

# AS ALTERAÇÕES NA DINÂMICA FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - PELOTAS (RS)

*Adriano Luís Heck SIMON<sup>1</sup>*

*Cenira Maria Lupinacci da CUNHA<sup>2</sup>*

## Resumo

O artigo tem como objetivo analisar as principais alterações na dinâmica fluvial ocorridas na bacia do Arroio Santa Bárbara, durante 42 anos (1953 – 1995). 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. Para avaliar as alterações ocorridas sobre a dinâmica fluvial da área em questão, foram elaborados mapas que representam as características da rede de drenagem em três cenários – 1953, 1965 e 1995, a partir da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas. As atividades de fotointerpretação também possibilitaram a avaliação do comportamento do uso da terra e das transformações ocorridas na morfologia original, orientando os trabalhos de campo para os pontos críticos de alteração na rede de drenagem. A ação humana sobre o sistema natural, por meio das intervenções diretas e indiretas, desencadeou uma série de transformações na dinâmica fluvial. Mecanismos de controle antrópico exercidos sobre a rede de drenagem foram identificados em todos os setores analisados e a capacidade de intervenção destes componentes artificiais, mostrou-se mais intensa em cada um dos cenários mapeados. Tais ações obtiveram respostas do sistema, que procurou reajustar-se diante das novas características impostas aos processos naturais.

**Palavras-chave:** Dinâmica Fluvial. Alterações Ambientais. Pelotas.

## Abstract

### Changes in fluvial dynamics of Santa Bárbara Hydrographic Basin – Pelotas (RS)

This paper aims to analyze the main alterations occurred in the fluvial dynamics of the Santa Bárbara hydrographic basin, during 42 years (1953 - 1995). The study area is located in south-east portion of the municipal district of Pelotas (Rio Grande do Sul state) composing the Patos-Mirim lacustrine system. The changes in the fluvial dynamics were appraised through the elaboration of maps that represent the characteristics of drainage net in 1953, 1965 and 1995. These maps were obtained starting from the interpretation of aerial photographs that turned possible, in the same way, to analyze the land use characteristics and the main transformations in the original morphology, addressing the field activities for the critical points of alteration in drainage net. Human intervention on the natural system unchained several transformations in the fluvial dynamics. Human mechanisms of control were identified in all the analyzed sections and the capacity of intervention of these artificial components were recorded more intense in each mapped scenery. The system reacted to these forces trying to adjust itself to the new characteristics imposed on natural processes.

**Key words:** Fluvial Dynamics. Environmental changes. Pelotas.

---

1 Mestrando em Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia IGCE/UNESP, campus de Rio Claro. Bolsista CAPES. E-mail: adrianosimon@yahoo.com.br.

2 Professora Doutora do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento IGCE/UNESP, campus de Rio Claro. E-mail: cenira@rc.unesp.br.

## INTRODUÇÃO

A intervenção antrópica sobre o sistema natural intensifica-se a partir do aprimoramento de técnicas que possibilitam maior apropriação dos recursos naturais. Os elementos físicos são alterados para atender aos planos de expansão e modernização de atividades humanas, por meio de diversos usos da terra que sustentam a estrutura do sistema socioeconômico. As conseqüências ambientais, oriundas desta evolução tecnológica, caracterizam-se por desequilíbrios nos ciclos e processos naturais, uma vez que estes são alterados e subordinados às intenções antrópicas.

Dentre os elementos que compõem o sistema natural, as maiores alterações ocorrem sobre aqueles que sustentam e estão em contato direto com as atividades humanas. Assim, o ciclo hidrológico (em sua fase terrestre) se encontra sob constante interferência, por meio de transformações em sua estrutura, atributos e processos.

Drew (1986), afirma que poucos sistemas de drenagem possuem características inteiramente naturais. O autor citado explica que a interferência na dinâmica fluvial ocorre de forma a garantir a drenagem de áreas alagadas, ou então, para destinar água à irrigação de zonas áridas com insuficiência de precipitação. Assim, as alterações do ciclo hidrológico, em sua fase terrestre, encontram-se profundamente ligadas às propostas humanas de uso da terra.

De acordo com Park (1977), as transformações na dinâmica fluvial ocorrem de forma direta e indireta. As ações diretas são processadas no canal fluvial, a partir a efetivação de obras de engenharia que têm por objetivo aliviar os efeitos de fluxo, erosão ou deposição, acarretando em mudanças na estrutura e nos processos fluviais.

Park (1977) evidencia ainda um segundo grupo de mudanças, inserido nas ações indiretas, referente às alterações que ocorrem no uso da terra, como a remoção da cobertura vegetal, reflorestamentos, mudanças nas práticas agrícolas, construção de edificações, impermeabilização do solo e atividades de mineração. Estas transformações provocam disfunções na dinâmica fluvial, por meio de mudanças na drenagem e na direção do escoamento superficial e sub-superficial.

