ano 38, n. 41, p. 84, 12 out. 2005. Reportagem Especial.

AB'SABER, A.N.. Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método. *Estudos Avançados*, São Paulo, v.3, n.5, Jan./Apr. 1989. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141989000100002&script=sci_arttext>. Acesso em: 07 ago. 2007.

ABLER, R.; ADAMS, J. S.; GOULD, P. **Spatial Organization: the geographer view of the world**. Englewood Cliffs: Prentice-hall, 1971. 587 p.

ACREMAN, M. C.; MILLER, F. Hidrological impact assessment of wetlands. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GROUNDWATER SUSTAINABILITY (ISGWAS), 1., 2006, Alicante. **Anais...** Alicante, 2006. p. 225-255. Disponível em: <<http://aguas.igme.es/igme/ISGWAS/Ponencias%20ISGWAS/16-Acreman.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2007.

ALTHOFF, D. A.; KLEVESTON, R. Sólidos suspensos e perda de nutrientes no preparo do solo para arroz irrigado. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.9, n.2, p. 44 – 46, 1996.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensoriamento remoto**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78 p.

ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica**. 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

ARAÚJO, G. E. S; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320p.

- ARCURI, M. E. P. **Planejamento ambiental através de informações em bases cartográficas. O caso de estudo da Microbacia Santa Eliza – Rio Claro/SP.** 1997. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.
- ARRIADA, E. **Pelotas – Gênese e desenvolvimento urbano.** Pelotas: Armazém Literário, 1994.
- ART, H. W. (Org.). **Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais.** São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998. 583 p.
- AUTODESK ICONRPORTATION. **AutoCAD MAP 2002 User Guide.** Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=2995517>>. Acesso em: 21 jun. 2003.
- BACCI, D. L. C.; LANDIM, P, M, B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v.59, n.1, p. 47-54, jan. mar. 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rem/v59n1/a007.pdf>> Acesso em: 17 abr. 2007.
- BALDWIN, J. H. **Environmental Planning and Management.** Boulder: Westview Press., 1981.
- BERNARDES, N. Bases Geográficas do Povoamento do Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, ano 20, n. 171. p. 587-620, 1962.
- BERTALANFY, L. Von. **Teoria Geral dos Sistemas.** Petrópolis: Vozes, 1973. 351 p.
- BIGARELA, J. J.; ANDRADE, G. O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT JR., H. E.; FREY, D. G. International studies on the Quaternary. **Special papers / Geological Society of America**, New York, n. 84, p. 433 – 451, 1965.
- BOADA, M; TOLEDO, V. M. **El Planeta, nuestro cuerpo.** La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad. México: FCE, SEP, CONACYT, 2003. 237 p. (La ciencia para todos).
- BORBA, F. S. (Org.). **Dicionário UNESP de português contemporâneo.** São Paulo: UNESP, 2004.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153 – 192.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Serviço de Produção de Informação - SPI,1999, 412p.
- BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Cidades@.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 23 abr. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Comissão Nacional de Coordenação do Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas**. Brasília, 1987. 60p.

BRASIL. Ministério do Exército. **Carta Topográfica de Monte Bonito**: folha SH. 22 – Y – D – IV – 1. MI 3020/1. 2 ed. Porto Alegre: Diretoria de Serviço Geográfico, 1980. Escala 1:50.000.

BRASIL. Ministério do Exército. **Carta Topográfica de Pelotas**: folha SH. 22 - Y - D - IV - 3 MI - 3020/3. 2 ed. Porto Alegre: Diretoria de Serviço Geográfico, 1979. Escala 1:50.000.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Programa de Integração Regional. RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986. v. 33.

BRASIL. Serviço Geográfico do Exército. **Projeto AF 63-32**. Porto Alegre, 1965.. 8 fotografias aéreas. Escala 1:60.000. Fx. 229 A/21489/21490 e Fx. 230 A/21423/21424/21425/21426.

BRASIL. Superintendência de Desenvolvimento da Região Sul. **Pelotas**. Porto Alegre, 1953. 10 fotografias aéreas. Escala 1: 40.000..

BULLOCK, A.; ACREMAN, M. The role of wetlands in the hydrological cycle. **Hydrology and Earth Systems Sciences**. v. 7, n. 3, p. 358-389, 2003. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/7/358/2003/hess-7-358-2003.html>>. Acesso em: 13/06/2007.

