

Geologia e hipsometria de bacias de drenagem do centro-norte catarinense (Brasil): implicações para a zona costeira

Geology and hypsometry of river basins at central-northern Santa Catarina (Brazil): implications for the coastal zone

Nils Edvin Asp^{ae}, Eduardo Siegle^{bf}, Carlos Augusto França Schettini^{cg}, Arthur Pires Losso^{dh}, Antonio Henrique da Fontoura Klein^{di}

^aInstituto de Estudos Costeiros/UFPA, ^bInstituto Oceanográfico/USP, ^cInstituto de Ciências do Mar/Labomar/UFC, ^dCTTMar/Univali
^enilsasp@ufpa.br, ^fesiegle@usp.br, ^gguto.schettini@gmail.com, ^harthurlosso@hotmail.com, ⁱklein@univali.br

RESUMO

A região centro-norte do Estado de Santa Catarina/Brasil é composta basicamente pelas bacias hidrográficas dos rios Itajaí-Açu, Itapocu e Tijucas, drenando diretamente para o Atlântico Sul. O objetivo do presente trabalho é analisar e correlacionar a hipsometria dessas bacias para melhor entender a evolução holocênica e a dinâmica dos estuários e planícies costeiras associadas a esses rios. Foram compilados dados gerais da cobertura geológico-sedimentar, topografia, dimensões e clima de cada bacia hidrográfica. Esses dados foram analisados e interpretados no contexto geomorfológico. Dados de hidrodinâmica e sedimentologia dos estuários e estratigrafia das planícies costeiras foram também considerados. Os resultados apontam diferenças importantes na geologia, topografia, perfis de talvegue e hipsometria das bacias estudadas. Foram também identificadas diferenças significativas na morfologia, dinâmica e estratigrafia das respectivas regiões estuarinas e planícies costeiras, que foram diretamente correlacionadas com as características das bacias de drenagem.

Palavras-chave: Hipsometria; Bacias de drenagem; Planícies costeiras; Estuários; Evolução holocênica.

ABSTRACT

The central-northern region of the Santa Catarina State (Brazil) is composed basically by the Itapocu, Itajaí-Açu and Tijucas river basins, draining directly to the South Atlantic. The present study uses the hypsometric analysis of those three basins to improve the understanding of the Holocene evolution and dynamics of the respective estuaries and coastal plains. Data on the lithological coverage, topography, hydrography, climate and dimensions were considered, analyzed and interpreted in the geomorphologic context. Information regarding hydrodynamics and sedimentology of the estuaries and stratigraphy of the coastal plains were also considered. The results have shown important differences in the geology, topography, thalweg profile and hypsometry between the studied drainage basins. In the corresponding estuaries and coastal plains substantial differences in the morphology, dynamic and stratigraphy were observed, which could be largely explained by the differences in the drainage basin characteristics.

Keywords: Hypsometry; Drainage basins; Coastal plains; Estuaries; Holocene evolution.

1. Introdução

As bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina se dividem em três grandes grupos: Bacias do Iguaçú, Bacias do Uruguai e Bacias do Sudeste, pertencendo respectivamente às regiões hidrográficas do Paraná, Uruguai e Atlântico Sul (Agência Nacional das Águas/ANA). A região centro-norte catarinense é composta basicamente por três bacias hidrográficas do grupo de bacias do sudeste, associadas aos rios Itajaí-Açu, Itapocu e Tijucas, drenando diretamente para o Atlântico Sul. A figura 1 apresenta a localização da área de

estudo, os limites das bacias hidrográficas estudadas, sua topografia e drenagens principais.

O embasamento das bacias hidrográficas estudadas é composto principalmente por rochas do Complexo Metamórfico (Grupo) Brusque e pelos Complexos Granulíticos Luis Alves, Paraíba do Sul e Canguçu. Estas rochas possuem idade geral pré-cambriana, estendendo-se do Arqueano até o Proterozóico Médio e Superior, quando as mesmas se encontravam como uma plataforma estabilizada (Krebs *et al.* 1990, Caldasso *et al.* 1995, Philipp *et al.* 2004).

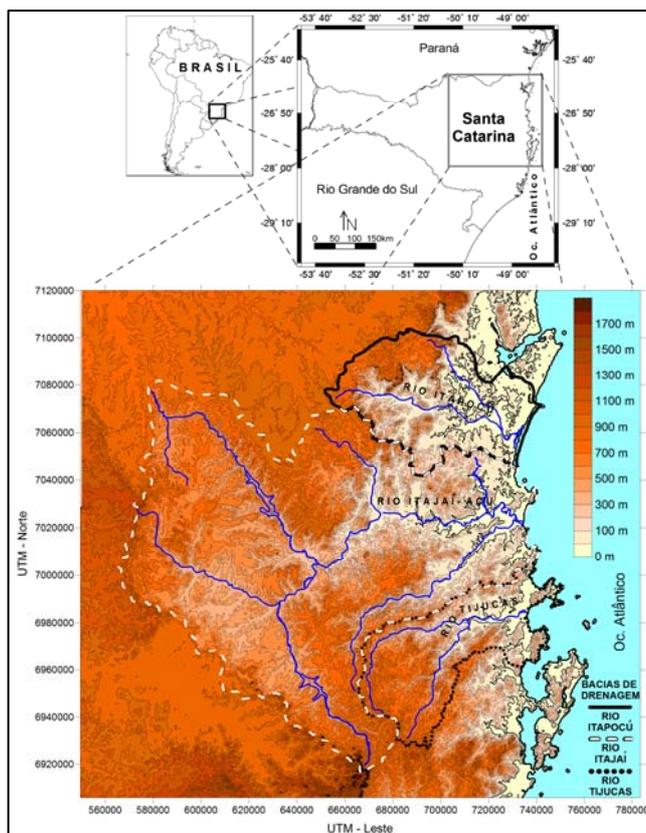


Figura 1: Localização, topografia e drenagem principal das bacias hidrográficas Itajaí-Açu, Itapocu e Tijucas (Dados topográficos SRTM)

Segundo Krebs *et al.* (1990), a instalação da bacia do rio Itajaí-Açu se deu com a reativação do lineamento Perimbó (Proterozóico Superior). A instalação da bacia do rio Tijucas foi bastante similar à do Itajaí-Açu, estando associada ao lineamento Major Gercino (Hartmann & Fernandes 2000). No caso da bacia do rio Itapocu, sua instalação estaria associada à intrusão da Suíte Serra do Mar, no final do Proterozóico.

A configuração geológica atual das bacias hidrográficas estudadas é o produto, além de sua origem, acima mencionada, da separação das placas tectônicas da América do Sul e da África, no final do Mesozóico, com a abertura do Oceano Atlântico. Este grande evento resultou também na formação da Serra Geral, que corresponde ao principal divisor de águas das regiões hidrográficas no estado de Santa Catarina.