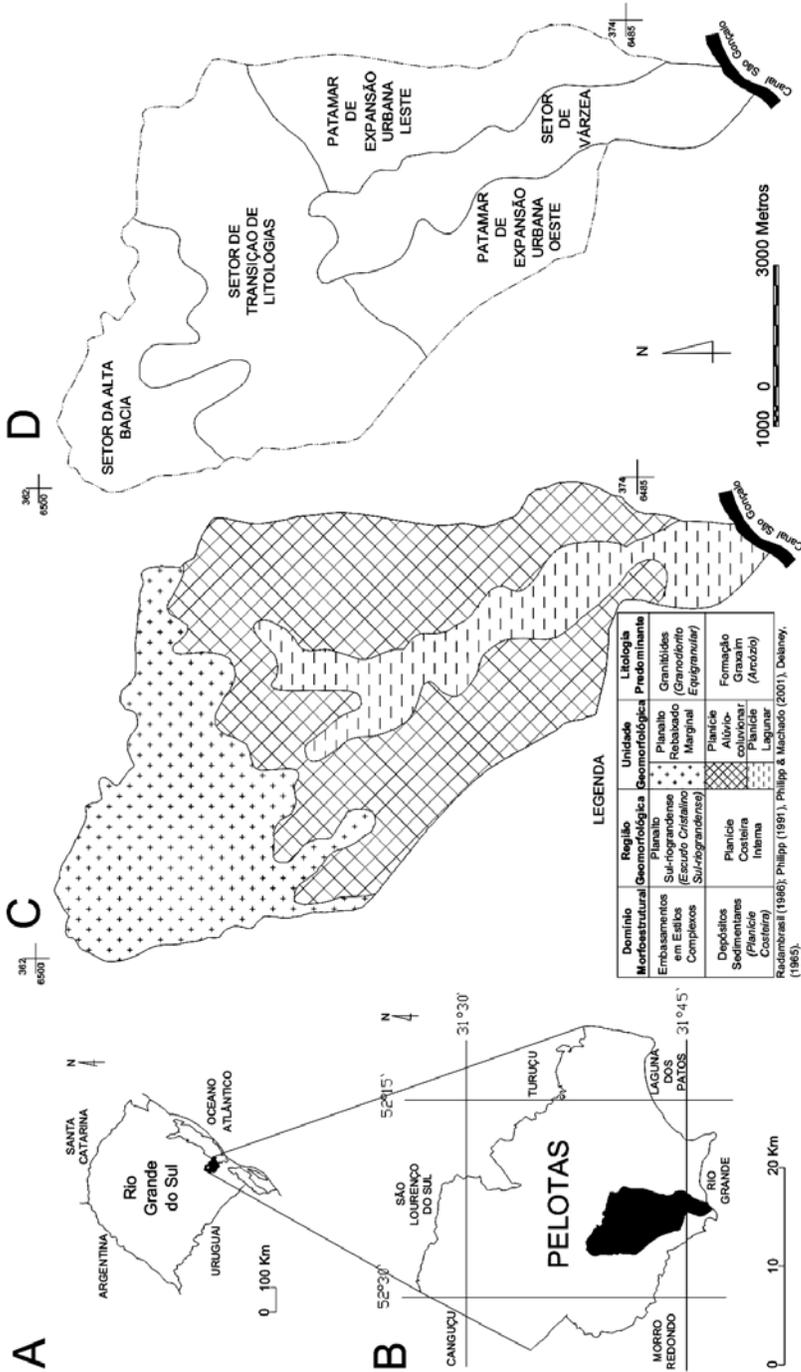
Todas estas situações, tanto diretas como indiretas, podem ser identificadas em um curto período de tempo, porém, são melhor diagnosticadas (sob o ponto de vista dos processos) quando analisadas em um intervalo cronológico maior, no qual constata-se alterações no uso da terra e nas formas de apropriação dos elementos do sistema natural. No caso da dinâmica fluvial, as intervenções citadas ocorrem de forma mais agressiva a partir do desenvolvimento de técnicas de engenharia, do crescimento urbano e da modernização das práticas agrícolas, geralmente desencadeadas em um intervalo de tempo significativo.

Assim, o objetivo do presente estudo é identificar e analisar as principais alterações na dinâmica fluvial ocorridas na bacia do Arroio Santa Bárbara durante 42 anos (1953 – 1995), e que possuem sua gênese vinculada à dinâmica de uso da terra local. A evolução do uso da terra ao longo desse período desencadeou intervenções diretas e indiretas na bacia hidrográfica, que promoveram desequilíbrios ambientais os quais necessitam ser estudados a fim de estabelecer metas para o futuro planejamento da área.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia do Arroio Santa Bárbara localiza-se na porção sudoeste do município de Pelotas, Estado do Rio Grande do Sul e ocupa uma área de aproximadamente 83 km<sup>2</sup> (Figura 1 A e B). Insere-se no conjunto de bacias do sistema lagunar Patos-Mirim, desaguando no Canal São Gonçalo, elo entre as formações lacustres citadas.

Figura 1 - A) Localização do Município de Pelotas no Estado do Rio Grande do Sul; B) Localização da bacia do Arroio Santa Bárbara no Município de Pelotas; C) Características geológicas e geomorfológicas da bacia do Arroio Santa Bárbara; D) Setores de análise das alterações na dinâmica fluvial da bacia Santa Bárbara



A área apresenta atributos peculiares quanto ao relevo por situar-se na interface de dois domínios morfoestruturais gaúchos (Figura 1 C): o Escudo Cristalino Sul-riograndense – mais precisamente na unidade geomorfológica do Planalto Rebaixado Marginal – e os Depósitos Sedimentares do Quaternário, entre as unidades geomorfológicas da Planície Alúvio-Coluvionar e Planície Lagunar. No primeiro domínio existe o predomínio de litologias mais resistentes como o Granodiorito Equigranular (PHILIPP, 1991), enquanto que no segundo ocorre a Formação Graxaim, que abrange o conjunto de Arcózios predominante na Planície Costeira Interna (RADAMBRASIL, 1986; DELANEY, 1965).

A cobertura vegetal original resulta da localização da bacia em uma área de transição entre a serra e o litoral, sendo possível encontrar áreas de banhado, campos, pastagens além da mata subtropical arbustiva. No entanto, a atual configuração espacial da área evidenciam um intenso processo de apropriação dos recursos naturais por parte das atividades agrícolas e urbano-industriais.

Dentre os sistemas hidrográficos que compõem o município de Pelotas, a bacia do Arroio Santa Bárbara caracteriza-se por apresentar um dos maiores índices de ocupação urbana. Além do mais, a alteração dos elementos do sistema natural pelas atividades agropastoris ocorreu de forma distinta na região de planície – onde existem grandes propriedades de cultivo de arroz irrigado – e na região serrana, onde pequenas e médias propriedades ocuparam áreas de mata nativa para o desenvolvimento de práticas agrícolas.

## MÉTODO E TÉCNICA

A orientação metodológica da presente pesquisa vincula-se à Teoria Geral dos Sistemas aplicada à Geografia. Por meio da adoção desta abordagem metodológica, busca-se enfatizar a noção de interferência das atividades humanas no sistema natural, provocando alterações – caracterizadas por entradas excessivas ou mínimas de energia e matéria e/ou perturbações na dinâmica do sistema – que condicionam situações de controle antrópico e desequilíbrio ambiental. No âmbito deste referencial teórico, a bacia do Arroio Santa Bárbara é analisada sob o enfoque dos sistemas controlados.