CANEZ, R. P. **Estudo Ambiental na Área da Barragem Sta. Bárbara no Município de Pelotas-RS**. 2003. 77 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas/Universidade Federal de Pelotas.

CAMPOS, S. **Fotointerpretação da ocupação do solo e suas influências sobre a rede de drenagem da bacia do rio Capivara – Botucatu (SP), no período de 1962 1977**. 1993. 164 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

CAPRA, F. **O Ponto de Mutação**. São Paulo: Cultrix, 1982. 447 p.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 1991. 137 p.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA/ESALQ. **Informativo CPEA – Setor Florestal**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. n.40

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. O uso das fotografias aéreas na identificação agrícola da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 161-173, abr./jun. 1966.

CHORLEY, R. J. A geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 – 22, jun. 1971.

- _____. **Directions in Geography**. London: Methuen, 1973. 393 p.
- _____. Geomorphology and General Systems Theory. **US. Geological Survey. Professional Paper**, Washington, DC, v. 500-B, p. 1- 11, 1952.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Approach**. Londres: Prentice Hall, 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- _____. A Teoria dos Sistemas. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, n. 2, p. 43-60, 1971.
- _____. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p.
- _____. Aplicação da abordagem em sistemas na Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 2, p. 21 – 35, 1990.
- _____. Aspectos da análise sistêmica em Geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 3, n. 6, p.1-31, out.1978.
- _____. Definição e objeto da Geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 8, n. 15 /16, p. 1 – 28, 1983.
- _____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blüncher, 1999. 236 p.
- _____. Significância da teoria de sistemas em Geografia Física. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 16 /17, n. 31 /34, p. 119 – 128, 1986/ 1987.
- COATES, D. R. **Geomorphology and engineering**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson. 1976. 360 p.
- COOKE, R. U; DOORNKAMP, J, C. **Geomorphology in environmental management: an introduction**. Oxford: Clarendon Press, 1974. 413 p.
- CUNHA, C. M. L. **A Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C. **Estudos dos solos do município de Pelotas**. Pelotas: EMBRAPA/CPACT, EDUFPEL, 1997.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J, T.; CUNHA. S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 5, p. 211-252.
- DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas/Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

- DE LEON, M. B. **Estudo Limnológico da Barragem Santa Bárbara, Pelotas, Relacionando as Características Fisiográficas Regionais**. 1983. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.
- DELANEY, P. J. V. Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio grande do Sul. **Boletim da Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 6, p. 1 – 105, 1965. Publicação especial.
- DREW, D. **Processos interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo: DIFEL, 1986. 206 p.
- ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Normais Climatológicas do Município de Pelotas, 1971 – 2000 (mensais e anuais)**. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/estacaoagro/>>. Acesso em: 23 abr. 2006.
- FERREIRA, J.; FERREIRA, M. A. H. **Bacias Hidrográficas e Gestão Ambiental**. Bagé: URCAMP, 2003. 97 p.
- FILADELFO JÚNIOR, W. S. **Geoprocessamento aplicado ao estudo de ocupação do solo e de classe de declive**. 1999. 112 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.
- FLORES, M. **História do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Nova Dimensão, 1996.
- FLORIANO, E. P. Planejamento Ambiental. 2002. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2002.
- FORESTI, C; HAMBURGER, S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. In: TAUKE, S. M. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: EDUNESP, 1991. p. 115-120.
- FUJIMOTO, N. S. V. M. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: FFLCH/USP, n. 16, p. 76-80, 2005.
- _____. Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre – RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. **Geosp – Espaço e Tempo**, São Paulo: FFLCH/USP, n. 12, 2002. Disponível em: <http://www.geografia.ffeclh.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp12/Geosp12_NinaFujimoto.htm>. Acesso em: 13 jun. 2007.
- GOOGLE EARTH 4.0. Disponível em :<<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 10 ago. 2006.
- GOUDIE, A. **The human impact in the natural environment**. Cambridge: The MIT Press, 1986. p 338.
- GOULART, J. S. **A Formação do Rio Grande do Sul**. 4. ed. Porto Alegre: Martins Livreiro, 1985. 208 p.

- GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. 367 p.
- GRIMSHAW, D.L.; LEWIN, J. Reservoir effects on sediment yield. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 47, p. 163-167, 1980.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 653 p.
- HANWELL, J.; NEWSON, M. **Techniques in physical geography**. London: Macmillan Education, 1973. 230 p.
- HOUGHTON, R. A. The worldwide extent of land-use change. **Bioscience**, Washington, n. 44, p. 305-313, 1994.
- JACKSON, J. A. **Glossary of Geology**. 4. ed. Alexandria, Virginia: American Geological Institute, 1997. 769 p.
- JOST, H.; SOLIANI JUNIOR, E. Contribuição a sedimentologia do quaternário da planície costeira do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. p. 202 -203.
- KELLER, E. C. de S. Mapeamento e utilização da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 3, p. 151 – 160, 1969.
- KENTULA, M. E.; GWIN, S. E.; PIERSON, S. M. Tracking changes in wetlands with urbanization: sixteen years of experience in Portland, Oregon, USA. **Wetlands**, Lawrence, v. 24, n. 4, p. 734-743, dec. 2004.
- KORB, C. C. **Identificação de depósitos tecnogênicos no Reservatório Santa Bárbara, Pelotas (RS)**. 2006. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. **Global land-use and land-cover change: what have we learned so far?** Land-Use/Cover Change International Project Office. Louvain-la-Neuve: Belgium, 2004. p. 27-30.
- LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions**, Norwich, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.
- LAMBIN, E.F. et al.. **Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Implementation Strategy**. A Core Project of the International Geosphere-Biosphere Program and the International Human Dimensions Program on Environmental Change: IGBP Report 48, IHDP Report 10: IGBP, Stockholm, 1999. 125 p. Disponível em: <<http://www.ihdp.uni-bonn.de/html/publications/reports/report10/luccisindex.htm>>. Acesso em: 07 ago. 2007.
- LEPERS, E, et al. A Synthesis of Information on Rapid Land-cover Change for the Period 1981-2000. **BioScience**, Washington, v. 55, n. 2, p. 115 – 124, feb. 2005.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p.

LIMA, W. P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 1996. 301 p.

LINDMAN, C. A. M. **A Vegetação do Rio Grande do Sul**. Tradução de Alberto Loefgren.. Porto Alegre: Livraria Echenique, 1906.

LOENERT, J. M. U. **Contribuição metodológica ao planejamento do uso e acompanhamento de microbacias. Um estudo na microbacia I – setor b – Rio da Várzea, em Mandirituba, PR**. 1993. 232 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

MACHADO, F.B.et al.. **Enciclopédia Multimídia de Minerais e Atlas de Rochas**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acesso em: 22 abr. 2006.

MAGALHÃES, M. O. **História e Tradições da Cidade de Pelotas**. 2. ed. Caxias do Sul: UCS/IEL, 1981.

MARINHO, V. L. F. **Estudo ambiental na Bacia do Ribeirão das Furnas / Araras (SP)**. 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

MARQUES, J. Q. de A. **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação**. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-EUA, 1971. 433 p.

MATHER, J.R.; SDASYUK, G.V. **Global change: geographical approaches**. Tucson: University of Arizona Press, 1991.

MAURO, C. A. de. (Coord.). **Laudos periciais em depredações ambientais**. Rio Claro: LPM/DEPLAN/IGCE/UNESP, 1997. 254 p.

MENDONÇA, F. A. **Geografia e Meio Ambiente**. São Paulo: Contexto, 1998.

MENEGAT, R. (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: EDUFRGS, 1998. 228 p..

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORIN, E. **O Método**. A natureza da natureza. Lisboa: Europa-América, 1977. 363p. Tomo I .

_____. **O problema Epistemológico da Complexidade**. 3. ed. Lisboa: Publicações Europa-América, 2002.

MULHALL, M. G. **O Rio Grande do Sul e suas Colônias Alemãs**. Tradução de Euclides Santos Moreira. Revisão de Rosaura Eichenberg. Porto Alegre: Bels, 1974. 169 p.

NEUMAN, P. S.; LOCH, C. Os efeitos da fragmentação das terras nas unidades familiares de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. p. 1 – 16.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308 p.