A subsequente evolução daquelas bacias transcorreu do início do Cenozóico até o presente, sem eventos de maior magnitude, correspondendo basicamente ao gradual intemperismo, erosão e transporte de sedimentos das regiões mais elevadas em direção ao Atlântico. Evidências concretas de neotectonismo não foram ainda apresentadas. No Quaternário, maiores mudanças estão associadas às variações do nível do mar, afetando principalmente a porção costeira das bacias, foco principal do presente trabalho.

A origem e evolução geológica das referidas bacias implicam em uma complexidade geomorfológica da região. Formações e complexos de rochas ígneas intrusivas e extrusivas, sedimentares e metassedimentares de idades pré-cambrianas a terciárias se misturam às coberturas sedimentares quaternárias. Esta diversidade resultou também em ambientes costeiros com configurações e características morfodinâmicas diversificadas.

Estudos anteriores envolvendo aspectos geológicos da região costeira de Santa Catarina (por exemplo, Caruso Jr. 1993, Horn Filho & Diehl 1994, Diehl & Horn Filho 1996) têm focado essencialmente a planície costeira propriamente dita. Por outro lado, os ambientes deposicionais costeiros associados a desembocaduras de rios, como estuários e planícies de cordões, sofrem influência das respectivas bacias hidrográficas em sua íntegra, envolvendo aspectos geológicos, climáticos e geomorfológicos que afetam diretamente os processos da dinâmica sedimentar dos estuários e planícies associadas.

As planícies costeiras e os estuários dos rios (bacias) Tijucas, Itajaí-Açu e Itapocu têm sido bastante estudados nos últimos anos, envolvendo aspectos hidrológicos, morfodinâmicos e geológicos, relacionados à sua estratigrafia e evolução holocênica (Schettini *et al.* 1996, Schettini & Klein 1997, Caruso Jr. & Araújo 1997,

Schettini 2002, Asp *et al.* 2005a,b, Buynevich *et al.* 2005a,b, FitzGerald *et al.* 2005, Siegle *et al.* 2005, Pierri & Siegle 2005). Alguns desses estudos têm mostrado a relevância de aspectos gerais das bacias de drenagem na dinâmica e configuração dos estuários e planícies costeiras.

Dentro do contexto apresentado, o objetivo do presente trabalho é analisar comparativamente a geomorfologia das bacias hidrográficas dos rios Itajaí-Açu, Tijucas e Itapocu, para melhor entender a evolução quaternária e a morfodinâmica dos estuários e planícies costeiras associadas àqueles rios.

2. Metodologia aplicada e base de dados

Foram compilados dados gerais da cobertura geológico-sedimentar, topografia, dimensões e clima de cada bacia hidrográfica. Estes dados foram analisados e interpretados no contexto geomorfológico. Dados específicos dos estuários e planícies costeiras, incluindo profundidades e elevações, hidrodinâmica e transporte de sedimentos do estuário do Itajaí-Açu, dados estratigráficos e sedimentológicos da planície costeira de Tijucas, assim como dados morfodinâmicos da desembocadura do rio Itapocu, coletados nos últimos anos, foram também utilizados.

2.1. Dados de Geologia

As informações da geologia regional e estrutural da área foram obtidas do mapa geológico de Santa Catarina (Santa Catarina 1986). Com base no mapeamento geológico e nos limites de cada bacia (figura 2), os *Grupos, Formações, Suítes* e *Complexos* existentes foram reagrupados em 7 categorias, de acordo com suas afinidades em termos de idades de formação e propriedades físico-químicas. Categoria 1: Complexos cristalinos Antigos (Luis Alves, Canguçu e Paraíba do Sul); Categoria 2: Grupo Brusque (Rochas meta-sedimentares friáveis); Categoria 3: Suítes Intrusivas Antigas (Valsungana, Caatinga e Guabiruba); Categoria 4: Suítes Intrusivas do início do arqueamento (Tabuleiro e Serra do Mar); Categoria 5: Rochas do final do Pré-cambriano (Campo Alegre, Itajaí e Queçaba); Categoria 6: Rochas alcalinas e sedimentares da bacia do Paraná (Cambirela, Campo do Tenente, Mafra, Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina, Rio do Rastro, Botucatu e Serra Geral); e Categoria 7: Quaternário aluvial, costeiro e marinho (Chuí, Itapoá e coberturas sedimentares recentes).

A porcentagem da área de cada bacia ocupada por cada uma dessas categorias foi estimada, bem como sua elevação média. Posteriormente, as implicações da abundância relativa, bem como a distribuição vertical dessas categorias na produção

e transporte para os ambientes costeiros foram interpretadas.

2.2. Dados de elevação

As informações de elevação utilizadas correspondem aos dados de altimetria por satélite SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), obtidos pelas agências espaciais americanas (NASA e NGA), alemã (DLR) e italiana (ASI), disponibilizados livre e eletronicamente pelo Serviço Nacional de Geólogos dos EUA (USGS/EROS). Esses dados apresentam uma resolução vertical de 1 m, com espaçamento de cerca de 100 m, sendo ideais para o tipo de estudo aqui desenvolvido. Diferenças de elevação, causadas por corte ou plantio de vegetação e por construções, são grandemente diluídas devido à amplitude das elevações observadas. A figura 1 apresenta o mapa de elevações construído a partir desses dados.

2.3. Dados batimétricos e hidrodinâmicos

Uma vez que o objetivo primordial do presente trabalho é melhor entender os processos e evolução das porções costeiras das bacias de drenagem, dados batimétricos, hidrodinâmicos e hidrossedimentares dos respectivos estuários, coletados em trabalhos anteriores, foram também utilizados.

Dados de profundidade das regiões costeiras adjacentes aos rios aqui estudados foram digitalizados a partir de cartas náuticas DHN (Laboratório de Geoprocessamento, CTTMar/Univali). Dados batimétricos dos rios (porção estuarina) vêm sendo obtidos sistematicamente ao longo dos últimos dez anos com embarcações equipadas com ecosondas e sistemas de posicionamento diferencial por satélite (DGPS), sendo também utilizados aqui.

No estudo do estuário do rio Itajaí-Açu diversos levantamentos batimétricos, hidrodinâmicos e hidrossedimentares vêm sendo realizados desde 1994, abrangendo no seu conjunto toda a região estuarina e costeira (Schettini 2002). Na região do estuário do Itapocu, um experimento de campo intensivo foi realizado entre julho e agosto de 2004 (Projeto CANAIS), incluindo hidrodinâmica, morfologia, sedimentologia e condições meteorológicas. As condições hidrodinâmicas foram medidas utilizando quatro correntógrafos (ECM – Falmouth) posicionados ao longo da laguna e no canal principal da desembocadura. A propagação da onda de maré foi medida com a utilização de três marégrafos distribuídos ao longo do estuário, desde a desembocadura até o seu limite superior. Um levantamento batimétrico abrangendo toda a laguna costeira até 17 km a montante foi também executado (Siegle *et al.* 2005, Pierri & Siegle 2005).

