



## Transformações Geomorfológicas e Fluviais Decorrentes da Canalização do Rio Itajaí-Açu na Divisa dos Municípios de Blumenau e Gaspar (SC)

Gilberto Friedenreich dos Santos<sup>1</sup> e Adilson Pinheiro<sup>2</sup>

1Departamento de História e Geografia, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau-S.C. [frieden@furb.br](mailto:frieden@furb.br)

2Departamento de Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau-S.C. [pinheiro@furb.br](mailto:pinheiro@furb.br)

Recebido 21 de novembro 2000; revisado 19 de fevereiro 2001; aceito 5 de julho 2002

### RESUMO

Nos anos de 1983 e 1984, o vale do rio Itajaí foi atingido por períodos de grandes enchentes devido à intensa pluviosidade. Visando amenizar os efeitos das águas do rio Itajaí-Açu em Blumenau, realizou-se em 1986 a retificação e alargamento do canal do rio, na divisa dos municípios de Blumenau/Gaspar. Essas intervenções provocaram alterações na dinâmica geomorfológica, principalmente na morfologia da várzea e na hidrodinâmica. A análise das transformações geomorfológicas baseou-se na interpretação de fotografias aéreas de 1981 e 1993 (escala 1/8.000) e em observações e levantamentos realizados no campo. A avaliação da hidrodinâmica fluvial foi realizada pela correlação dos níveis máximos mensais das estações fluviométricas de Blumenau e Indaial, considerando os níveis registrados antes e após o alargamento do rio Itajaí-Açu. Outro processo de avaliação baseou-se no cálculo da linha de água gerada pelo alargamento da seção fluvial, obtida pela expressão de remanso. As transformações geomorfológicas geradas no canal fluvial após a dragagem são as seguintes: formação de bancos arenosos (banco lateral, cordão marginal convexo e banco de confluência), e desencadeamento dos processos de escorregamento na margem esquerda. Em relação à dinâmica fluvial, o alargamento do canal é responsável pelas seguintes transformações: aumento da velocidade de escoamento a montante da obra, que reduziu os níveis máximos mas aumentou a ação erosiva nas margens; a jusante, por sua vez, aumento dos níveis máximos assim como aumento da capacidade erosiva pelo escorregamento das margens devido às acentuadas variações do nível de água.

Palavras chave: canalização, rio Itajaí-Açu, geomorfologia fluvial

### ABSTRACT

In 1983 and 1984, the Itajaí valley was reached by inundations due the intensive rains. To minimize the effects of the waters from the Itajaí-Açu river in Blumenau, the rectification and enlargement of the channel in the limit of Blumenau/Gaspar were made in 1986. This interventions caused alterations in the geomorphological and fluvial dynamics and in the flat valley morphology. The analysis of the geomorphological transformations in the fluvial environment was based in the interpretation of aerial photographs (scale 1/8.000) and in the observation and field surveys. The hydrodynamic fluvial evaluation consisted in the correlation of the monthly maximum levels of the Blumenau and Indaial fluviometrics stations, considering the levels registered before and after the enlargement of the Itajaí-Açu river. Other process of evaluation is based in the calculation of the water line generated by the enlarged fluvial section, opted by the backwater expression. The geomorphological transformations observed in the fluvial environment after the dragging were: formation of sandy banks (lateral bank, convex marginal string; and confluence bank); and the origin of sliding processes in the left margin. As transformations of the fluvial dynamics, the channel enlargement resulted in the increase of the drainage velocity in the upper part, which reduced the maximums levels but increased the margin erosive action; downstream, occur the increase of the maximums levels and also of the possibilities of erosion by sliding of the fluvial margin in function of the more frequent variation of the water level.

Keywords: canalization, Itajaí-Açu river, fluvial geomorphology.

### 1. Introdução e revisão bibliográfica

O presente estudo refere-se aos impactos dos processos de canalização do rio Itajaí-Açu, na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar (Figura 1). Após as grandes enchentes na primeira metade da década de 80, medidas de prevenção contra inun-

dação, constaram de dragagem do canal fluvial, em 1986, que provocaram profundas transformações na dinâmica geomorfológica.

No período de 1850 (fundação da colônia Blumenau) a 1999 registraram-se 67 enchentes na cidade de Blumenau, a primeira ocorrendo no ano de 1852.