OLIVEIRA, A. M. M. de O. **Análise da dinâmica do uso da terra : o estudo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

OLIVEIRA, E. L. A.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. Modificações na morfologia dos canais de drenagem da bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n. 11, p. 103 – 113, 2006.

PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. In: GREGORY, K. J. **River channel changes**. Chichester: Wiley, 1977. 8, p. 121-144.

PARKER, D.; MANSON, S.; JANSSEN, M.; HOFFMANN, M.; DEADMAN, P. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. **Annals of the Association of American Geographers**, Miami, n. 93, p. 314–337, 2003.

PEBAYLE, R. Os difíceis encontros de duas sociedades rurais. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n.18, p.35-45, jan./dez. 1975.

PELOGGIA, A. U. G. A cidades, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.16, p. 24 – 31, 2005.

PELOTAS (Cidade). Prefeitura Municipal. **Dados Físicos e Econômicos**. Disponível em: <http://www.pelotas.com.br/cidade_dados/pelotas_dados.htm>. Acesso em: 11 fev. 2006.

PELOTAS (Cidade). Prefeitura Municipal de Pelotas. **Pelotas**. 1995. 22 fotografias aéreas. Escala 1:25.000. Fx. 06/105, 106, 107, 108, 109, 110, 111; Fx. 07/ 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135; Fx. 08/ 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160.

PELOTAS (Cidade). Prefeitura Municipal. **Primeira Referência Histórica de Pelotas**. Disponível em: <http://www.pelotas.com.br/cidade_historia/pelotas_historia.htm>. Acesso em: 11 fev. 2006.

SOUZA, B. S. P. **A Qualidade da Água de Santa Maria/RS: uma análise ambiental das sub-bacias hidrográficas dos rios Ibicuí Mirim e Vacacaí Mirim**. 2001, 234 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: FIBGE, 1979.

PESAVENTO, S. J. **História do Rio Grande do Sul**. 8. ed. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1997. 142 p. Revisão.

PETER, G. M. **Santa Bárbara**: o braço morto do Arroio que ainda vive na memória. 2004. 32 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conservação do Patrimônio em Centros Urbanos) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PHILIPP, R. P et al. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 277 – 290, 2002.

PHILIPP, R. P. Geologia dos Granitóides de Região de Monte Bonito, Pelotas – RS. Uma contribuição ao reconhecimento estratigráfico do setor oriental do Escudo Cristalino Sulriograndense. **Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 33, n. 14, p. 71 – 127, 1991.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Petrografia, Tectônica e Aspectos Petrogenéticos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 3. p. 257-266, 2001. Disponível em: <http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol31_down/3103/3103257.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2006.

PIACENTE, S. Man as geomorphological agent. In: PANIZZA, M. **Environmental Geomorphology**. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1996. p. 197-214. (Developments in Earth Surface Processes, 4).

PIRES, L. S. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687 – 695, abr.2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n4/29818.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2007.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**: Ensaio de Monografia Natural. 3 ed. São Leopoldo: Unisinos. 1994. 473 p.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria de Coordenação e Planejamento. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Edição Eletrônica, 2003. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>>. Acesso em: 05 mar. 2006.

ROCHA, J. S. M. **Manejo integrado de Bacias Hidrográficas**. Santa Maria: UFSM, 1989.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, p. 101 – 111, 2005.

RODRIGUES, J. E. C; LUCHIARI, A. Avaliação na dinâmica do uso da terra e suas implicações ambientais no município de Barcarena – PA, por meio do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FFLCH/USP, 2005. p. 1285-1296.

ROSA, M. **Geografia de Pelotas**. Pelotas: EDUFPEL, 1985. 334 p.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 9, p. 65 – 75, 1995.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 89 – 121, 1998.

RYFF, T. et al. **O estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1995. p. 10 - 47.

SAINT-HILAIRE, A. **Viagem ao Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Martins Livreiro, 1997.

SALAMONI, G. **Produção Familiar Integrada ao C.A.I Brasileiro: A Produção do Pêssego no Município de Pelotas-RS**. 1992. 250 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

_____. **Produção Familiar: possibilidades e restrições para o desenvolvimento sustentável – o exemplo de Santa Silvana – Pelotas-RS**. 2000. 325 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

SEASSURE, F. de. **Cours de linguistique générale**. Paris: Payot, 1931.