No estuário do rio Tijucas, um levantamento batimétrico foi realizado no ano de 1996, também contemplando dados hidrodinâmicos preliminares (Schettini *et al.* 1996). Através do projeto TransEst, um novo levantamento foi realizado em fevereiro de 2006 e estão em andamento estudos hidrodinâmicos do estuário.

2.4. Processamento digital - Modelos de elevação e cálculos hipsométricos

Com o uso do programa *Surfer™ 8.0* (Golden Software), modelos digitais de elevação (MDE) foram construídos a partir de grade de dados interpolados x, y, z de altimetria por satélite, dados de profundidade e de polígono digitalizado correspondendo aos contornos das bacias estudadas. O método de interpolação utilizado foi triangulação com interpolação linear, por ser um método exato com grande fidelidade em relação aos dados originais, especialmente quando regularmente distribuídos, como no caso dos dados SRTM. Através das grades de dados de cada bacia, foram efetuados cálculos de área *versus* elevação, volume e perfis de talvegue.

As relações de área e elevação de cada bacia analisada foram graficadas na forma de curvas hipsométricas, para aplicação na análise geomorfológica (análise hipsométrica), especialmente embasada no trabalho clássico de Strahler (1952), assim como nos trabalhos de Schumm (1956) e Fournier (1960), onde são encontrados maiores detalhes sobre o método. A curva hipsométrica resume de maneira precisa o aspecto geral de uma bacia de drenagem. Essas curvas são elaboradas a partir da intersecção de planos com o modelo de elevação digital, sendo calculadas as áreas que se encontram acima de cada plano de elevação utilizado. Com a confecção de curvas hipsométricas absolutas— onde elevações (h) e áreas (a) são relativizadas em função da elevação máxima (H) e da área total (A) de cada bacia –, uma comparação direta de bacias é possibilitada em termos de a/A e h/H . Mais além, a elaboração de curvas hipsométricas permite o cálculo da *integral hipsométrica*, permitindo ainda uma avaliação do grau de maturidade de cada bacia de drenagem. A integral hipsométrica foi definida por Strahler (1952) da seguinte forma:

$$\text{Integral Hipsométrica} = \int_0^1 x \cdot dy \quad (1)$$

Onde x corresponde a a/A e y corresponde a h/H .

2.5. Dados estratigráficos das planícies costeiras

Estudos anteriores têm coletado diversos dados na porção (planície) costeira da bacia de drenagem do rio Itajaí-Açu e, especialmente, do rio Tijucas, a fim de mapear sua topografia em detalhe e sua

estratigrafia e evolução ao longo do Holoceno (Asp *et al.* 2005a,b, Buynevich *et al.* 2005a,b). Nesses trabalhos, foram empregados diversos equipamentos em trabalhos de campo durante os anos de 2004 e 2005, incluindo radar solo-penetrante (*Ground Penetrating Radar* - GPR), trados manuais, vibrotestemunhador (*Vibracore*) e sistema diferencial de posicionamento por satélite (DGPS), sendo coletados mais de 20 km de perfis (Asp *et al.* 2005a,b, Buynevich *et al.* 2005a,b). Estes estudos forneceram um panorama claro da produção, transporte e deposição de sedimentos pela bacia e drenagem do rio Tijucas. No caso da planície costeira associada ao rio Itapocu, existe ainda uma grande carência de dados estratigráficos e sedimentológicos.

3. Resultados e discussão

3.1. Geologia das bacias avaliadas

A estrutura geológica e a cobertura litológico-sedimentar das bacias investigadas são apresentadas na figura 2 e na tabela 1. Juntamente com a hipsometria, esses fatores são substanciais nos aspectos quali-quantitativos da produção, transporte e deposição de sedimentos na zona costeira adjacente.

Do ponto de vista macrorregional, as três bacias se localizam na porção sul da Província Mantiqueira, no Cinturão Ribeira, entre os Batólitos de Florianópolis e de Paranaguá. Esta é uma região transicional bastante complexa composta pelo Craton Luís Alves, pela Bacia marginal de Itajaí e pelo Cinturão Dobrado (Grupo) Brusque. O Craton Luís Alves predomina ao norte, caracterizando a bacia do Itapocu. A Bacia marginal de Itajaí corresponde grosseiramente à própria bacia de drenagem do rio Itajaí-Açu, incluindo também parte do Cinturão Dobrado (Grupo) Brusque, o qual, junto com o bordo do Batólito de Florianópolis, compõe também a bacia de Tijucas.

3.1.1. Bacia de Tijucas

A bacia de Tijucas tem como uma das suas principais características geológicas o seu controle estrutural pelas Suítes Intrusivas Valsungana (norte) e Major Gercino (sul), com orientação predominante SW-NE, associadas ao lineamento Major Gercino, delimitando a bacia de modo geral. Entre esses dois blocos, o Grupo Brusque predomina. Ele é composto principalmente por rochas metassedimentares, que segundo observações de campo e laboratório se apresentam bastante friáveis, de fácil intemperismo e erosão, com grande potencial de geração de sedimentos finos. Devido às estruturas intrusivas, o rio Tijucas e seus tributários principais são “forçados” a correr sobre o Grupo Brusque.

Estudos do estuário e da planície costeira de Tijucas têm mostrado, de fato, grande abundância de sedimentos finos em suspensão e em deposição, não só no presente como ao longo de todo o Holoceno (Schettini *et al.* 1996, Schettini & Klein 1997, Caruso Jr. & Araújo 1997, Asp *et al.* 2005a,b, Buynevich *et al.* 2005a,b). Estudos estratigráficos da planície costeira de Tijucas mostraram, porém, uma alternância deposicional, com épocas de predominância arenosa e épocas de predominância lamosa (Asp *et al.* 2005a,b, Buynevich *et al.* 2005a), indicando a produção abundante, ao menos em determinadas fases,

também de sedimentos arenosos. Observações desses grãos indicam considerável imaturidade tanto física quanto mineralógica, sugerindo, portanto, uma origem essencialmente fluvial, em contraste com a possível origem marinha (Caruso Jr. & Araújo 1997). A fonte mais provável dos sedimentos arenosos seriam principalmente as Suítes Intrusivas Valsungana e Major Gercino (Granitos e Gneisses, categoria 3) e os leques aluviais a elas associados (Asp *et al.* 2005a). No entanto, ainda não existem estudos mais específicos investigando essa questão.