Chorley; Kennedy (1971) e Christofletti (1999) explicam que os sistemas controlados encontram-se inseridos nos sistemas processo-resposta. Possuem a particularidade de conter “válvulas” ou “chaves” artificiais, de origem antrópica, que desempenham um papel decisivo no equilíbrio do sistema natural, por meio de intervenções efetivas que causam mudanças operacionais na distribuição de matéria e energia, dependendo da intensidade da atuação na condução, estagnação, desvio ou aceleração de determinados processos.

Essas válvulas e chaves ocupam pontos estratégicos dentro do sistema, sendo capazes de desencadear mudanças funcionais nos atributos dos elementos físicos, demonstrando assim seu caráter de importância nos estudos geográficos que visam contribuir para ações de planejamento ambiental.

Para avaliar as alterações ocorridas sobre a dinâmica fluvial da bacia do Arroio Santa Bárbara, foram elaborados mapas que representam as características da rede de drenagem do sistema em três cenários distintos – 1953, 1965 e 1995.

A organização deste mapeamento ocorreu a partir da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas verticais dos anos de 1953 (em escala 1:40.000), 1965 (em escala 1:60.000) e 1995 (em escala 1:25.000). Cabe mencionar que estes foram os materiais disponíveis para a realização do mapeamento e que a diferença na escala dos aerofotolevantamentos foi compensada por interpretações que buscaram homogeneizar as informações espaciais em termos de quantidade e qualidade dos dados.

Além de mapear a rede de drenagem nos três cenários, buscou-se, com as atividades de fotointerpretação, avaliar o comportamento e as mudanças do uso da terra a fim de encontrar respaldo para a análise e descrição das alterações diretas e indiretas ocorridas na dinâmica fluvial. Transformações na morfologia original e o acompanhamento das obras de engenharia em suas várias fases, também foram considerados durante a interpretação das fotografias aéreas, e auxiliaram na descrição das modificações processadas.

A escassez de material aerofotográfico determinou a não elaboração do mapeamento no período atual. Entretanto, foram realizados trabalhos de campo, os quais buscaram, a partir dos dados levantados pela fotointerpretação, identificar pontos críticos de intervenção e alteração na dinâmica fluvial, dentro dos limites da bacia do Arroio Santa Bárbara.

As atividades de campo foram efetivadas em cada um dos setores de análise da bacia (Figura 1 D), a fim de investigar e retratar: (1) as características das obras de engenharia no setor de várzea e a conjuntura pós-drenagem dos terrenos inconsolidados; (2) o aspecto da urbanização no setor dos patamares de expansão urbana leste e oeste e as interferências na dinâmica fluvial; (3) as áreas destinadas ao cultivo do arroz irrigado no setor de transição de litologias e as alterações na rede de drenagem derivadas destas atividades e (4) a conjuntura da rede de drenagem no setor da alta bacia, no que tange a preservação das nascentes e o uso da terra.

## **ALTERAÇÕES NA DINÂMICA FLUVIAL DA BACIA DO ARROIO SANTA BÁRBARA NO PERÍODO DE 1953 – 1995**

A intervenção humana sobre o sistema natural, por meio de intervenções diretas e indiretas, desencadeou uma série de alterações na rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara no período que compreende o primeiro e o último cenário analisado, ou seja, 42 anos.

A análise das características deste processo ocorreu após a compartimentação da área de estudo de acordo com as características do meio físico (CUNHA; SILVEIRA, 1997; RADAMBRASIL, 1986) e também a partir das observações sobre o comportamento do uso da terra (SIMON, 2005). Assim foi possível estabelecer cinco setores de análise dos dados, onde as características dos mecanismos de controle sobre a dinâmica fluvial se apresentam de forma distinta: setor de várzea da bacia Santa Bárbara, setor de transição de litologias, patamar de expansão urbana leste, patamar de expansão urbana oeste e o setor da alta bacia Santa Bárbara (Figura 1 D).

A respeito das alterações diretas e indiretas na rede de drenagem supracitadas, e que se ajustam aos aspectos das válvulas e chaves que funcionam como pontos de controle antrópico sobre o sistema, é possível ressaltar quatro tipos de intervenção que ocasionam uma série de eventos sobre a dinâmica fluvial da bacia do Arroio Santa Bárbara: (1) a construção de reservatórios de captação de água e açudes para irrigação de lavouras; (2) a transposição e canalização de cursos de água visando a contenção de enchentes e a drenagem de áreas alagadas para ampliação da estrutura urbana; (3) os aterramentos e cortes no relevo para a construção de estradas e áreas de mineração de granito e (4) a canalização de cursos de água para a irrigação das lavouras de arroz.

## **OBRAS DE ENGENHARIA NO SETOR DE VÁRZEA DA BACIA SANTA BÁRBARA**

O setor de várzea localiza-se na porção centro-sul da bacia do Arroio Santa Bárbara (Figura 1 D). Encontra-se assentado sobre depósitos sedimentares holocênicos da unidade

geomorfológica da Planície Lagunar, que estão temporária ou permanentemente inundados por água de arroios ou lagoas (RADAMBRASIL, 1986). A morfologia desta zona é formada por superfícies aplainadas e homogêneas, pouco inclinadas, com altitudes que não ultrapassam os 10m (De LEON, 1986).

As porções norte e central do setor de várzea eram formadas por uma complexa rede de pequenos canais com vales em seção plana, drenando terrenos inconsolidados, com predomínio da vegetação de banhado. O escoamento superficial proveniente dos demais setores da bacia do Arroio Santa Bárbara possuía conexão com essa rede de canais, formando um sistema de concentração de água efêmero, que confluía para o segmento final da bacia, na porção sul do setor de várzea, alcançando a foz no Canal São Gonçalo.

Na década de 1950 iniciaram-se as obras de drenagem no setor de várzea. Tais ações tinham como objetivo a retificação e transposição do Arroio Santa Bárbara em seu curso inferior, vindo a suprir prioridades do poder público municipal como: (1) a drenagem das áreas alagadas na porção central do setor, para promover a interligação das zonas de patamares leste e oeste (predominantemente urbanizadas) e possibilitar a expansão da estrutura urbana; (2) a amenização das enchentes que atingiam a área urbana marginal ao Arroio Santa Bárbara na porção sul do setor de várzea e, (3) como consequência 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.

