

CARACTERIZAÇÃO HIDROMORFOLÓGICA DA BACIA DO VALE DO ITAJAÍ

Francisco F. N. Marcuzzo¹; Murilo R. D. Cardoso²; Ricardo Pinto Filho³; Vanessa Romero⁴

RESUMO – A bacia do Vale do Itajaí se encontra em uma região de alagamentos periódicos. O objetivo foi estudar os fatores condicionantes para os fenômenos de alagamento na região do Vale do Itajaí e compreender a influência do relevo e da rede de drenagem em relação aos alagamentos. Nesse trabalho foi utilizada a metodologia de estudo morfológica de bacias hidrográficas proposta por Horton e modificada por Christofolletti. Quanto a rede de drenagem foi utilizado o sistema hierárquico proposto por Strahler. Na elaboração do mapa altimétrico, extração de rede de drenagem e delimitação de bacias, foram utilizadas imagens de radar da missão SRTM com resolução espacial de 90 metros e a modelagem foi feita em programa SIG. Os resultados apontaram que o Vale do Itajaí tem uma área 14944,6 km², perímetro de 696,9 km e 72 municípios, e sua rede de drenagem apresenta uma hierarquia de sete ordens, tendo como rio principal o Itajaí-Açu com 169,1 m. Conclui-se com os resultados que a os fatores condicionantes para os alagamentos na bacia são principalmente a chuva que têm seu escoamento intensificado pela acentuada Amplitude Altimétrica e a grande extensão de área que se apresenta em forma de planície onde a água deposita-se.

ABSTRACT – The Itajaí Vale is a region of periodic flooding. This study aimed to study the factors conditions for the phenomena of flooding in the region of Vale do Itajai such as studying and understanding the influence of topography and drainage network of region compared to wetland. In this work methodology was used morphological study of watersheds proposed by Horton and modified by Christofolletti. As the drainage system was used hierarchy proposed by Strahler. In preparing the map altimetry, extraction of drainage network and watershed boundaries were used SRTM with spatial resolution of 90 meters and was made in modeling GIS program. The results showed that the basin of the Valley Itajaí has 14944.6 km² of area, perimeter of 696.9 km and 72 counties total or partially within the basin and its drainage network presents a hierarchy of seven orders, having as the main Rio Itajai-Açu with 169.1 m extension. It concludes with the results that the conditioning factors for the flooding in the basin are mainly rain runoff that have their intensified by the increased amplitude Altimetric presented by basin and large expanse of area that occurs in the form of plain where the water is deposited.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, hipsometria, fisiografia.

¹ Eng^o, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia – Rua 148, nº485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.: (62) 3240-1426 – Goiânia/GO. fmarcuzzo@gmail.com.

² Acadêmico em Geografia, UFG (Universidade Federal de Goiás) – Caixa Postal: 131, Campus Samambaia (Campus II), Conjunto Itatiaia – CEP 74001-970. Tel.: (62) 3521-1000 – Goiânia/GO. muriloshinobi@gmail.com.

³ Geógrafo, UFG (Universidade Federal de Goiás) - Caixa Postal: 131, Campus Samambaia (Campus II), Conjunto Itatiaia – CEP 74001-970. Tel.: (62) 3521-1000 – Goiânia/GO. pintofilho.rf@gmail.com.

⁴ Acadêmica em Saneamento Ambiental, IFG (Instituto Federal de Educação e Tecnologia de Goiás) – Rua 75, nº 46, Centro - CEP: 74055-110, Tel. (62) 3227-2700 – Goiânia/GO. vromero.fe@gmail.com.

1 – INTRODUÇÃO

A bacia do Vale do Itajaí encontra-se em uma das regiões, fora do bioma Pantanal, que mais ocorrem alagamentos dentro do território brasileiro. Por esse motivo, torna-se muito importante o estudo dos parâmetros morfométricos dessa região para compreender o porquê da ocorrência dos fenômenos de alagamento, tal como viabilizar informações pertinentes para a aplicação da engenharia a fim de tornar viável o uso e a ocupação da região de forma sustentável e segura.