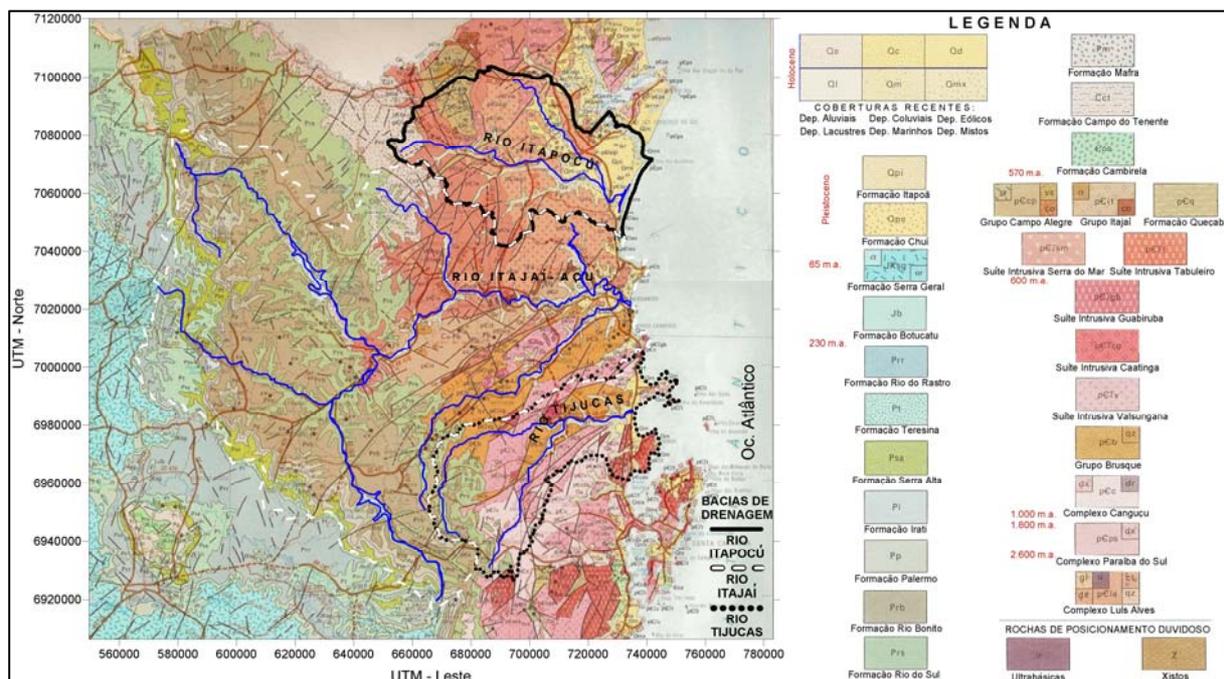


Figura 2: Mapa geológico da região das bacias hidrográficas dos rios Itajaí-Açu, Itapocu e Tijucas (Modificado do Atlas de Santa Catarina – Santa Catarina, 1986)

As rochas associadas à Bacia do Paraná (categoria 6) compõem a cabeceira do rio Tijucas, e aparentemente têm papel secundário na produção de sedimentos, tanto por sua pequena extensão como pelo seu posicionamento. Por representar porções mais elevadas, essa parte da bacia é sim importante no potencial de transporte do rio em si.

3.1.2. Bacia do Itajaí-Açu

As rochas associadas à Bacia do Paraná (categoria 6), pouco representadas na bacia de Tijucas, ocupam grande parte da bacia do Itajaí-Açu (tabela 1). Essas rochas, por suas características físico-químicas não seriam grandes produtoras de areias e/ou cascalhos, uma vez que a textura afanítica dos basaltos da Bacia do Paraná e a composição das rochas sedimentares associadas não seriam muito favoráveis à formação de areias. Os minerais daquelas rochas seriam principalmente

degradados, alterados e/ou solubilizados gradualmente, produzindo sedimentos finos (argilo-minerais).

Embora represente apenas cerca de 5% da área da bacia, a planície costeira associada ao estuário do rio Itajaí-Açu (planície de Navegantes) é bastante extensa e significativa, incluindo um grande volume de sedimentos depositados nos últimos cinco mil anos (Buynevich *et al.* 2005b). Trabalhos na planície de cordões de Navegantes sugerem uma origem predominantemente marinha para a grande quantidade de areias finas a médias que compõe aquela planície (Buynevich *et al.* 2005b).

3.1.3. Bacia do Itapocu

Conforme observado na tabela 1, a bacia do Itapocu é composta basicamente por duas categorias de rocha, incluindo o complexo (Craton) Luís Alves e as coberturas sedimentares recentes,

perfazendo juntas mais de 80% da área da bacia. A grande área ocupada por coberturas recentes reflete o aporte abundante de sedimentos oriundos provavelmente do próprio Craton Luís Alves, mas também da bacia de Itajaí ao sul e do Batólito de Paranaguá ao norte. O Craton Luís Alves é composto principalmente por Gnaisses Pré-cambrianos de alto grau, e sua relativa fragilidade

resultou na criação de espaço de acomodação de sedimentos, inclusive importados das áreas adjacentes. Grande parte desse espaço vem sendo preenchido por sedimentos ao longo do Quaternário, resultando na extensa planície costeira associada ao rio Itapocu. Parte desse espaço ainda não foi preenchido, implicando na existência da Baía da Babitonga, ao norte do rio Itapocu.

Tabela 1: Tipos de rocha por bacia hidrográfica (porcentagem e elevação média)

Bacia	Percentual	Tipo de Rocha	Elevação ⁽¹⁾
Tijucas	25%	Categoria 2 (Grupo Brusque)	150
	25%	Categoria 3 (Suíte Intrusiva Valsungana e Major Gercino)	500
	15%	Categoria 6 (Alcalinas/Sedimentares Bac. Paraná)	600
	15%	Categoria 1 (Complexo Canguçu)	700
	15%	Categoria 7 (Depósitos Aluvionares e Marinheiros)	10
	5%	Categoria 4 (Suíte Intrusiva Tabuleiro)	300
Itajaí-Açu	60%	Categoria 6 (Alcalinas/Sedimentares Bac. Paraná)	600
	11%	Categoria 5 (Grupo Itajaí)	300
	11%	Categoria 1 (Complexo Luís Alves)	150
	8%	Categoria 2 (Grupo Brusque)	250
	5%	Categoria 7 (Depósitos Aluvionares e Marinheiros)	20
	5%	Categoria 3 (Suítes Intrusivas Valsungana e Guabiruba)	200
Itapocu	50%	Categoria 1 (Complexo Luís Alves)	200
	33%	Categoria 7 (Depósitos Aluvionares e Marinheiros)	10
	8%	Categoria 5 (Grupo Campo Alegre)	750
	5%	Categoria 6 (Alcalinas/Sedimentares Bac. Paraná)	600
	4%	Categoria 4 (Suíte Intrusiva Serra do Mar)	400
	4%	Categoria 4 (Suíte Intrusiva Serra do Mar)	400

(1) Média em metros estimada a partir de dados altimétricos e mapa geológico da área.