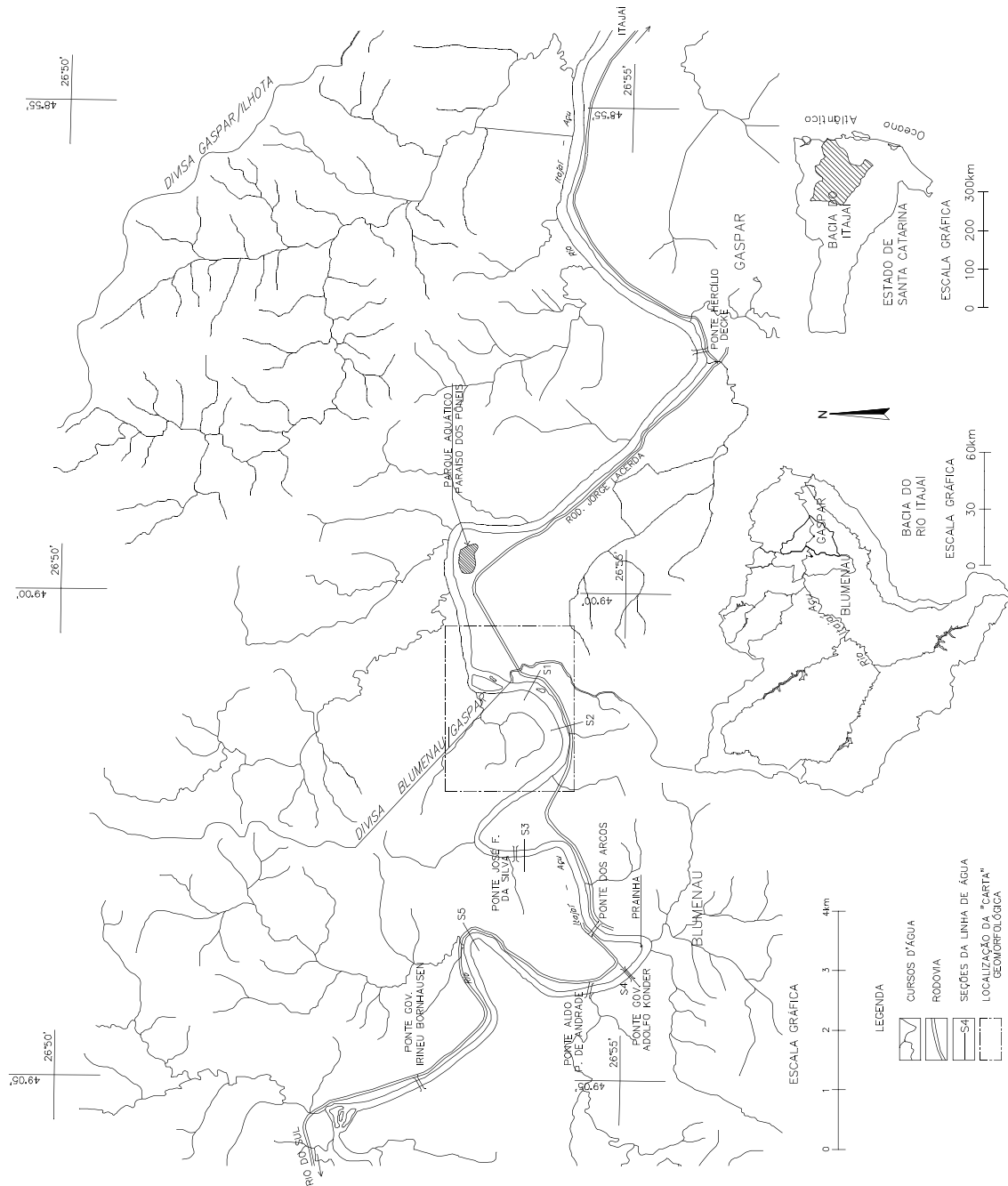


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu entre as cidades de Blumenau e Gaspar. Baseado nas folhas topográficas de Blumenau e Gaspar (IBGE, 1974).

Conforme Brookes (1988), os processos de canalização envolvem o alargamento e aprofundamento da calha fluvial, retificação do canal, construção de canais artificiais e de diques, proteção de margens e remoção de obstáculos de canal. As referidas obras de engenharia modificam a calha do rio, causando impactos no canal e na planície de inundação.

A retificação dos canais fluviais é considerada obra de engenharia imprópria e com efeitos prejudiciais ao ambiente (Keller, 1981). O canal

retificado gera inúmeros impactos geomorfológicos: a redução do comprimento do canal muda o padrão de drenagem com a perda dos meandros; altera a forma do canal com o aprofundamento e alargamento do rio; diminui a rugosidade do leito e aumenta seu gradiente. O aprofundamento do canal pela dragagem abaixa o nível de base local, desencadeando a retomada erosiva nos afluentes (Cunha, 1994). Na escavação da calha fluvial é alterada a seqüência natural de depressões (pools) e soleiras (riffles) do fundo do canal (Cunha, 1995).

A intensidade da erosão nas margens de canais fluviais é dinamizada por processos antrópicos, que se constituem em importantes agentes modeladores da paisagem. Estas ações podem ser enfocadas em dois níveis básicos (Park, 1977): a) em locais específicos, ou seja, interferindo diretamente no canal de drenagem; b) em ações numa escala espaço-territorial maior que abrange toda a área de extensão do curso principal e seus tributários no contexto de bacia hidrográfica.