A figura 2 representa as características da rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara no ano de 1953. Nesta é possível identificar o início das atividades de canalização ao longo do setor de várzea por meio da construção de um canal retilíneo. Esta primeira etapa da canalização efetivou a captação do escoamento na junção de dois importantes cursos de água (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 formada por canais de pequeno porte, concentrando o escoamento dos cursos a montante em um único canal artificial.

No cenário de 1965 as atividades de fotointerpretação demonstraram que as obras de engenharia voltadas para a drenagem do setor de várzea atingiam os primeiros objetivos. A análise das aerofotografias possibilitou a constatação da permanência, apenas, dos cursos de maior expressão no setor de várzea, além de colorações diferenciadas na cobertura vegetal, que podem relacionar-se à diminuição no escoamento e concentração de água nas superfícies inconsolidadas.

A figura 3 representa as características da rede de drenagem no ano de 1965 e demonstra que a canalização abrange mais um dos propósitos do poder público no que tange a amenização das enchentes em área urbana: a ligação do curso retilinizado (já estruturado) com o segmento final do Arroio Santa Bárbara (ao sul do setor de várzea), que ocorreu a partir da ampliação do canal artificial – em um ponto distante da estrutura urbana já consolidada – até a foz da bacia, no Canal São Gonçalo.

A seção final do Arroio Santa Bárbara, após interceptada pela canalização, passou a receber apenas o escoamento pluvial urbano, tornando-se um canal abandonado (Figura 3). O antigo leito foi drenado e aterrado para a ampliação do aglomerado urbano pelotense.

**Figura 2 - Rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara – 1953**

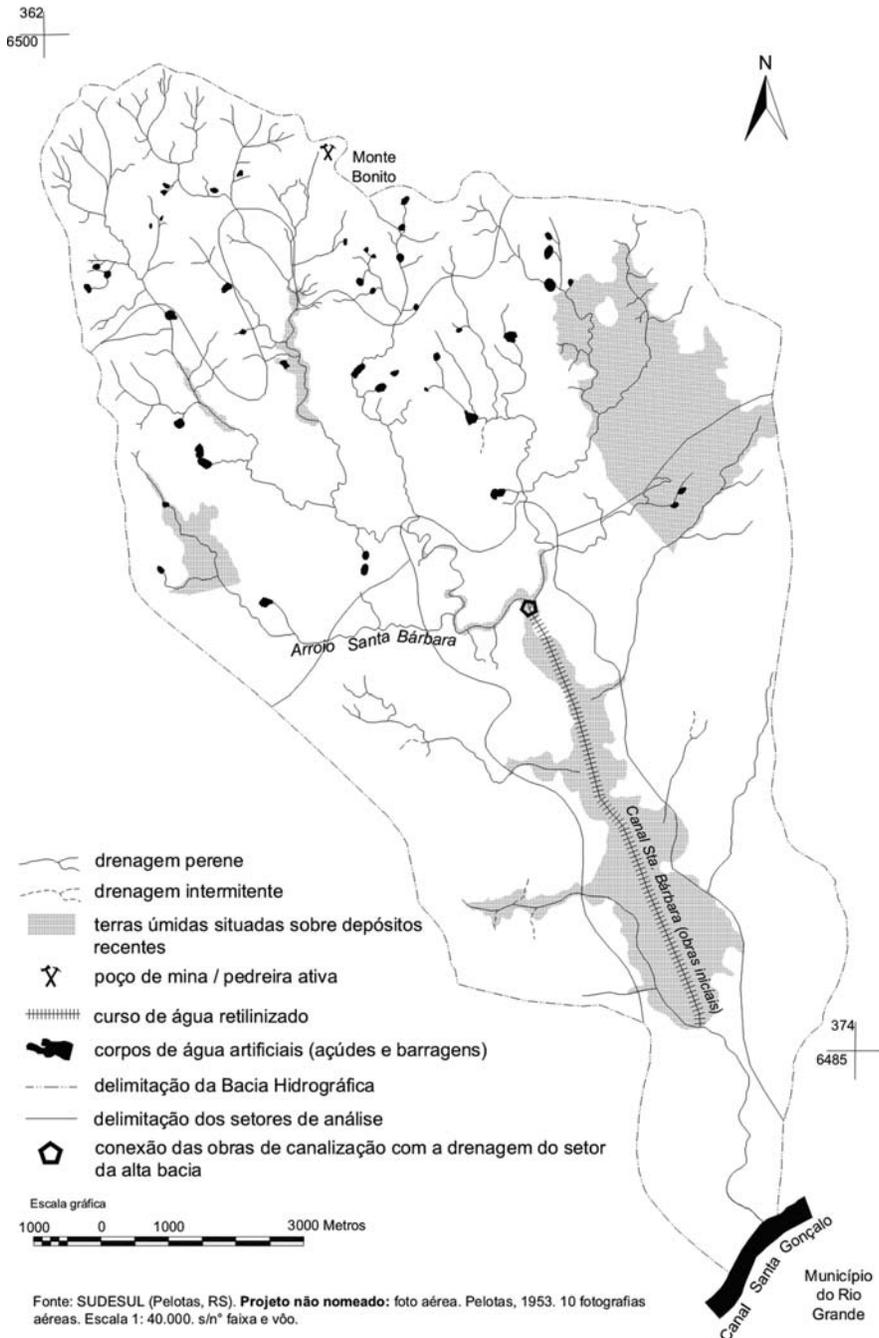
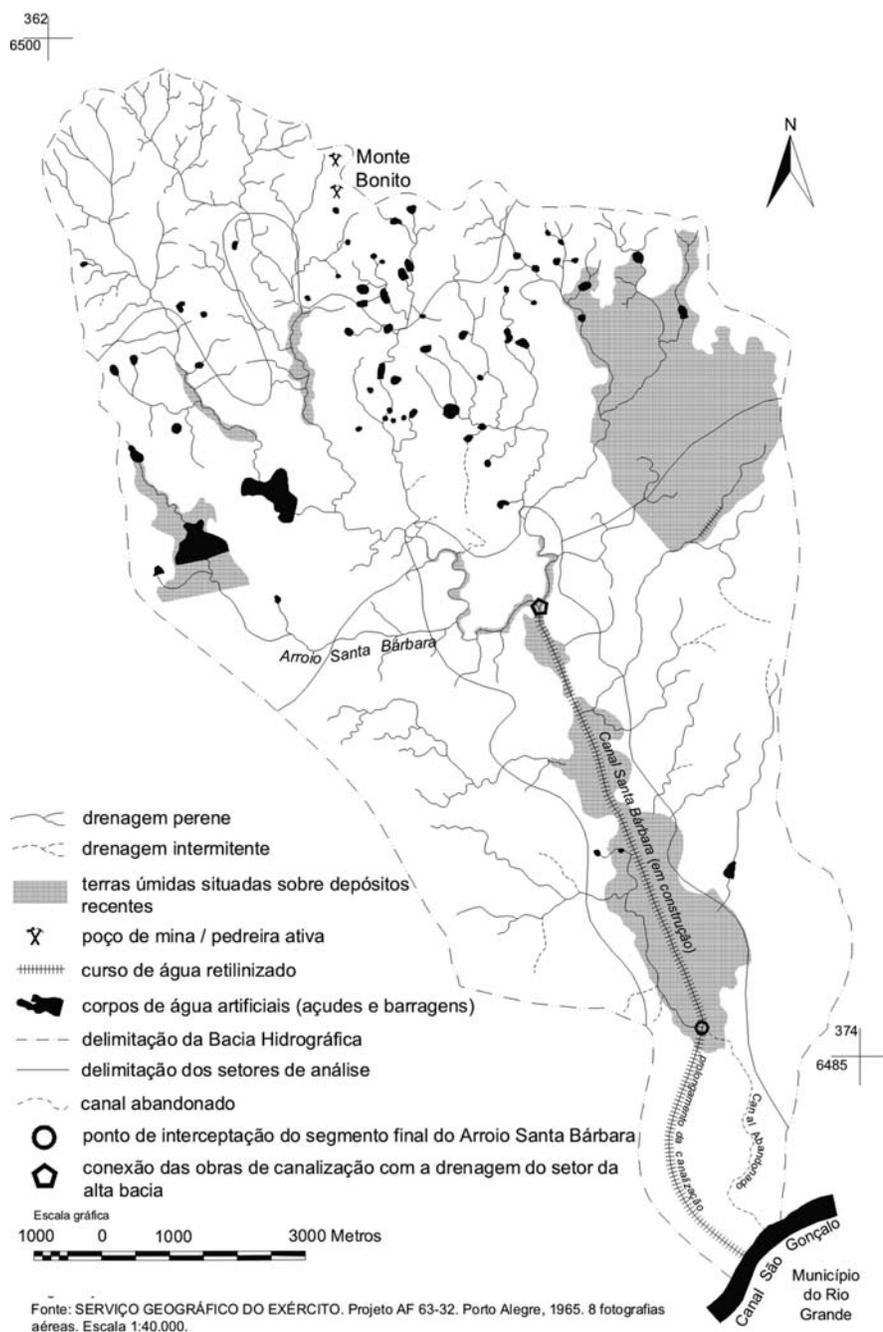