3.1.4. Correlação geológica entre as bacias

Uma primeira grande diferença na configuração das bacias consiste em suas dimensões: enquanto as bacias dos rios Tijucas e Itapocu possuem uma área em torno de 3 mil quilômetros quadrados, a bacia do rio Itajaí-Açu apresenta uma área superior a 15 mil quilômetros quadrados. Consequentemente, sua vazão é também uma ordem de grandeza superior aos rios Tijucas e Itapocu (ver tabela 2).

Conforme descrito acima, essa diferença implica na abrangência, na porção oeste da bacia do Itajaí-Açu, de uma extensa área de rochas alcalinas e sedimentares associadas à bacia do Paraná, representando cerca de 60% de sua cobertura, rochas estas que representam apenas 5% no caso da bacia do Itapocu e 15% no caso da bacia de Tijucas (tabela 1).

Resumidamente, do ponto de vista geológico a bacia do rio Itajaí-Açu difere-se principalmente por sua grande extensão relativa e pela presença expressiva de rochas alcalinas e sedimentares da bacia do Paraná, o que parece implicar num potencial relativamente baixo de produção de areias. A bacia do rio Tijucas, devido a seus componentes geológicos, parece apresentar grande potencial de geração e transporte de sedimentos tanto arenosos quanto lamosos. Já, a bacia do rio Itapocu possui potencial substancial para a produção de areias, associado ao Craton Luís Alves, no entanto a bacia como um todo parece ser

mais propensa a receber e acomodar sedimentos do que a produzi-los e exportá-los.

A região apresenta como um todo clima subtropical úmido, sem estação seca (clima úmido tipo B3, Anuário Estatístico IBGE). Por outro lado, a bacia do Itapocu apresenta temperaturas e, principalmente, pluviosidade claramente mais elevadas do que as outras duas bacias (tabela 2). Esse fato se reflete numa vazão proporcionalmente maior do rio Itapocu.

3.2. Análise hipsométrica das bacias

A análise hipsométrica e das dimensões e características hidrológicas das bacias permite uma abordagem mais objetiva de aspectos geomorfológicos subjetivos das bacias de drenagem. As características principais de cada uma das três bacias analisadas são apresentadas na tabela 2.

Pode-se observar que as bacias/rios de Tijucas e do Itapocu possuem dimensões bastante próximas. Considerando a área da bacia e a extensão aproximada do canal principal, Itapocu supera Tijucas em cerca de 10% e 5%, respectivamente. No entanto, sua vazão média é cerca de duas vezes superior àquela de Tijucas, fato atribuído principalmente a uma precipitação média consideravelmente maior na região do Itapocu, como já referido. Com respeito à elevação, embora a bacia do Itajaí apresente maiores elevações máxima e média, a bacia de Tijucas pode ser considerada a de topografia mais expressiva. Os

coeficientes orográfico e de massividade, assim como uma maior declividade média, demonstram isso.

As curvas hipsométricas obtidas para as três bacias são apresentadas na figura 3a, sendo a seguir discutidas. Na figura 3b os perfis de talvegue de cada um dos três rios abordados são também

apresentados. Uma vez que o rio Itajaí-Açu é consideravelmente mais extenso que os rios Tijucas e Itapocu, a extensão de cada rio foi normalizada, variando portanto de 0 a 1, para uma melhor correlação.

Tabela 2: Caracterização geral das bacias estudadas

Dados	Bacias Hidrográficas		
	Tijucas	Itajaí	Itapocu
Área da Bacia (km ²)	2.807	15.203	3.118
Extensão do Canal Principal (km)	88,85	221,03	92,44
Vazão Média (m ³ /s)	45	378	98
Precipitação Média (mm)	1674±195	1607±128	2078±487
Temperatura Média (°C)	16 - 20	16 - 20	18 - 22
Elevação Máxima (m)	1.190	1.672	1.137
Elevação Média (m)	443	508	265
Declividade Média	5° 17'	4° 31'	3° 34'
Integral Hipsométrica	0,39	0,36	0,30
Coef. de Massividade	0,16	0,03	0,08
Coeficiente Orográfico	70	17	23

Fontes: Agência Nacional das Águas, Atlas de Santa Catarina e cálculos digitais próprios
Integral Hipsom. = Strahler (1952); Coef. Massividade e Orográfico = Fournier (1960)

3.2.1. Hipsometria da bacia do rio Itapocu

A bacia apresenta uma grande área de baixa elevação (< 100m), composta basicamente por extensas planícies costeiras, ocupando aproximadamente a metade da área total da bacia. Uma porção representativa (20% da área total) é bastante elevada (> 700m), enquanto a porção

intermediária (elevações entre 100 e 700 m) representa apenas 30% da área total. A exemplo do que ocorre com a hipsometria, o perfil de talvegue do rio Itapocu demonstra claramente que grande parte do rio se estende por áreas pouco elevadas. No caso do curso do rio, a pequena expressão de porções de elevação intermediária é ainda mais evidente.

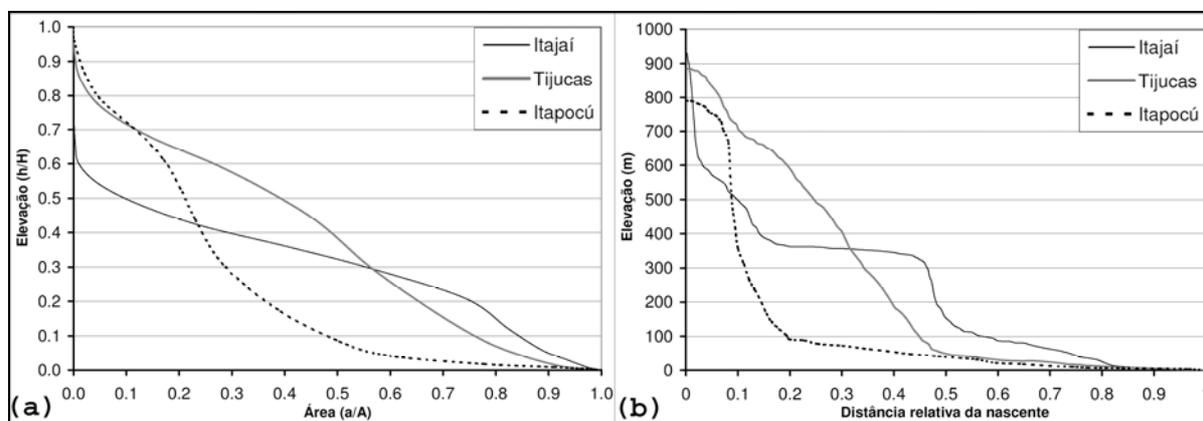


Figura 3: Curvas hipsométricas (a) e perfis de talvegue (b) dos rios/bacias de Itajaí-Açu, Tijucas e Itapocu (h = elevação; H = elevação máxima; a = área correspondente a "h"; e A = área total da bacia)