O entendimento da erosão lateral atual das margens de rios requer, em primeiro nível, a análise das obras de engenharia executadas no canal de drenagem e as conseqüentes condições de fluxo aumentadas -, com a finalidade de amenizar os efeitos das enchentes, e pela construção de barragens para controle das vazões; e da exploração econômica da areia no leito dos rios. Na extração de areia, deve-se considerar a intensidade e o volume de sedimentos retirados, e a distância do ponto de retirada da areia em relação à margem do canal fluvial que pode comprometer a sua estabilidade. Em segundo nível, a análise das transformações ambientais na bacia hidrográfica que perturbam o equilíbrio hidrodinâmico das encostas, alterando o comportamento sazonal do escoamento fluvial e do volume da carga detrítica no rio comprometendo, por sua vez, a estabilidade das margens. Os processos de derivação antropogênica como o desmatamento, a agricultura, pastagem e urbanização iniciam estas mudanças com a redução da cobertura vegetal, que, não raramente, atinge todos os compartimentos do relevo. Em condições pluviométricas adversas a erosão lateral das margens de rios é mais intensa, quando há variações acentuadas na altura do nível das águas fluviais. O enfoque espaço-temporal dos processos geomorfológicos permite compreender a evolução do fenômeno erosivo e suas repercussões na paisagem.

As transformações ambientais nas encostas das elevações que ocorrem na bacia hidrográfica geram impactos no canal fluvial com o aumento dos picos de vazão e na produção e transporte de sedimentos. As alterações no canal manifestam-se pela erosão das margens do canal fluvial, aumentando a largura do mesmo em razão da diminuição da profundidade pela agradação fluvial e, possivelmente, mudanças na sinuosidade do canal que correspondem a ajustes às novas condições de escoamento e dos regimes sedimentares (Patrick, Smith, & Whitten, 1982).

As obras de retificação causam impactos hidrológicos potenciais, tanto nas águas superficiais como nas águas subterrâneas, ocorrendo ao longo do trecho do canal modificado, no setor a jusante do mesmo e na planície de inundação. No canal modificado, há elevação da capacidade de escoamento das águas superficiais devido ao aprofundamento e alargamento do canal, à redução da sua extensão e ao aumento do declive. No setor a jusante da retificação, existe a tendência de um aumento na frequência de ocorrência de cheias esporádicas (Cunha, 1995). O aumento do volume de água abaixo dos setores retificados é associado com o aumento

da capacidade de escoamento no trecho do canal retificado.

Antes da canalização, a largura e a profundidade do leito do rio estão ajustadas ao regime de descarga e aos seus intervalos de recorrência (Wolman & Miller, 1960). O desequilíbrio pode conduzir à erosão do material de fundo e da margem (Cunha, 1995).

No baixo vale do rio Itajaí-Açu, consideran-do as interferências diretas na calha fluvial, são de grande relevância os impactos causados pelos processos de canalização e as atividades extrativas de areia.

No rio Itajaí-Açu, o processo de canalização envolveu inúmeras modificações, entre as quais destacamos o seu alargamento e aprofundamento, retificação do canal e remoção de obstáculos de canal.

Na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar, o alargamento não foi executado em toda a extensão do canal, ocorrendo à retirada de sedimentos somente a montante e a jusante da margem convexa (margem esquerda), com valores compreendidos entre 28 m e 132 m (Figura 2). Conseqüentemente, a parte intermediária da margem tornou-se saliente para o canal devido à resistência do leito rochoso, permanecendo estável até as enchentes de 1992.

As mudanças na fisionomia fluvial compreenderam a remoção de obstáculos no leito do canal para diminuir a resistência hidráulica e acelerar o escoamento da água, em que se destacavam duas ilhas. A menor delas foi parcialmente removida mantendo-se graças à resistência dos afloramentos rochosos. A jusante desta, a ação da draga descaracterizou completamente a ilha maior, pois, ao alargar o canal do rio, removeu parte dos seus sedimentos depositando-os na margem esquerda e no leito do rio que antes separava a ilha da margem esquerda do canal.

Modificações também foram introduzidas na morfologia da várzea, a saber: a) remoção de material do dique marginal a montante e a jusante da margem convexa provocando o seu rebaixamento. A superfície rebaixada inclina agora para o rio Itajaí-Açu, o que acelera o escoamento das águas em períodos pluviosos. A instalação de drenagem nas estradas, direcionando o escoamento das águas pluviais para estas superfícies, tem favorecido o surgimento de voçorocas, como ocorre a montante da margem, propiciadas pela ausência da cobertura vegetal e a composição arenosa do solo; b) deposição de sedimentos de forma irregular no interior da várzea elevou a sua superfície, permitindo a formação de áreas alagadas entre as elevações; c) retificação dos afluentes e abertura de valas.

O dique marginal determinava originalmente uma suave inclinação da superfície aluvial para o interior da várzea, marcando uma diferença de altura para o seu topo de até 7,60 m. A dragagem, porém, destruiu grande parte do dique com a canalização do rio e do rebaixamento da superfície aluvial.