Figura 3 - Rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara – 1965



As obras de canalização são consideradas inadequadas por vários profissionais, pois podem confluir em efeitos prejudiciais ao ambiente, como a degradação estética da paisagem, retomadas erosivas e deposição acelerada, além de impactos em ecossistemas aquáticos e subaquáticos existentes na planície de inundação (Cunha, 2001; Coates, 1976, Christofolletti, 1980). O controle efetivado sobre a dinâmica fluvial por meio destas obras de engenharia desencadeia alterações nos fluxos de matéria e energia pelo sistema, alterando as características dos processos naturais. Essa situação de domínio sobre os elementos ambientais, por sua vez, compromete o equilíbrio do sistema, que procura adaptar-se às novas condições, por meio de mecanismos de retroalimentação.

Simultaneamente à finalização das ações de canalização do setor de várzea (no final da década de 1960) é iniciada a construção do reservatório Santa Bárbara, arquitetado para prover água à crescente população urbana. 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 Monte Bonito – que respondem pelo escoamento proveniente dos setores de transição de litologias e da alta bacia.

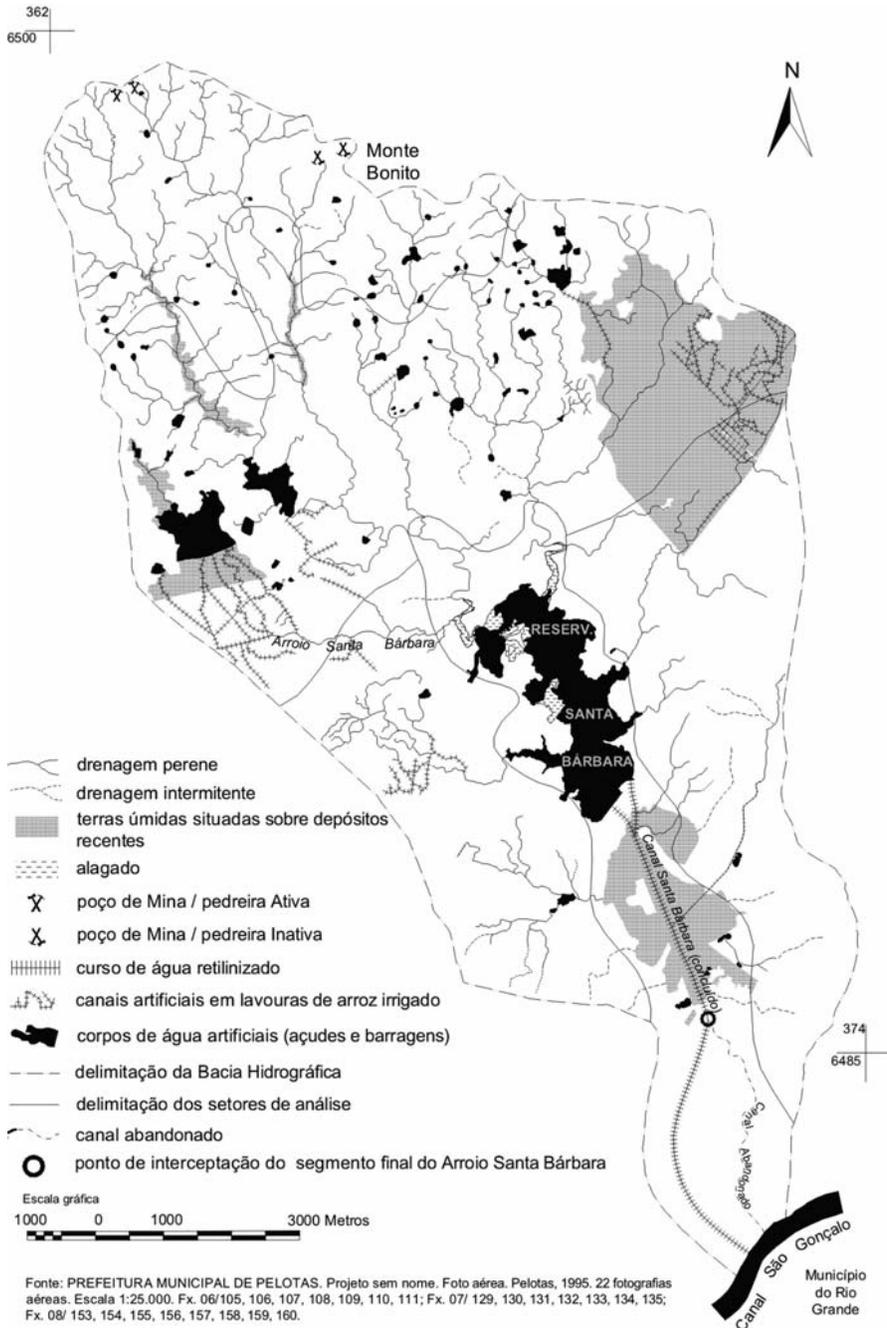
As obras de estruturação do reservatório puderam ser identificadas durante as atividades de fotointerpretação no cenário de 1965, por meio de aterramentos efetivados para a construção de estradas além do aprofundamento do leito do Arroio e construção da barragem. O término das obras de construção do reservatório viria a completar os planos de drenagem das terras úmidas do setor de várzea, pois todo o escoamento superficial a montante deste setor seria captado pelo reservatório e conduzido pelo canal principal até a foz, no Canal São Gonçalo, sem conexões diretas com a área de banhado (Figura 4).