3.2.2. Hipsometria da Bacia do rio Itajaí-Açu

A bacia apresenta, de certa forma, aspecto antagônico àquele da bacia do Itapocu. No caso da bacia do Itajaí-Açu, cerca de 75% da área tem elevações intermediárias (no caso, entre 70 e 500 m), enquanto somente cerca de 5% da área é, de fato, elevada (> 500m), e 20% da área corresponde a regiões baixas (< 70m), compostas pela planície costeira, mas também com importante contribuição dos vales fluviais. O perfil de talvegue

do rio Itajaí-Açu demonstra ainda uma grande irregularidade, resultado da formação de um grande platô com elevação aproximada de 300 a 400 m, ocupada por cerca de 35% da extensão fluvial principal, sendo também responsável por uma declividade média inferior à esperada para essa bacia, devido à sua elevação média e máxima. Esse aspecto do perfil é, por sua vez, resultado de camadas horizontais bem definidas de rochas sedimentares associadas à bacia do Paraná (figura 2).

3.3.3. Hipsometria da Bacia do rio Tijucas

A bacia de Tijucas apresenta uma situação intermediária, quando comparada às bacias do Itapocu e do Itajaí-Açu. , uma relação mais “equilibrada” de área e elevações, onde áreas de baixa elevação (< 100m) ocupam cerca de 25%, porções intermediárias (elevações entre 100 e 700 m) representam 50% e a porção elevada representa aproximadamente 25% da área total. O perfil de talvegue do rio Tijucas indica, por sua vez, o grande potencial erosivo dessa bacia, o que é reforçado pelos valores maiores, quando comparados às outras duas bacias, da integral hipsométrica e sua maior declividade média, evidente no perfil de talvegue.

3.3.4. Correlação hipsométrica

Como pode ser observado na figura 3, as curvas hipsométricas revelam importantes diferenças entre as bacias. Na bacia do Itapocu, a região de baixa elevação é bem extensa e é representada principalmente por terrenos recentes (Quaternário, mas provavelmente Holoceno). Assim, pode-se estimar que houve nessa região uma grande mudança de área total e nas relações de área e elevação (hipsometria) desde o máximo transgressivo holocênico (5,7 mil anos AP, [Angulo et al. 2006](#)). O mesmo não ocorreu nas bacias de Tijucas e principalmente de Itajaí, onde as planícies costeiras do Quaternário são relativamente muito menos expressivas.

Segundo [Strahler \(1952\)](#), o ciclo geomorfológico das bacias de drenagem pode ser simplificado em termos de curvas hipsométricas partindo de uma curva que representa uma fase jovem ou imatura (desequilíbrio), indo até uma curva que representa uma fase madura (equilíbrio). Esse gradiente inclui ainda a fase *Monadnock*, onde remanescentes de uma topografia mais elevada ficam preservados enquanto boa parte já havia sido erodida, por diferenças em suas características e propriedades físico-químicas. Pelo aspecto da curva hipsométrica, a bacia do rio Itajaí-Açu se enquadraria no estágio *Monadnock*, onde pequenas porções bastante elevadas dos basaltos da bacia do Paraná contrastam com extensas áreas de elevação intermediária. Por outro lado, [Strahler \(1952\)](#) menciona que, quando o estágio *Monadnock* é efetivo, os valores da integral hipsométrica são inferiores a 0,35 enquanto no caso da bacia do Itajaí-Açu esse valor é de 0,36. A bacia de Tijucas parece estar em equilíbrio (madura), embora [Strahler \(1952\)](#) tenha atribuído o intervalo de integral hipsométrica entre 0,4 e 0,6 a esta categoria, enquanto a integral hipsométrica de Tijucas foi calculada em 0,39. No caso da bacia do rio Itapocu, o aspecto da curva e o valor da integral hipsométrica apontam também para o estágio *Monadnock*. No entanto, se for considerada a

situação do máximo transgressivo holocênico, a curva poderia apresentar um aspecto de fase jovem, sendo os valores da integral hipsométrica superiores a 0,6. No caso da bacia de Tijucas e da bacia do Itajaí-Açu, a variação resultante da progradação de planícies costeiras no Holoceno não modificaria o aspecto geral das respectivas curvas. A análise hipsométrica aponta a bacia de Tijucas como sendo a mais imatura, enquanto a bacia de Itapocu seria a mais madura. A bacia de Itajaí seria intermediária.

4. Implicações para a geomorfologia costeira

As características hipsométricas, geológicas e hidrológicas das bacias de drenagem aqui abordadas influenciam diretamente na geomorfologia costeira (planícies e estuários) adjacente, especialmente por sua influência nas vazões e descargas de sedimento para a zona costeira.

Das implicações mais diretas da configuração geológica regional para as zonas costeiras de Tijucas, Itajaí e Itapocu, destaca-se um gradiente de sul para norte em termos de grau de exposição. Em relação às forças marinhas, em especial à ação das ondas, Tijucas corresponde a uma área costeira abrigada; Itajaí é uma área mediantemente exposta; e a região de Itapocu é, por sua vez, plenamente exposta. Os MDE das três áreas estuarinas demonstram claramente as diferenças de complexidade topográfica e grau de exposição (figura 4).

Essa característica é o resultado combinado da diferença geológica original das bacias e do resultado desta nos processos de produção e transporte de sedimentos, especialmente no Quaternário. No caso do Itapocu, a área bastante elevada que hoje ocupa cerca de 20% da bacia, era proporcionalmente bem maior no período do máximo transgressivo holocênico, resultando no passado recente em grande transporte de sedimentos, corroborando mais recentemente a formação da grande porção de baixa elevação que ocupa hoje cerca de 50% da área da bacia. Por outro lado, grande parte dos sedimentos que formam a planície costeira do Itapocu pode ser de origem marinha, retrabalhados da plataforma interna principalmente por ondas, devido ao alto grau de exposição dessa área.