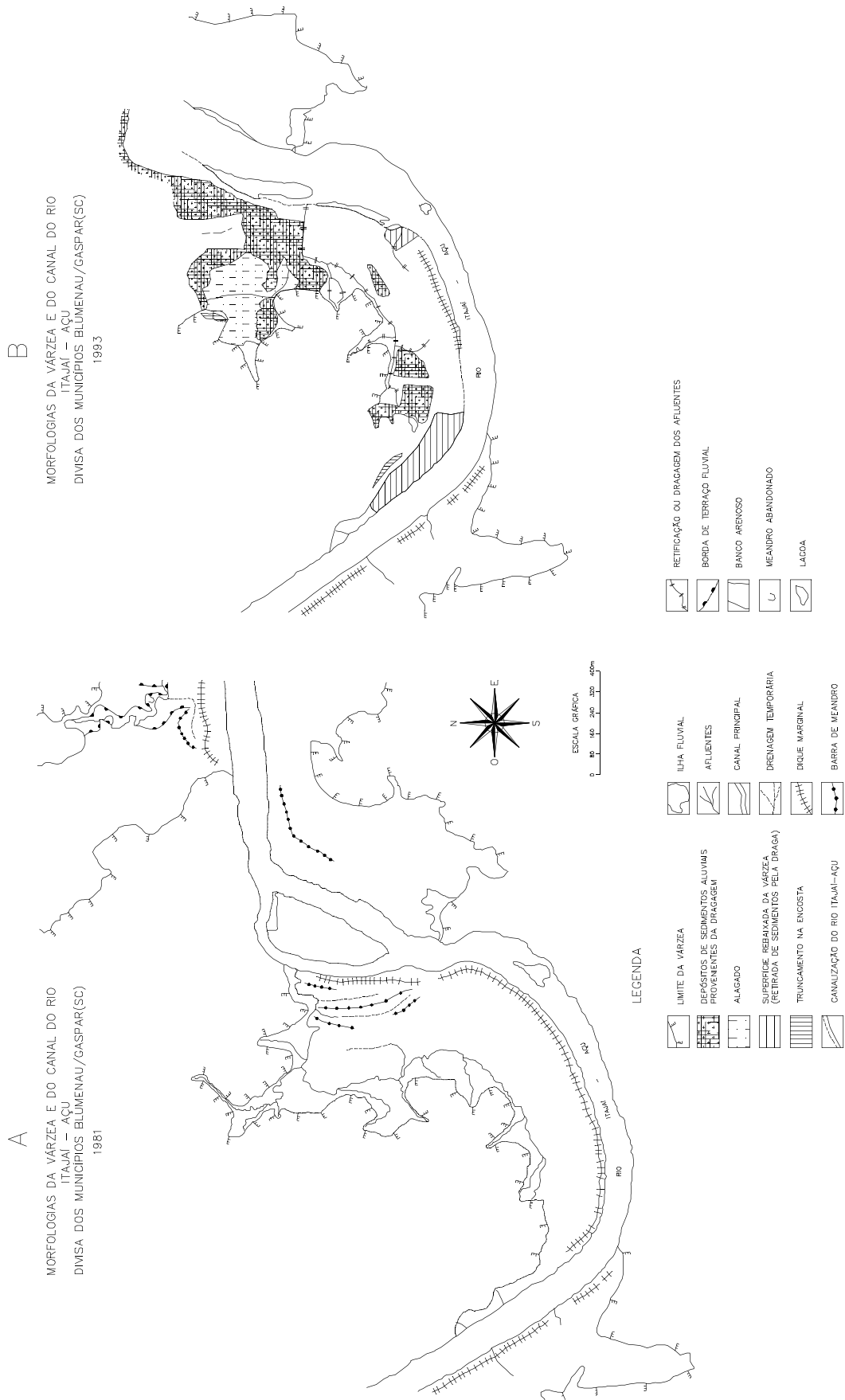


Figura 2. Morfologias da várzea e do canal do rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar (1981/1993).

## 2. Materiais e técnicas

A análise das transformações geomorfológicas no ambiente fluvial da área baseia-se na interpretação de fotografias aéreas de 1981 e 1993, escala 1/8.000, e em observações e levantamentos realizados em campo. A partir das fotografias aéreas, foram elaboradas as “cartas” geomorfológicas para os dois períodos considerados antes e após dragagem -, caracterizando a morfologia da várzea do rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar. Não foi realizada a fotointerpretação em toda a extensão do rio Itajaí-Açu afetada pela canalização, em função dos referidos documentos abrangearem somente o município de Blumenau.

Observações constantes começaram a ser realizadas desde 1998, através de acompanhamento no campo das transformações geomorfológicas no canal e na margem do rio.

Os levantamentos consistiram em medições da margem escorregada próxima à seção S2 (margem esquerda) durante o ano de 1998, por ser o ponto mais crítico no baixo vale do Itajaí-Açu (Figura 1). Nestas medições foi determinada a extensão de material escorregado da margem, associada com o nível das águas em Blumenau nos períodos pluviais críticos; e a extensão atual de uma das propriedades (comprimento) situada na margem comparando com a extensão original, a fim de avaliar a intensidade da erosão lateral.

A avaliação da hidrodinâmica fluvial foi realizada de duas maneiras. Primeiramente na correlação dos níveis máximos mensais registrados nas estações fluviométricas de Blumenau (código ANEEL 83800002, 26°55'05"S, 49°03'03" W), igual ou superior a 4,00 m, e de Indaial (código ANEEL 83690000, 26°53'28" S, 49°14'14" W). Para as correlações foram considerados dois períodos: a) os níveis máximos mensais registrados antes do alargamento do rio Itajaí-Açu (1974-1986), e b) após o alargamento (1987-1998). As referidas estações estão situadas respectivamente no baixo e médio vale do Itajaí, sendo que as obras de engenharia foram executadas a jusante das estações fluviométricas.