Há diversos fatores que contribuem para os constantes alagamentos na região da bacia do Vale do Itajaí. A principal razão para que isso ocorra é a sua geomorfologia, mas esses fenômenos são acentuados também pelo uso antrópico que gera, entre outras coisas, impermeabilização do solo (Braun *et al.*, 2008). Outro fator que colabora para os alagamentos é a distribuição temporal da precipitação pluviométrica na região que concentra seus maiores valores nos meses de fevereiro e janeiro, conseqüentemente, esses meses são onde há maior probabilidade de ocorrência de alagamentos e enchentes. Entretanto, esse período pode variar em anos de anomalias climáticas, como anos de El Niño, por exemplo (Nery *et al.*, 2000).

Nos últimos anos, com os avanços das novas geotecnologias e produtos orbitais disponibilizados (gratuitamente) como imagens de Radar (SRTM), o estudo mais rápido e detalhado das bacias hidrográficas têm sido viabilizado (Araújo *et al.*, 2009). A análise morfométrica de bacias hidrográficas por meio de MDE, tanto de dados ASTER quanto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission / Missão Topográfica do Radar Shuttle), é uma prática que vem sendo amplamente difundida no meio acadêmico, principalmente por sua confiabilidade e praticidade na obtenção de resultados (Barros e Steinke, 2009) e (Cardoso e Marcuzzo, 2010). A modelagem hidrológica e a utilização de SIG têm evoluído para o ponto em que os benefícios de cada sistema podem ser totalmente integrados dentro de uma poderosa ferramenta de análise em bacias hidrográficas (Machado, 2002).

O objetivo desse trabalho foi caracterizar morfologicamente a bacia do Vale do Itajaí a fim de disponibilizar dados fisiográficos que fomentem o uso e ocupação do solo sustentável e seguro, uma vez que a região conta com uma elevada densidade populacional e uma ocupação irregular.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Divisão territorial municipal do Vale do Itajaí

O Vale do Itajaí (Figura 1) está localizado na região leste do estado de Santa Catarina e seu principal rio, rio Itajaí-Açu deságua direto no oceano Atlântico. Possui uma área de 14944,6 km², perímetro de 696,9 km e 72 municípios total ou parcialmente dentro da bacia. Toda a área da bacia

do Vale do Itajaí está inserida no bioma da Mata Atlântica. O Vale do Itajaí está em uma região de considerável conversão das vegetações pioneiras, principalmente levando-se em consideração o cenário apresentado pelo bioma da Mata Atlântica em geral. O uso do solo está mais concentrado nas atividades agropecuárias, pois os alagamentos dificultam o uso para agricultura. Esse cenário de maior conservação das vegetações pioneiras e uso para a pecuária pode ser observado também no bioma Pantanal justamente pela periodicidade dos alagamentos.

Os principais rios da bacia do Vale do Itajaí são: Rio Itajaí-Açu (169,91 km lineares), Rio Itajaí-mirim (134,9 km lineares), Rio Itajaí do Oeste (102,89 km lineares), Rio Itajaí do Norte (93,43 km lineares), Rio Itajaí do Sul (53,58 km lineares), Rio dos Cedros (64,69 km lineares), Rio dos Índios (48,10 km lineares) e Rio Luis Alves (43,12 km lineares)