As observações sobre o uso da terra no cenário de 1995, obtidas a partir das atividades de fotointerpretação, demonstraram que a cobertura vegetal nas margens do reservatório é praticamente nula. A ausência de vegetação marginal acelera os processos de desbarrancamento lateral, verificados nos trabalhos de campo, confluindo no solapamento basal das vertentes desencadeado pelas ondas formadas no reservatório, promovendo a queda do material sobrejacente e acentuando o assoreamento do lago.

A interpretação das aerofotografias do ano de 1995 evidenciou também a prevista expansão urbana sobre as terras úmidas do setor de várzea (então drenadas), sobretudo na porção central deste. Durante os trabalhos de campo constatou-se que a evolução do aglomerado urbano ocorreu a partir da consolidação de aterramentos, ao longo de avenidas principais.

Estes aterramentos, em alguns casos, assentam lotes regulares e foram efetivados dentro de parâmetros de engenharia, porém, a maioria dos aterramentos verificados em campo assenta lotes irregulares e foi efetivado sem planejamento prévio. Nos dois casos, estas feições comprometeram a hidrodinâmica do setor, conduzindo a drenagem por sistemas artificiais de escoamento, que controlam a entrada, passagem e saída de água e sedimentos, alterando os processos naturais do setor de várzea.

Figura 4 - Rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara – 1995



Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, Projeto sem nome. Foto aérea. 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.

## ALTERAÇÕES HIDROGRÁFICAS NO SETOR DE TRANSIÇÃO DE LITOLOGIAS

O setor de transição de litologias (Figura 1 D) 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 destas estruturas geológicas é caracterizada por formas menos dissecadas em relação à alta bacia, representadas por vertentes convexas e retilíneas mais alongadas, conectadas a vales com seção transversal plana na maioria dos casos.

As alterações na dinâmica fluvial neste setor ocorrem, principalmente, por meio da interceptação dos cursos de água por barramentos de médio e pequeno porte, construídos em propriedades rurais a fim de garantir suprimentos de água para as atividades agrícolas familiares, além da irrigação das lavouras de arroz. Esta última atividade agrícola, a orizicultura, também provoca alterações intensas na morfo-hidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara, alterando as características do microrelevo e da rede de drenagem, acarretando em transformações na morfodinâmica local.

A construção de reservatórios de menor porte, regionalmente denominados de açudes, utiliza-se das características naturais deste setor, onde ocorrem transições geológicas, geomorfológicas e pedológicas que permitem a formação de olhos de água devido à aproximação do lençol freático à superfície. A intervenção para a construção de açudes também ocorre diretamente nos arroios de pequeno, médio e até grande porte, perenes ou intermitentes.

O aumento destas superfícies de água durante o período analisado pelos mapeamentos é significativo e ocorre com maior intensidade no setor de transição de litologias (Figuras 2, 3 e 4). De acordo com Cunha (2001) e Suguio (2003), a construção de açudes e reservatórios atua diretamente sobre o ambiente fluvial, alterando o nível de base local, acarretando em processos que se desencadeiam tanto na fonte de interceptação, transmitindo-se também a jusante e montante da obra, por meio do reajustamento das atividades fluviais.

Esta característica tende a acentuar-se em litologias menos resistentes onde os processos erosivos agem com maior vigor, sobretudo em períodos de intensa precipitação. Drew (1983) explica que o rio atua, naturalmente, como mecanismo de transferência, apresentando baixa capacidade de armazenagem. Porém, a existência de reservatórios, implicando em pontos de controle da dinâmica fluvial, aumenta o processo de armazenagem de matéria e energia no sistema, causando assoreamento e sedimentação nos corpos de água, e a permanência de maior quantidade de material dentro do sistema a partir da obstrução de seus fluxos.

Outra complicação inerente à quantidade de interceptações de pequeno porte existentes na rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara, sobretudo no setor de transição de litologias, encontra-se ligada à escassez de água nos canais de escoamento durante períodos de menor pluviosidade. Essa situação foi constatada durante a realização dos trabalhos de campo, quando se verificou que muitos dos canais seccionados por barramentos a montante acabavam não contribuindo com o arroio principal, onde desembocam, afetando os fluxos de escoamento da bacia e o nível do reservatório Santa Bárbara.