O segundo processo de avaliação baseou-se no cálculo da linha de água gerada pelo alargamento da seção fluvial. Neste cálculo, a linha de água é obtida pela expressão de remanso, dada por:

$$\left(\frac{V_1^2}{2g} + h_1\right) - \left(\frac{V_2^2}{2g} + h_2\right) = (i - I) \Delta s \quad (1)$$

onde V é a velocidade média do escoamento na seção do trecho considerado (denomina-se 1 a seção de jusante e 2 a seção de montante), h é altura da lâmina de água na seção 1 e 2, i é a declividade da linha de água entre as seções 1 e 2, I é a declividade média do leito entre as seções 1 e 2, e Δs é a distância

entre as duas seções.

A declividade da linha de água foi obtida pela equação de Manning, expressa por:

$$i = \left( \frac{Q \cdot n}{A \cdot R^{2/3}} \right)^2 \quad (2)$$

onde Q é a vazão, n é o coeficiente de Manning, A é a área da seção transversal e R é o raio hidráulico, expresso pela relação entre a área e o perímetro molhado da seção transversal.

Para o trecho entre a seção alargada (S1) e a Boa Vista (S5) (Figura 1), foram considerados os seguintes valores:

- declividade média do leito, I = 0,000124 m/m.
- coeficiente de Manning, n = 0,050 (Fendrich, 1988).
- vazão Q de 3500 m³/s, correspondente ao nível de 11,20 m na estação fluviométrica de Blumenau, instalada na Ponte Adolfo Konder. Nas enchentes de 1992, os níveis máximos registrados foram 12,80 m (29/05) e 10,62 m (01/07) na mesma estação fluviométrica.
- As alturas das lâminas de água da seção foram consideradas iguais ao raio hidráulico.
- A área e o perímetro molhado das seções transversais foram determinadas através do levantamento topohidrográfico.

## 3. Resultados e discussões

O processo de escorregamento das margens fluviais tem sido mais acentuado no baixo curso do rio, principalmente no trecho entre Blumenau e Ilhota, onde a sinuosidade do canal (igual a 1,7) é definida por margens de erosão (côncavas) e de deposição (convexas). Entretanto, devido às transformações ambientais na bacia hidrográfica e as intervenções diretas na calha fluvial, as margens convexas constituem, atualmente, os setores mais críticos à erosão lateral. As margens são compostas por sedimentos aluviais holocênicos inconsolidados, podendo atingir a altura de até 12 m devido à proeminência de diques marginais.

A alternância de camadas sedimentares aluviais, de silto-argilosas a arenosas as camadas de seixos são incomuns e de pequena espessura -, certamente determina uma variabilidade na resistência à erosão lateral que, de forma geral, apresenta-se baixa. As mudanças na morfologia das margens fluviais, mais acentuadas notadamente naquelas mais altas, estão associadas a esta heterogeneidade da composição granulométrica das seqüências de depósitos aluviais que, por sua vez, depende do comportamento do nível do rio.

A presença de espessas camadas arenosas a silto-arenosas nos sedimentos da várzea os torna altamente porosos e friáveis. Na elevação das cotas do nível do rio há uma fácil penetração das águas que provocam uma rápida saturação dos solos, au-

mentando o peso do material arenoso. Os escorregamentos, que se sucedem à queda do nível das águas, são causados pela diminuição da resistência à fricção da massa arenosa. Iniciado o processo de escorregamentos, as margens tendem a aumentar a inclinação devido à queda em bloco do material escorregado, o que aumenta a fragilidade das mesmas à erosão lateral.

A erosão contínua das margens do rio resulta no aumento da largura do canal fluvial, e a maior efetividade do processo na margem convexa tem conduzido a um alargamento mais rápido na curvatura do rio. A intensidade da erosão na margem convexa possui uma relação com a espessura dos sedimentos fluviais, pois quanto maior a espessura dos mesmos, maior é o grau de instabilidade das margens, que adquirem uma face escarpada uma vez iniciado o processo de escorregamento.

A atividade extrativa de areia constitui outro processo de derivação antropogênica que pode contribuir no aumento da largura do canal, equilíbrio interrompido pela ação das dragas a partir da re-tirada de sedimentos na base das margens do rio, podendo desencadear o escorregamento dos sedimentos aluviais em intervalos de tempos curtos (em uma semana, por exemplo), e pela extração concentrada com a formação de depressões profundas, comprovadas pelos levantamentos topobatimétricos realizados no baixo vale (Universidade Regional de Blumenau & Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas, 2000).

Acrescenta-se o fato de que os escorregamentos das margens fluviais não ocorrem apenas ao longo do canal fluvial do rio Itajaí-Açu que são ou foram submetidos à extração de areia e aos processos de canalização. O fenômeno erosivo constitui um processo-resposta do rio para atingir o novo estado de equilíbrio, decorrente das intensas transformações ambientais da bacia.

O escorregamento das margens do rio Itajaí-Açu passa a constituir um sério problema sócio-ambiental a partir das enchentes de 1983, ou seja, antes mesmo da canalização do rio Itajaí-Açu. Esta forma de intervenção direta na calha fluvial do rio Itajaí-Açu agrava o processo de erosão das margens.