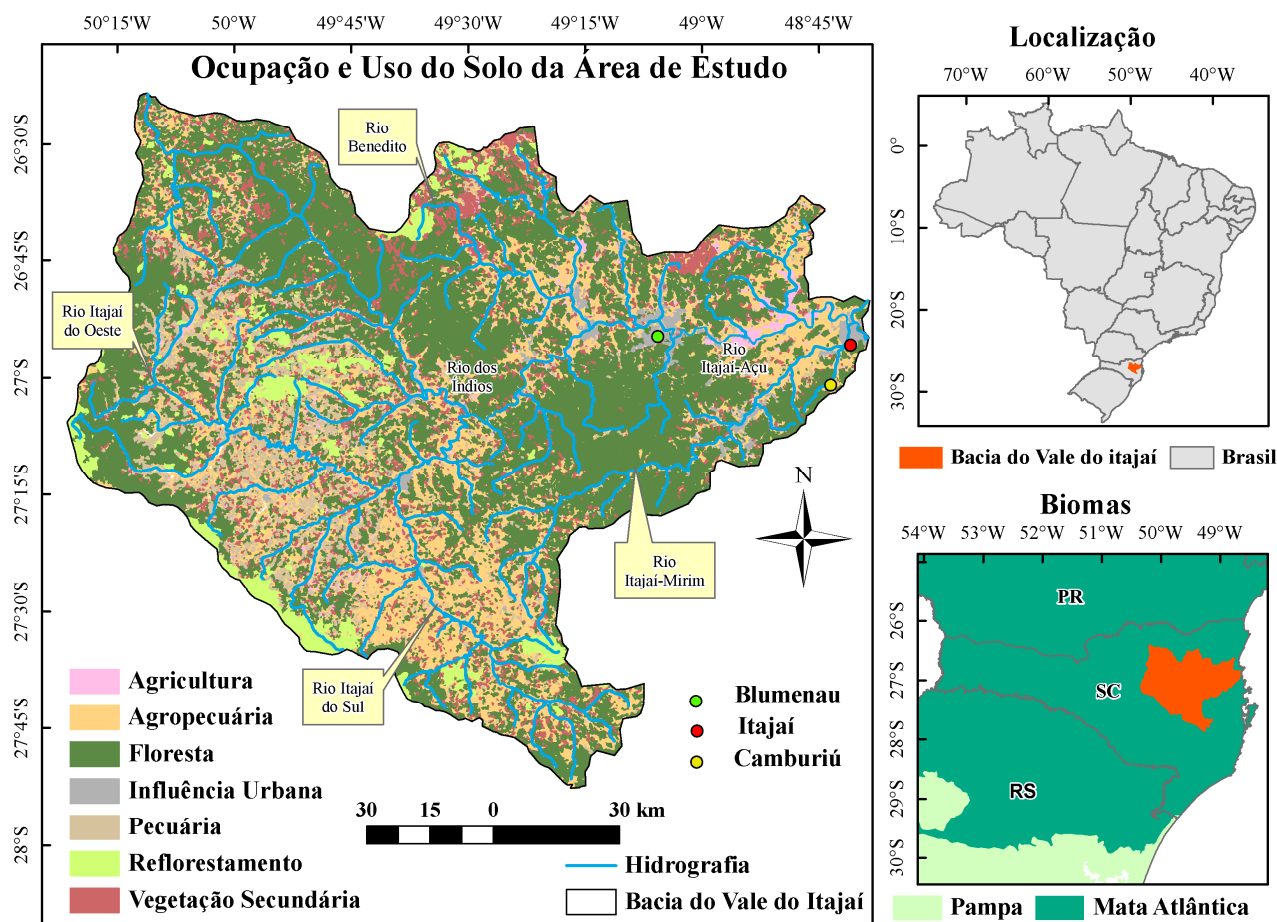


Figura 1 – Localização, uso e ocupação do solo, hidrografia e bioma da área de estudo e a principais municípios.

2.2 - Vegetação, população, uso do solo, altimetria, principais rios e clima do Vale do Itajaí

Segundo dados do IBGE 2010, toda a população residente nos municípios do Vale do Itajaí somam 1.355.936 pessoas, sendo que a maior população esta no município de Blumenau, com 309,214 habitantes, e a menor população esta no município de Presidente Nereu, com 2.284 habitantes. A maior densidade populacional pertence ao município de Blumenau, com 454

habitantes.km² e a menor fica com o município de Tabuleiro com aproximadamente 5 habitantes.km² (Figura 2).

A bacia do Vale do Itajaí está localizada em uma região com dois climas distintos, segundo a classificação de Köppen (Peel *et al.*, 2007), Cfa e Cfb. O clima Cfa (Temperado úmido com verão quente) ocupa quase toda a área da bacia e o Cfb (Temperado úmido com verão temperado) ocupa a porção norte-nordeste da bacia. Essa região sofre maior influência da Massa Tropical Atlântica e Massa Polar Atlântica. No inverno, com a perda de força das massas de ar que atuam sobre o continente do verão, a Massa Polar Atlântica ascende sobre a massa continental sendo a principal responsável, aliada a latitude, pelo clima temperado da região.