Em decorrência deste processo, ocorre a diminuição do potencial erosivo dos arroios durante períodos de seca, quando a capacidade de transporte diminui. Não obstante, no reservatório Santa Bárbara, a oscilação do nível da lâmina de água condiciona a continuidade do desbarramentamento das margens, em níveis diferentes, consideradas as variações de nível anuais, acelerando o assoreamento do reservatório.

As porções leste e oeste do setor de transição de litologias estão assentadas sobre áreas de deposição recente, cuja cobertura vegetal original era composta por campos com

pastagens de média e baixa qualidade. A evolução do uso da terra sobre estas superfícies inconsolidadas, verificada nas atividades de fotointerpretação, se deu no sentido de promover a expansão da orizicultura. As lavouras de arroz irrigado são estabelecidas sobre terraços agrícolas situados em cotas altimétricas homogêneas e delimitados pelas marrachas.

As marrachas ou taipas – denominação regional – são elevações construídas com o auxílio de maquinário, geralmente na transição dos terraços agrícolas, a fim de conter a água depositada sobre as cotas homogêneas e proporcionar o desenvolvimento das lavouras de arroz irrigado nas canchas de cultivo. A concentração não equitativa de água sobre estas superfícies acarreta em deficiências na irrigação e perdas na produção do arroz.

Os terraços agrícolas, delimitados pelas marrachas, são criados para que a água proveniente dos arroios, da chuva e principalmente dos lagos artificiais, possa ser distribuída de forma homogênea pelas canchas de cultivo situadas naturalmente, ou niveladas, dentro de uma mesma cota altimétrica. Através da fotointerpretação, foi possível constatar que a prática da atividade orizícola em terraços agrícolas conduz ao parcelamento da superfície em terrenos nivelados que transformam completamente as características da morfologia original, alterando os caimentos topográficos e a direção do escoamento superficial, condicionando modificações na morfo e hidrodinâmica.

A rede de drenagem passa por significativas alterações, sendo conduzida por uma rede de canais retilíneos identificados no setor de transição de litologias no cenário de 1995 (Figura 4). A capacidade erosiva do escoamento ao ser liberado desse sistema de canais artificiais, provoca o aprofundamento do vale nas conexões com a drenagem não modificada, acelerando processos erosivos e escoando quantidades elevadas de sedimentos na direção do reservatório Santa Bárbara.

O escoamento destes canais é determinado pela liberação ou concentração de água nas canchas de cultivo de arroz e nos açudes. Assim, verifica-se que a dinâmica fluvial nestas áreas encontra-se subordinada ao controle de fluxos exercido pelos barramentos e canchas de cultivo, uma vez que estes determinam a quantidade de água e sedimentos que circulam pela rede de canais. As transformações na estrutura das vertentes e nas características do escoamento superficial e em canais, aparecem como consequência do controle exercido sobre as feições do relevo e na dinâmica fluvial, provocando o desequilíbrio dos ciclos naturais e a aceleração dos processos erosivos.

## **INFLUÊNCIAS DA EXPANSÃO URBANA NO SETOR DOS PATAMARES LESTE E OESTE**

As zonas de patamares leste e oeste (Figura 1 D) assentam-se sobre litologias sedimentares pleistocênicas pertencentes a unidade geomorfológica da Planície Aluvio-Coluvionar, inserida, por sua vez, na região geomorfológica da Planície Costeira Interna (RADAMBRASIL, 1986). A morfologia 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. A consolidação do núcleo urbano pelotense e sua expansão ocorreram primeiramente sobre as zonas de patamar, onde a característica plana dos terrenos propiciou a estruturação do arruamento.

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 contri-

buem 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.

Neste sentido, as principais alterações na rede de drenagem e na dinâmica fluvial no setor de patamares de expansão urbana leste e oeste, ocorreram a partir da impermeabilização do solo, alteração dos caimentos topográficos e da drenagem superficial, além da retilinização de cursos de água em alguns pontos ou na sua integralidade. Todas estas alterações estão atreladas à evolução urbana.

Com a impermeabilização da superfície, a água das precipitações percorre 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 é elevada e ao atingir o limiar entre as zonas impermeabilizada e não-impermeabilizada, a energia acumulada por este escoamento torna-se responsável pela aceleração da dinâmica erosiva na segunda superfície, culminando no aumento do número de canais, podendo transformar-se em feições erosivas localizadas como sulcos e ravinamentos.

No patamar de expansão urbana leste, constata-se, por meio da comparação dos três cenários (Figuras 2, 3 e 4), o aumento progressivo de canais de drenagem perenes e intermitentes. Durante os trabalhos de campo, foi verificado que parte destes canais apresentam-se intermitentes dentro da superfície urbana semi-impermeabilizada, passando a perenes a partir dos limites da área artificialmente coberta.

As atividades de fotointerpretação auxiliaram na constatação do progressivo aumento da dissecação nas superfícies não-impermeabilizadas adjacentes à estrutura urbana, demonstrando a ação dos processos erosivos acelerados pela urbanização. Cooke & Doorkamp (1974), explicam que a diminuição na infiltração é a responsável pelo surgimento destas linhas de drenagem artificiais e que sua influência na dinâmica fluvial ocorre por meio de enchentes súbitas e/ou solapamento das margens dos cursos.

No patamar de expansão urbana oeste não foram constatadas obras de engenharia sobre a rede de drenagem, porém a expansão do aglomerado urbano também desencadeou o aumento no número de canais (Figuras 2, 3 e 4). Nesta área, a impermeabilização do segmento inicial dos pequenos cursos fluviais, aliada a quantidade excessiva de água de alguns eventos pluviométricos, também provocou a transferência da energia erosiva para os limites da área impermeabilizada, aumentando a capacidade de entalhe dos arroios, ocasionando o recuo da ruptura de declive que demarca a transição do setor de várzea e de patamares de expansão urbana, como pôde ser constatado durante as atividades de fotointerpretação e trabalhos de campo.

## **SETOR DA ALTA BACIA: INTERVENÇÕES EM MENOR INTENSIDADE**

O setor da alta bacia localiza-se nas porções noroeste e norte da área em estudo (Figura 1 D). Encontra-se assentado sobre litologias cristalinas do Pré-Cambriano, possuindo características geomorfológicas peculiares, com superfícies medianamente dissecadas, típicas da borda oriental do Escudo Sul-riograndense (RADAMBRASIL, 1986). Ocorre ali a predominância de topos aplainados formando patamares e vertentes convexas conectadas a vales com perfil transversal em V, sobretudo nas nascentes dos principais arroios.