O plano aluvial do rio Itajaí-Açu, em Blumenau, é dominado pelo processo de urbanização. O sítio urbano limita a distribuição espacial da cobertura vegetal arbórea, geralmente, a uma estreita faixa disposta nas margens do canal, morfologicamente caracterizado pela forte inclinação da superfície aluvial em direção ao rio.

A análise das transformações ambientais e a evolução da erosão lateral destacam, a seguir, o processo de escorregamento da margem convexa (margem esquerda) em Blumenau, próximo à divisa com Gaspar, pois o fenômeno erosivo tem sido excepcionalmente dinâmico com proporções superiores em relação a outros pontos críticos no baixo vale do Itajaí-Açu. Conforme informações levantadas com os proprietários afetados pela

redução na área dos seus imóveis, a erosão da margem teria iniciado no ano de 1992.

As feições morfológicas originalmente desenvolvidas na várzea do rio Itajaí-Açu mostram o caráter dinâmico espaço-temporal do canal fluvial, documentados pela presença de barras e diques marginais que se formaram durante o Holoceno (Figura 2A). O escoamento das águas dos afluentes, provenientes das baixas elevações, não ocorria diretamente para o canal principal, produzindo o entalhamento dos canais no interior da várzea próximos as encostas até encontrarem obstáculos mais rígidos formações rochosas. As seqüências deposicionais na várzea indicam mudanças das condições ambientais no processo de sedimentação durante a referida época geológica. Atualmente, as feições morfológicas mais antigas apresentam-se descaracterizadas devido à deposição de sedimentos pela draga que retirou o material do leito e da margem do rio Itajaí-Açu, e da abertura de valas e retificação dos canais na margem convexa (Figura 2B).

Após o alargamento da seção transversal do rio em 1986, a enchente mais agressiva aconteceu em 1992, desencadeando a partir de então o processo de escorregamento das margens. A erosão lateral dos sedimentos holocênicos causou um recuo da margem em até 58 m no período de 1992-1998 baseada na medição do comprimento de uma das propriedades, ou seja, numa média de quase 10 m/ano, atingindo mais intensamente as partes mais protuberantes da margem. A evolução do escorregamento sucedeu-se com níveis da água bem inferiores daquele registrado em 1992, pois outra enchente registrou-se somente no ano de 1997 (9,44 m na estação fluviométrica de Blumenau). No ano de 1999, a extensão da margem afetada era em torno de 800 m.

A continuidade de intensa ação erosiva na margem convexa está conduzindo a um processo de retificação natural que se manifesta pelo alargamento do canal de drenagem.

Medições "*in situ*" dos remanescentes de material escorregado em períodos de pluviosidade intensa permitiram relacionar a intensidade erosiva na margem e a variação do nível das águas do rio Itajaí-Açu em Blumenau. No decorrer do ano de 1998 (Figura 3), em uma medida obteve-se um recuo da margem de pelo menos 1,10 m (nível do rio 8,24 m em 28 de abril), e em outra 3,50 m (níveis de 7,20 m e 6,36 m respectivamente em 14 de agosto e 22 de agosto), considerando que a erosão lateral da margem não é espacialmente uniforme, variando ao longo da extensão da mesma.

A evolução do processo de escorregamento dos depósitos aluviais holocênicos é acompanhada de mudança na morfologia das margens e está associada às variações do nível do rio. O alargamento do canal do rio toma um ritmo mais acelerado quando a

elevação do nível das águas alcança o espesso pacote superior de sedimentos arenosos a silto-arenosos, sem necessariamente inundar a várzea. Neste caso, a presença de uma espessa camada de característica textural silto-argilosa na base da margem, a princípio ofereceria maior resistência à erosão fluvial, tornando a forma da margem mais suave. A erosão desta camada é compensada ao ser atingida mais frequentemente por elevações menores do nível das águas, reafeiçoando a inclinação das margens mais íngremes. No período de vazante do rio Itajaí-Açu a exposição da laje de rocha provoca um aumento no escoamento da água junto à margem convexa, o que colabora para uma ação erosiva mais intensa da camada silto-argilosa. Conseqüentemente, há um aumento gradativo da declividade que cria uma instabilização das camadas superiores, podendo gerar escorregamentos em proporções menores.



**Figura 3.** Escorregamento da margem convexa causado pelas sucessivas elevações dos níveis da água (agosto de 1998).

Em períodos excepcionalmente chuvosos, o escorregamento das margens é mais significativo com a remoção de um maior volume de sedimentos numa escala de tempo menor.

O alargamento do rio Itajaí-Açu, em alguns trechos, contribuiu para o aumento da capacidade de escoamento, que condicionou o rompimento do equilíbrio hidrodinâmico, implicando no desencadeamento da erosão da margem fluvial. As modificações introduzidas no canal (retificação, alargamento, aprofundamento) e na drenagem acentuaram, sensivelmente, o mecanismo de instabilidade das margens.