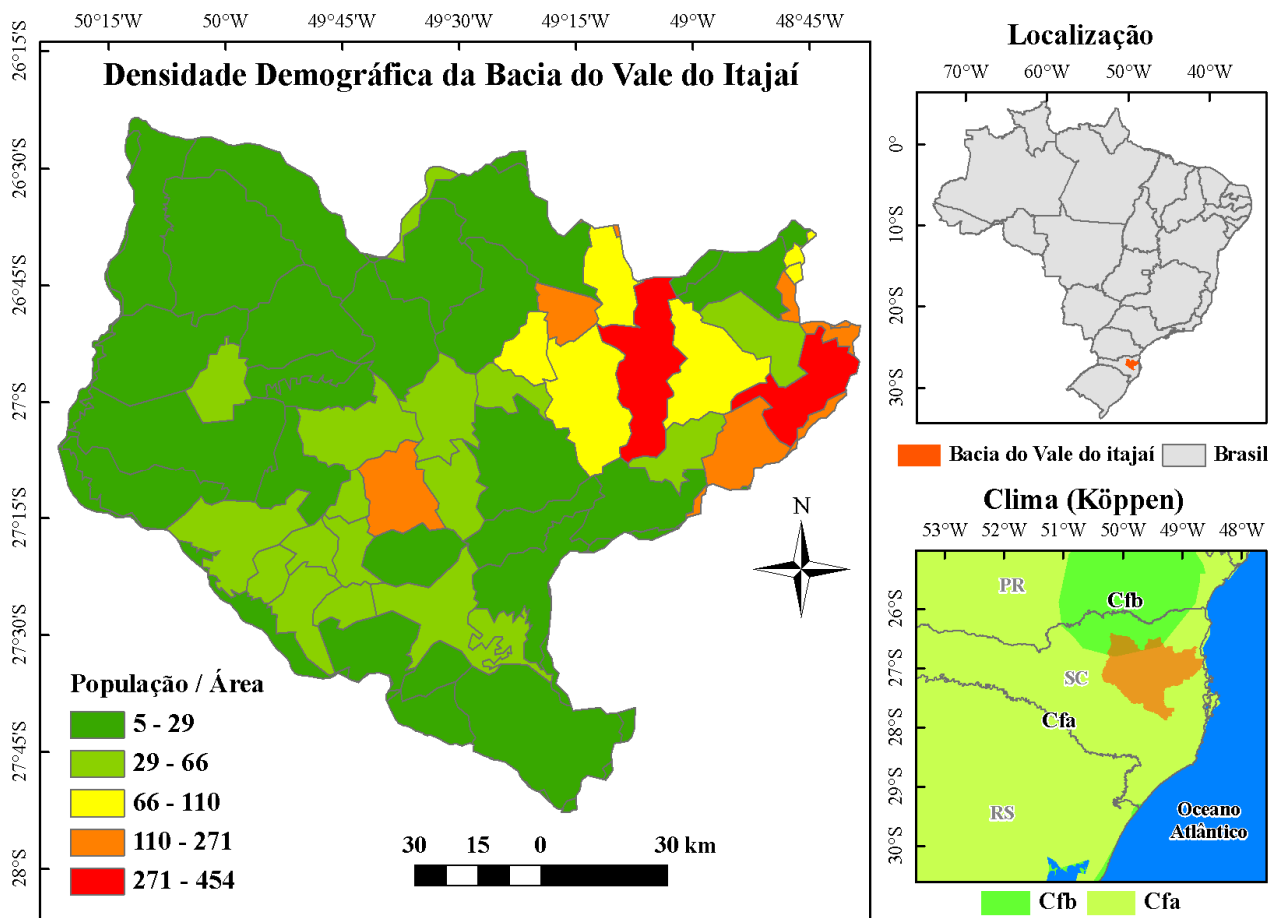


Figura 2 – Densidade de habitantes por quilometro quadrado na bacia do Vale do Itajaí.

A hipsometria da bacia do Vale do Itajaí é caracterizada, principalmente, pela extensa área de baixa altitude onde se concentram a maior parte dos alagamentos, sendo as regiões de maior altitude está localizada no município de Alfredo Wagner (1736 m) e a região de menor altitude localizada no município de Itajaí (1 m) (Figura 3).

Como pode ser observado na Figura 3, a região da bacia do Vale do Itajaí apresenta uma grande depressão (em azul anil na figura) em sua porção nordeste. Esse fator geomorfológico é determinante para a ocorrência de alagamentos nessa região, pois a água se acumula nessa grande “piscina natural” não tendo para onde a água escoar nem infiltrar devido ou a saturação do solo com

água ou impermeabilização do solo devido ao mal uso proveniente das atividade agropecuárias nessa região.