Simplesmente por sua área, a bacia do Itajaí possui um grande potencial de produção e transporte de sedimentos para a zona costeira. Porém, a maior parte da bacia é ocupada por elevações intermediárias que não são favoráveis ao transporte de grandes quantidades de sedimento para a costa. Por outro lado, a região costeira associada à bacia do Itajaí está confinada pelo Complexo Luis Alves (ao norte) e pela Suíte Intrusiva Valsungana (ao sul). Como não há espaço de acomodação suficiente na própria bacia, o

sedimento vem, em parte, sendo exportado e “capturado” pela bacia do Itapocu mais ao norte, processo este facilitado pela deriva litorânea de sedimentos predominantemente de sul para norte

(Siegler *et al.* 2005, Pierri & Siegler 2005), e onde o espaço de acomodação existia (hoje em grande parte preenchido).

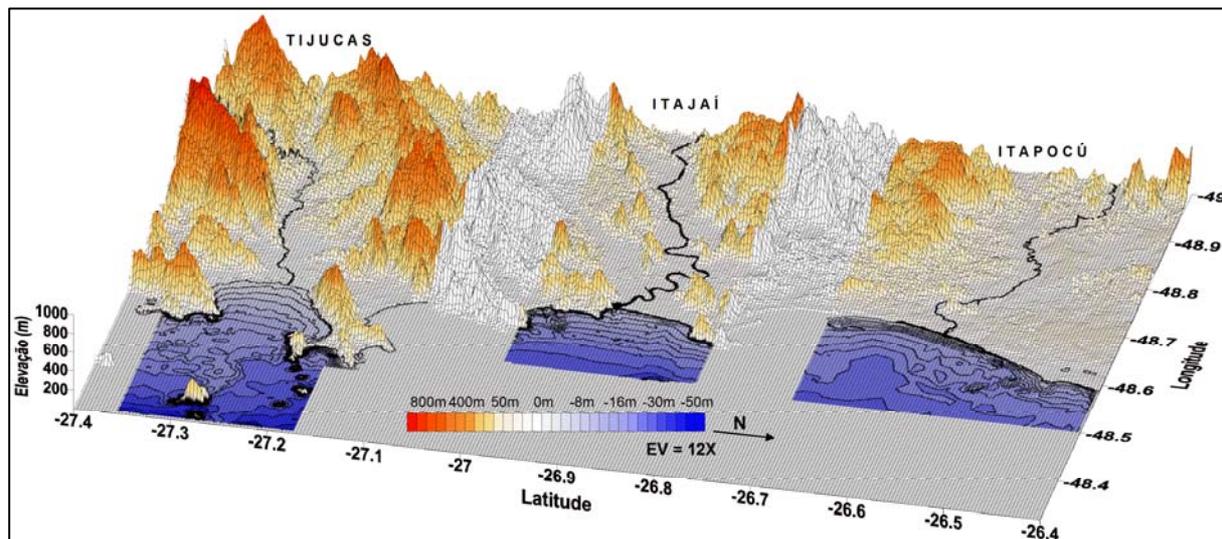


Figura 4: Modelos Digitais de Elevação mostrando o aspecto geral da região costeira de cada bacia estudada

Em relação a Tijucas e Itajaí, sua geomorfologia resultou na formação de vales fluviais bem escavados. Em consequência, por ocasião da transgressão marinha holocênica, foram formados estuários do tipo ria. Estudos na planície costeira de Tijucas (Asp *et al.* 2005a,b, Buynevich *et al.* 2005a,b, FitzGerald *et al.* 2005) indicam a existência de uma barreira transgressiva que ao se estabilizar, por volta do máximo holocênico, teria então caracterizado um estuário construído por barra ou de laguna costeira (Fairbridge 1980). O gradual preenchimento do estuário, associado ao subsequente abaixamento do nível do mar, teria conduzido sua evolução para o tipo de planície costeira. No caso da área de Tijucas, essa evolução foi em boa parte determinada pela configuração geológica, especialmente pela presença das suítes intrusivas Valsungana e Major Gercino. Embora a topografia seja menos expressiva no caso da bacia de Itajaí, um modelo similar poderia ser esperado para a evolução daquele estuário e planície costeira associada. De fato, estudos naquela região evidenciam a progradação da barreira de maneira bastante similar à observada em Tijucas (Buynevich *et al.* 2005a,b). Uma diferença importante entre as porções costeiras das bacias de drenagem de Tijucas e Itajaí parece ser a presença expressiva de sedimentos finos no caso de Tijucas, provavelmente associada à produção desses sedimentos pela bacia e, principalmente, pelo seu abrigo das ondas, propiciando a deposição e acúmulo.

No caso do rio Itapocu, a evolução holocênica parece ser mais complexa. A baixa expressão topográfica do Complexo Luís Alves e a

configuração geral da área teriam propiciado a formação de um grande e complexo embaiamento representado hoje de maneira remanescente pela Baía de Babitonga. Esse quadro resultou provavelmente em uma grande mobilidade do canal principal do rio Itapocu. Observações de campo indicam de fato diversos paleo-canais preenchidos. Amostras de superfície da planície e estuário indicam que o embaiamento foi preenchido essencialmente por areia, produzida diretamente na bacia de drenagem (rochas das categorias 1, 4 e 5), ou por sedimentos de origem marinha, mas em parte provavelmente exportados pela bacia do Itajaí-Açu.

5. Conclusões

Os aspectos aqui apresentados fornecem uma base geomorfológica para o entendimento da porção costeira das referidas bacias de drenagem, mas evidenciam também a necessidade de mais estudos litoestratigráficos e mineralógicos para averiguar e comparar prováveis rochas-fonte dos sedimentos que compõem as diferentes planícies costeiras e estuários.

Os resultados demonstram que, embora as bacias sejam vizinhas, sua estrutura geológica difere bastante e determina importantes diferenças geomorfológicas, seja nas relações de elevação e área das bacias, perfil de talvegue seja no tipo e volume de sedimento potencialmente produzido, transportado e acumulado.

De maneira geral, os dados indicam para Tijucas um grande potencial de geração, transporte e acúmulo na zona costeira de sedimentos grossos e

finos. No caso de Itajaí, existe um potencial teórico elevado para a produção de sedimentos, mas seu transporte e acúmulo na zona costeira seria proporcionalmente menos favorável. No caso do Itapocu, sua configuração favoreceu grandemente o acúmulo de sedimentos, embora essa configuração não seja ideal para a produção dos mesmos. Esse fato poderia estar sendo, ao menos em parte, compensado por fatores climáticos dessa bacia (maior precipitação, maior temperatura), que aumentariam o potencial de produção de sedimentos. A origem dos sedimentos da planície costeira e estuário de Tijucas seria essencialmente fluvial, enquanto para Itajaí e Itapocu a origem seria mista, marinha e fluvial.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, em diversos projetos, especialmente o projeto *Geomorfologia e evolução quaternária da planície costeira de Tijucas, Santa Catarina – Brasil*, (Processo 150408/2004-8), assim como o projeto *TransMist* (Processo 481029/2004-4).

A Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado de Santa Catarina (FUNCITEC – FAPESC) recebe nossos agradecimentos pelo financiamento do projeto CANAIS (processo FCTP1535/030). Agradecemos também aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento, CTTMar/UNIVALI por seu suporte na obtenção e processamento de dados altimétricos e batimétricos, e a PROPPEC/UNIVALI pelo apoio financeiro e suporte de logística.

Os autores manifestam ainda sua gratidão aos colegas Dr. José R. Angulo (UFPR), Dr. Sérgio R. Dillenburg (UFRGS), Dr. Ilya V. Buynevich (WHOI/EUA), Dr. Duncan FitzGerald (UB/EUA) e Dr. William Cleary (UNCW) por sua valorosa cooperação no estudo de planícies costeiras de Santa Catarina.

Referências bibliográficas

- Angulo R.J., Lessa G.C., Souza M.C. 2006. A critical review of mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern brazilian coastline. *Quaternary Science Rev.*, Oxford, 25: 486-506.
- Asp N.E., Buynevich I.V., Siegle E., Fitzgerald D.M., Klein A.H.F., Cleary W.C., Angulo R.J. 2005a. Coastal Geomorphology of the Tijucas Plain–Brazil: Preliminary Evolutionary Model. In: Congresso da ABEQUA, 10, ABEQUA, Guarapari. Anais... ABEQUA, Guarapari, paper 89.
- Asp N.E., Buynevich I.V., Vintém G., Menezes J.T., Veiga F.A., Lamour, M.R., Souza M.C., Birribilli M.P., Klein A.H.F. 2005b. Topografia e sedimentologia de cordões na Planície Costeira de Tijucas. In: Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2, AOCEANO, Vitória. Anais... Vitória.
- Buynevich I., Asp N.E., Fitzgerald D.M., Cleary W.C., Klein A.H.F., Siegle E., Angulo R.J. 2005a. Mud in the surf: timing of extensive suspended sediment discharge into Tijucas Bay, Brazil. *EOS Transactions*, Washington, 86(33): 301, 304.
- Buynevich I.V., Fitzgerald D.M., Cleary W.C., Asp N.E., Siegle E., Klein A.H.F., Angulo R.J. 2005b. Contrasting depositional trends on a recently emergent coastline of southern Brazil: insights from subsurface imaging. In: Annual Meeting of the Geological Society of America (GSA): Northeastern Section, 40, New York. Abstracts with Programs, New York, 37.
- Caldasso A.L., Krebs A.S.J., Silva M.A.S., Camozzato E., Ramgrab G.E. 1995. Mapa Geológico 1:50.000 da Folha Brusque, SC, SG-22-Z-D-II-1, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos, Brasília, CPRM, 243p.
- Caruso Jr. F. 1993. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina: Escala 1:100.000. Notas Técnicas, Porto Alegre, 6: 01-28.
- Caruso Jr. F., Araújo S.A. 1997. A planície de cheniers da Baía de Tijucas, litoral de Santa Catarina. In: Semana Nacional de Oceanografia, 10, AOCEANO, Itajaí. Anais... Itajaí: 40-43.
- Diehl F.L., Horn Filho N.O. 1996. Compartimentação Geológico-Geomorfológica da Zona Litorânea e Planície Costeira do Estado de Santa Catarina. Notas Técnicas, Porto Alegre, 9: 39-50.
- Fairbridge R.W. 1980. The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle. In: Olausson E., Cato I. (Eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. New York: Wiley, p.1-35.
- Fitzgerald D.M., Cleary W.C., Buynevich I.V., Asp N.E., Siegle E., Klein A.H.F., Angulo R.J. 2005. Tectonic inheritance and the evolution of the central Santa Catarina coast, Brazil. In: Annual Meeting of the Geological Society of America (GSA): Northeastern Section, 40, New York. Abstracts with Programs, New York, 37.
- Fournier F. 1960. Climat et érosion: La relation entre l'érosion de sol par l'eau et les précipitation atmosphériques. Paris: Presses Universitaires de France, 201p.
- Hartmann L.A., Fernandes L.A.D. 2000. Crustal Evolution of southern Brazil: Juvenile Accretion and shear zones. In: International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro. Field Trip Aft 02. Rio de Janeiro, 50p.
- Horn Filho N.O., Diehl F.L. 1994. Geologia da Planície Costeira de Santa Catarina. Alcance, Florianópolis, 1: 95-102.
- Krebs A.S.J., Silva M.A.S., Dias A.A., Lopes R.C., Camozzato E. 1990. O Grupo Itajaí na Folha Botuverá (SC): Modelo geométrico/cinemático e relações com o cinturão metavulcano-sedimentar Brusque - Instalação, preenchimento e inversão da bacia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal. Anais... Natal, SBGEO, 6: 2966-2975.
- Philipp R.P., Mallmann G., Bitencourt M.F., Souza E.R., Souza M.M.A., Liz J.D., Wild F., Arendt S., Oliveira A.S., Duarte L., Rivera C.B., Prado M. 2004. Caracterização litológica e evolução metamórfica da porção leste do complexo metamórfico Brusque, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 34(1): 21-34.
- Piérrri G.C.S., Siegle E. 2005. Variabilidade da desembocadura do Rio Itapocu/SC - Brasil: Análise da evolução morfológica em escala de curto termo. In: Congresso Brasileiro De Oceanografia, 2, AOCEANO, Vitória. Anais... Vitória.
- Santa Catarina 1986. Atlas de Santa Catarina. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, Subsecretaria de Estatística, Geografia e Informática. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 173p.
- Schettini C.A.F., Carvalho J.L.B., Jabor P. 1996. Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State - Southern Brazil. In: Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries, Bahía Blanca. Proceedings... Bahía Blanca, IAPSO, 29-32.
- Schettini C.A.F., Klein A.H.F. 1997. Aspectos da dinâmica sedimentar da Baía de Tijucas. In: Semana Nacional De Oceanografia, 10, Itajaí. Anais... Itajaí: 493-495.
- Schettini C.A.F. 2002. Caracterização Física do Estuário do rio Itajaí-Açu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 7(1): 123-142.

- Schumm S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Bulletin of the Geological Society of America, Boulder, 67: 597-646.
- Siegle E., Schettini C.A.F., Klein A.H.F. 2005. The balance between wave and river forces on inlet morphodynamics. In: Coastal Dynamics, 2005, Barcelona. Proceedings... Barcelona, 1: 04-05.
- Strahler A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America, Boulder, 63: 1117-1142.
- Théry H., Mello N.A. 2005. Atlas do Brasil: Disparidades e Dinâmicas do Território. São Paulo: Edusp, 312p.

Recebido 19 de junho de 2009
Aceito 12 de dezembro de 2009