Formas de acumulação fluvial também surgiram em alguns trechos do canal do rio Itajaí-Açu, após a remoção dos sedimentos holocênicos das margens, em função da retificação e alargamento do canal, que alteraram a hidrodinâmica fluvial com a formação, em poucos anos, de bancos arenosos late-

rais (Figura 2B), cordões marginais convexos (Figura 4) e bancos de confluência.

No município de Gaspar (fundos do Parque Aquático Paraíso dos Pôneis, Figura 1), o alargamento do canal do rio Itajaí-Açu na confluência de cursos de água (margem esquerda), favoreceu a deposição de sedimentos com a formação de pequenas ilhas que, gradativamente, ampliaram-se originando os bancos de confluência. A formação do cordão marginal convexo ocorreu em margem convexa (margem direita), onde o rio Itajaí-Açu muda sua direção em quase 90°. Esta brusca mudança é responsável pela diminuição da velocidade de escoamento permitindo a redeposição de sedimentos.



**Figura 4.** Visão parcial da formação do banco (cordão marginal convexo) posteriormente aos processos de canalização no rio Itajaí-Açu. (Fundos do Parque Aquático Paraíso dos Pôneis, Gaspar, setembro de 2001).

Na correlação entre os níveis máximos registrados nas estações de Indaial e Blumenau em dois períodos (Figura 5), observa-se que para o período anterior ao alargamento do canal, a curva é mais baixa, indicando que para uma determinada vazão, o nível medido, na estação de Blumenau, será menor após o alargamento do que antes da canalização. O alargamento é responsável pela redução do nível da água no centro da cidade. A alteração na linha da água é provocada pelo remanso de abaixamento gerado pela seção alargada.

Deste modo, o cálculo do remanso, entre a seção alargada (S1) e a seção localizada no Boa Vista (S5, a montante do centro da cidade de Blumenau), resultaram nas velocidades apresentadas na tabela 1. A velocidade "normal" representa a velocidade média do escoamento sem a influência do alargamento, e a velocidade atual é a velocidade média do fluxo produzido pelo remanso de abaixamento, gerado pelo alargamento do canal fluvial. O cálculo do remanso (equação 1) foi realizado para a vazão na estação fluviométrica de Blumenau, de 3.500 m<sup>3</sup>/s.

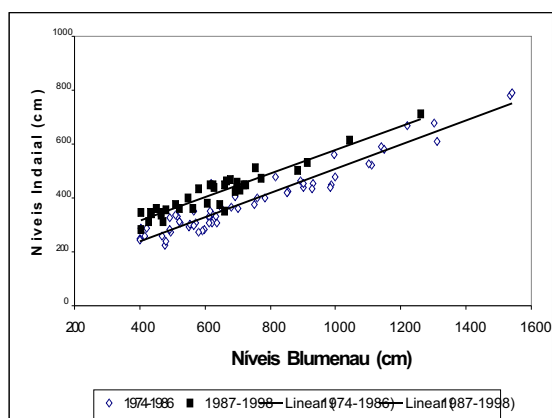


Figura 5. Correlação entre os níveis máximos mensais do rio Itajaí-Açu em Blumenau (4m) e Indaial no período de 1974 a 1998.

Observa-se que a velocidade média do escoamento foi significativamente aumentada com o alargamento do canal fluvial. Para o trecho a montante da obra, até no centro de Blumenau, o aumento da velocidade é da ordem de 40%. Na seção do Boa Vista (S5) ainda se observa aumento de 18,32% da velocidade média devido ao alargamento. Esse aumento da velocidade de escoamento fluvial implica numa redução na intensidade da ocorrência de cheias a montante da obra.

Tabela 1. Velocidades de escoamento do rio Itajaí em Blumenau para a vazão de  $3.500 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Seção	$L^*$ (m)	Velocidade Normal (m/s)	Velocidade atual (m/s)	Aumento da Velocidade (%)
S1 Seção Alargada	0		1,104	
S2 Seção	1330	1,291	1,779	37,80
S3 Rua Seção Bento	4086	1,331	1,896	42,45
S4 Ponte Adolfo Konder	8132	1,338	1,878	40,36
S5 Boa Vista	10996	1,315	1,556	18,32

$L^*$  é a distância das seções S2 a S5 a partir da S1.

Ressalta-se que a velocidade média no Boa Vista (S5) foi calculada considerando a seção atual, ampliada pela atividade de extração de areia. Isto implica que a velocidade média poderia ter sido maior, caso a seção não tivesse sido aumentada.

O aumento da velocidade favorece a capacidade erosiva do escoamento, cuja força trativa é expressa por Lencastre (1996)

$$F_a = C.K.d^2.r.V_f^2 \quad (3)$$

onde C é um coeficiente de tração, resultante do campo de velocidade, K é o coeficiente de forma da partícula, d é o diâmetro da partícula, r é o peso específico da partícula e  $V_f$  é a velocidade do escoamento junto ao fundo.

Verifica-se que a força trativa aumenta com o quadrado da velocidade, isto é, a erosão do canal e da margem fluvial é significativamente aumentada com o aumento da velocidade. Isto pode ser observado no trecho entre as seções alargadas (S2), cujo talude escorregou em uma extensão de 800 metros. O leito rochoso neste trecho está influenciando na erosão da margem. Como a margem direita é de material resistente, a erosão se processa na margem esquerda, que apresenta material aluvial não coesivo e de baixa resistência essencialmente arenoso.