SCHEIDLEDER A.; WINKLER, G.; GRATH, J.; VOGEL, W. R. **Human Interventions in the Hydrological Cycle**. Copenhagen: European Environment Agency, 1996. (Topic Report, n.13). Disponível em: <http://reports.nl.eea.europa.eu/92-9167-030-8/en/topic_report_13_1996.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2007.

SEPPÄLÄ, M. Geomorphological aspects of road construction in a cold environment, Finland. In: GIARDINO, J. R.; MARSTON, R. A.; MORISAWA, M. **Geomorphology**. Amsterdam: Elsevier Science B. V. n. 31, 1999. (Special Issue, 28TH Binghamton Symposium: Changing the face of the earth – engineering geomorphology).

SILVA, P. P. L.; GUERRA, A. J. T.; MOUSINHO, P. (Org.). **Dicionário brasileiro de ciências ambientais**. Rio de Janeiro: Thex, 1999. 247 p.

SILVA, R. S. da. **Arroio Santa Bárbara, a morte e o braço morto**. 2003. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

SIMON, A. L. H. **Identificação e análise das classes de uso da terra na bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara – Pelotas, RS**. 2005. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2005.

- SIMON, A. L. H.; HILSINGER, R.; NOAL, R. E. Impactos ambientais e estado de degradação ambiental do Canal Santa Bárbara, município de Pelotas, RS. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, v. esp. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, p. 1240 – 1254, 2003.
- SOMBROEK, W.G.; H. AVERBECK, A. DURAN. 1969. **Soil studies in the Merin Lagoon Basin, Uruguay/S. Brazil**, CLM/PNUD/FAO Report, Treinta y Três (UY), 1969. (report, maps and cross sections).
- SOTCHAVA, V. B. O estudo dos geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 16, p. 1-52, 1977.
- STODDART, D. R. Growth and structure of geography. **Transactions Institute of British Geographers**, v. 41, p. 1 -20, 1967.
- STRAHLER, A. N., Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. **American Journal of Science**, New Haven, n. 248, p. 673 – 696, 1950.
- STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H.. **Environmental Geoscience**: interaction between natural systems and man. Santa Barbara: Hamilton Publishing Company, 1973. 511p.
- SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Terra**: feições ilustradas. Porto Alegre: EDUFRGS, 2003. 263 p.
- SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1222 p.
- _____. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blüncher, 2003. 400 p.
- TAGLIANI, C. R. A. Mapeamento da Vegetação e Uso do Solo nos Entornos da Laguna dos Patos, RS, Utilizando Técnicas de Processamento Digital de Imagem do SIG Spring. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1461 – 1468.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN. 1977. 97p.
- _____. **Principles y Méthodes de la Geomorphologie**. Paris: Maisson, 1965. 496 p.
- TROPPEMAIR, H. **Metodologias simples para pesquisar o meio ambiente**. Rio Claro: Edição do Autor, 1988. 233 p.
- TURNER, B.L.; W.B. MEYER; D.L. SKOLE. Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Program of Study. **Ambio**, Stockholm, v. 23, n. 1, p. 91 – 95, 1994.
- UNITED STATES OF AMERICA. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Soil Taxonomy**: a básica system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, 1975. 503 p. (Agriculture Handbook, 436).

-
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. **Pelotas**. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/pelotas/>>. Acesso em: 12 mar. 2006.
- VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAN, R. A. van. **ITC System of geomorphological survey**. Manual ITC Textbook, Netherlands: Enschede, 1975, v. 1, cap. 8.
- VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, set. – dez. 2003.
- VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984. 184 p.
- VIEIRA, S. G. Evolução Urbana de Pelotas: Um estudo Metodológico. **História em Revista**, Pelotas, v. 1, n. 1. p. 21 – 34, 1994.
- VIGNOLO, M. A. **Caracterização da qualidade da água do Canal Santa Bárbara – Pelotas (RS)**. 2003. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Instituto de Biologia/Universidade Federal de Pelotas. 2003.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CECO/IG/UFRGS, 1995. p.1-45. (Notas Técnicas, n. 8).