Neste setor, as alterações na rede de drenagem possuem menor dimensão se comparadas às outras áreas da bacia e estão ligadas principalmente às atividades de mineração de granito (ativas ou inativas); à expansão das áreas de agricultura sobre a mata de galeria – causando a diminuição da cobertura responsável pela proteção dos cursos de água de primeira ordem e o risco de desaparecimento de alguns deles; além da expansão da estrutu-

ra urbana na vila de Monte Bonito, condicionando a impermeabilização parcial e degradação da área de nascente no extremo leste do setor da alta bacia. As observações de campo no setor da alta bacia revelaram que a expansão da Vila de Monte Bonito 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.

As áreas de mineração de granito (Figuras 2, 3 e 4) existentes 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, por meio de cavas que causam rupturas abruptas no declive, efetivando modificações na drenagem superficial, mas que não afetam de forma crucial a dinâmica fluvial local.

As atividades de fotointerpretação demonstraram, nos três cenários analisados, uma diminuição gradual da cobertura vegetal nas margens dos canais, vertentes e topos, localizados no setor da alta bacia. Em algumas áreas, a cobertura vegetal observada nas fotografias aéreas do ano de 1953 não pode ser constatada no material aerofotográfico de 1965 e 1995, evidenciando a existência de pontos de retirada integral da vegetação, situação que pode comprometer as nascentes da bacia do Arroio Santa Bárbara.

Durante a realização dos trabalhos de campo, verificou-se que a ocupação das extintas áreas de vegetação ocorreu a partir do avanço de áreas agrícolas, principalmente em pequenas propriedades rurais, onde terras para cultivo são preparadas até próximo às margens dos arroios.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações ocorridas na rede de drenagem da bacia do Arroio Santa Bárbara, durante o período de 1953 a 1995, foram significativas. Sua gênese está ligada à dinâmica de uso da terra promovida na área e que envolve principalmente a expansão da área urbana e das atividades agrícolas. Por outro lado, ações pontuais caracterizadas por obras de engenharia, atuaram diretamente no leito dos arroios, desencadeando processos morfológicos e hidrológicos que repercutem em praticamente toda a área em questão.

Mecanismos de controle antrópico exercidos sobre os elementos naturais do sistema foram identificados em todos os setores analisados e a capacidade de intervenção destas válvulas e chaves, principalmente sobre a dinâmica fluvial, mostrou-se mais intensa em cada um dos cenários mapeados.

A regulação dos fluxos de matéria e energia pela bacia do Arroio Santa Bárbara foi condicionada por ações de controle como: a drenagem de terrenos inconsolidados, a construção e retificação de canais, o barramento de cursos de água, a expansão da área urbana e impermeabilização superficial além das atividades de mineração e retirada da cobertura vegetal original. Tais ações obtiveram respostas do sistema diante das novas características incrementadas aos processos naturais.

O assoreamento dos canais e a deposição acelerada de sedimentos nos reservatórios de pequeno a grande porte, as retomadas erosivas oriundas do entalhamento fluvial e da mudança do nível de base local, bem como as alterações da drenagem, influenciadas pela expansão urbana, são decorrentes das transformações na dinâmica fluvial da área em estudo, que se reajustou a fim de atingir o equilíbrio entre os processos que controlam a estabilidade do sistema.

Os mapeamentos evidenciaram as transformações ocorridas na rede de drenagem nos três cenários investigados e deram respaldo para as análises da alteração na dinâmica fluvial a partir das alterações espaciais na configuração da rede de canais. Aliados a estes

mapeamentos, as atividades de fotointerpretação revelaram características importantes dos mecanismos de controle exercidos sobre os elementos naturais da bacia, principalmente sobre o comportamento do uso da terra, das obras de engenharia e sua interferência na rede de drenagem. Os trabalhos de campo, orientados pelas duas atividades supracitadas, possibilitaram a compreensão da situação atual em que se encontra a rede de drenagem sob interferência de chaves e válvulas. Estas atividades auxiliaram também no entendimento dos processos derivados das imposições antrópicas.

A identificação de zonas de maior alteração na dinâmica fluvial e de áreas onde as transformações são menos intensas, presume que a intervenção para a contenção dos processos que geram desequilíbrio sobre os elementos naturais e seus ciclos precisa ocorrer a partir de ações de planejamento no uso da terra. Tal preocupação deve iniciar-se em zonas que ainda apresentam possibilidade de proteção e recuperação, como o setor da alta bacia, irradiando-se para os setores onde foram constatadas as maiores alterações.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, G. E. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320p.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Approach**. Londres: Prentice Hall Inc. Co., 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 149 p.
- \_\_\_\_\_. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 236 p.
- COATES, R. C. Geomorphic engineering. In: COATES, D. R. **Geomorphology and engineering**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. 1976. 7, p. 115-140.
- COOKE, R. U; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management: an introduction**. Oxford: Clarendon Press, 1974. 413 p.
- CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C. **Estudos dos solos do município de Pelotas**. N 12. Pelotas: EMBRAPA/CPACT, EDUFPEL, 1996. 50 p.
- 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.
- DELANEY, P. J. V. **Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio grande do Sul**. Porto Alegre: Escola de Geologia de Porto Alegre. Publicação Especial n. 6. p. 1-105.
- DREW, D. **Processos interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo: DIFEL, 1986. 206 p.
- KELLER, E. A. Channelization: environmental, geomorphic, and engineering aspects. In: COATES, D. R. **Geomorphology and engineering**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. 1976. 7, p. 115-140.
- PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. In: GREGORY, K. J. **River channel changes**. Chichester: Wiley, 1977. 8, p. 121-144.
- PHILIPP, R. P. Geologia dos Granitóides de Região de Monte Bonito, Pelotas – RS. Uma contribuição ao reconhecimento estratigráfico do setor oriental do Escudo Cristalino Sul-riograndense. **Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia**. São Leopoldo: EDUNISUL/Unisinos, n. 33, v. XIV, p. 71-127. 1991.

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

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, Pelotas, jan. 2005.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 400 p.

Recebido em novembro de 2006

Revisado em janeiro de 2007

Aceito em março de 2007