Para estes materiais, a velocidade máxima indicada para não gerar erosão é da ordem de 0,76 m/s para canais não revestidos e da ordem de 1,22 m/s para taludes cobertos com grama missioneira (Fendrich, 1988).

Efeito semelhante é observado em outros locais, onde não é realizada a extração de areia, como por exemplo, a “prainha”, (centro de Blumenau, margem esquerda, Figura 1). A margem da “prainha” deveria ser de deposição e não de erosão, como está acontecendo, visto que o perfil de velocidade apresenta vetores de velocidades menores junto a esta margem e maiores na margem oposta. Por outro lado, o afloramento rochoso no leito do rio influencia no processo erosivo deste ponto, ao desviar o escoamento mais intensamente para a margem esquerda, nos períodos de passagem de uma onda de cheia (elevação do nível do rio).

#### 4. Considerações Finais

A canalização do rio Itajaí-Açu provocou impactos geomorfológicos como o alargamento da calha, aprofundamento do leito, diminuição da rugosidade do leito, erosão da margem, e redução da área das ilhas fluviais. Na várzea, associada à deposição dos sedimentos pela draga, as alterações mais evidentes são: elevação do nível de base local, formação de áreas alagadas, abertura de valas e retificação de canais.

No ponto mais crítico de escorregamento da margem, situado imediatamente a montante do trecho alargado, está comprovado que o desencadeamento do processo erosivo foi provocado pela dragagem do canal. Atualmente, a extração de areia nas imediações tem originado profundas depressões, que podem aumentar o grau de instabilidade da margem tornando-a mais susceptível ao escorregamento.

Nas seções alargadas do canal fluvial surgiram feições deposicionais de bancos: banco lateral, cordão marginal convexo e banco de confluência.

O alargamento do canal do rio Itajaí-Açu, que teve como objetivo amenizar o efeito das enchentes em Blumenau, na verdade constituiu-se numa obra de engenharia com resultados bastante contraditórios: 1) a montante da obra, o aumento da velocidade do escoamento representa



simultânea-mente um fator de redução do nível de cheias e de aumento da ação erosiva da margem fluvial; 2<sup>o</sup>) a jusante da obra, em consequência, é maior a tendência de cheias, que também aumenta as possibilidades da ocorrência da erosão das margens através do processo de escorregamento. As variações do nível da água são mais frequentes, tornando o solo aluvial mais constantemente saturado de água que aumenta o seu peso durante a elevação da cota do nível, sendo sucedido por uma diminuição da resistência à fricção do material aluvial com a redução do nível das águas.

Além das intensas transformações ambientais no vale do Itajaí-Açu, e das obras de engenharia na calha do rio, que modificam a dinâmica geomorfológica e fluvial, a extração de areia também desempenha, atualmente, uma forte influência em muitos pontos de escorregamentos nas margens.

As transformações geradas pela canalização do rio Itajaí-Açu, na divisa dos municípios de Blumenau/Gaspar, alteraram a dinâmica geomorfológica, porém, é importante acrescentar que as obras de engenharia também afetaram as condições bióticas que ainda não foram devidamente estudadas. Como o rio busca um novo estado de equilíbrio, torna-se necessário um acompanhamento, a médio e a longo prazo, das sucessivas mudanças do ambiente fluvial, nas margens e no leito do canal.

#### **Bibliografia**

Brookes, A. (1988). Channelized Rivers: Perspectives for Environmental Management. Wiley-Interscience. 326 p.

Cunha, S. B. (1994). Geomorfologia Fluvial. In:

- Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos (Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. org.), 2<sup>o</sup>ed., Bertrand Brasil. p. 211-252.
- Cunha, S. B. (1995). Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da Bacia do rio São João (Rio de Janeiro Brasil). Rio de Janeiro: edição do autor. 415 p. (Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, tese de doutoramento em Geografia Física).
- Fendrich, R. (1988). Emissários em canais para combate à erosão urbana. In: FENDRICH, R. et al., Drenagem e controle da Erosão Urbana. Educa-PUC-PR, Curitiba, 2<sup>a</sup> ed.: 307-386.
- Lencastre, A (1996). *Hydraulique générale*. Éditions Eyrolles, Paris, 633 p.
- Keller, E. A. (1981). Hidrology and human use. In: Environmental Geology, Charles E. Merrill Publishing Company. p. 227-270.
- Park, C. C. (1977). Man-induced changes in stream channel capacity. In: River Channel Changes. John Wiley & Sons. p. 121-144.
- Patrick, D. M.; Smith, L. M. & Whitten, C. B. (1982). Methods for studying accelerated fluvial change. In: Gravel Bed Rivers. John Wiley and Sons. p. 783-816.
- Universidade Regional de Blumenau & Depto. de Edificações e Obras Hidráulicas. (2000). Resultados das Investigações Geológicas e Geotécnicas e Ensaio Triaxiais nos Taludes do Rio Itajaí-Açu. Relatório Interno.
- Wolman, M. G. e Miller, J. C. 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal Geology*, 68:54-78.