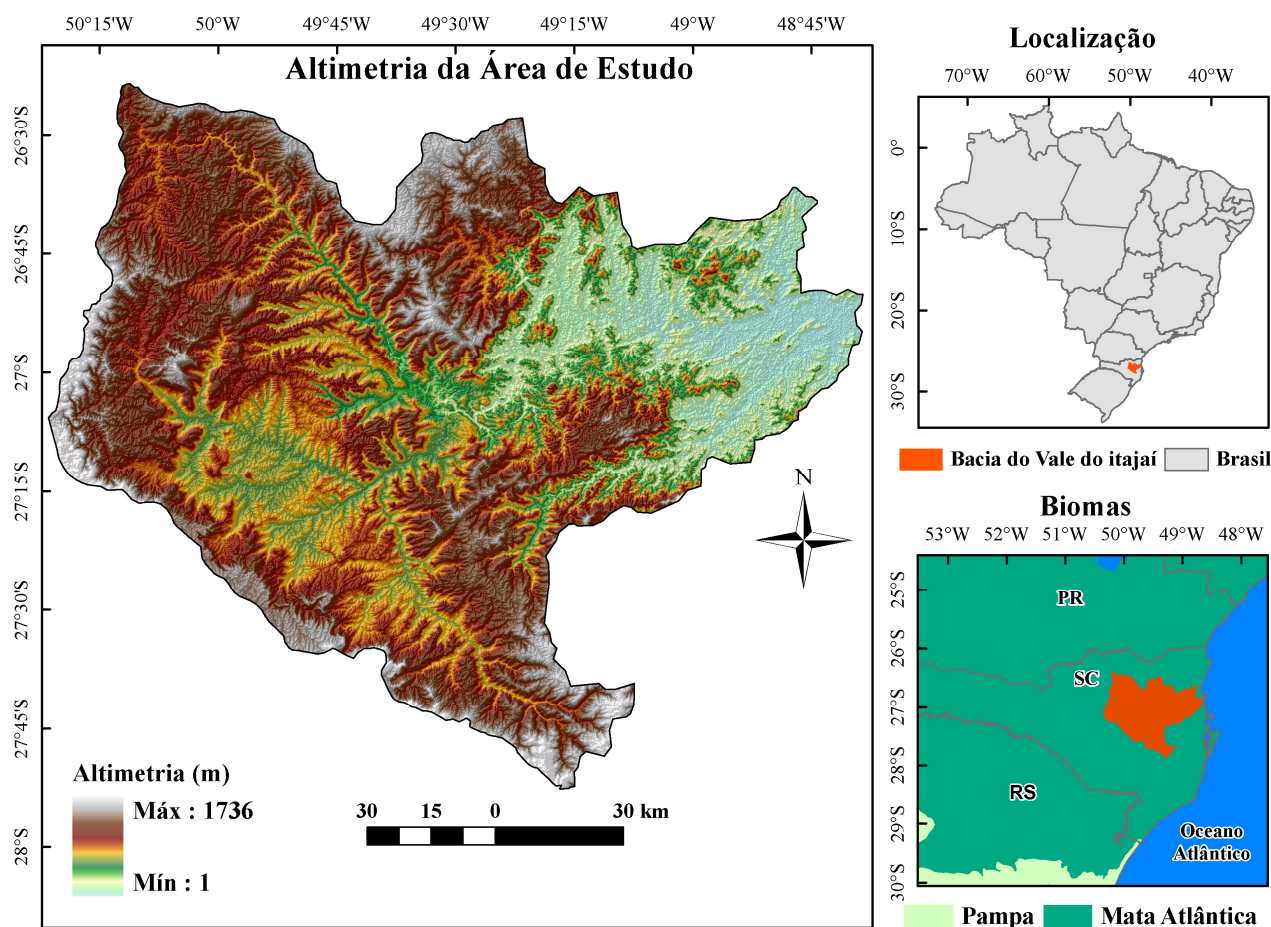


Figura 3 – Altimetria da bacia do Vale do Itajaí.

2.3 – Imagem utilizada no estudo - SRTM

Nesse trabalho foram utilizadas imagens da missão SRTM (Shuttle Radar Topology Mission) liderada pela Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (NASA, na sigla em inglês), também conhecida como Agência Espacial Americana. A missão SRTM teve como objetivo fazer o mapeamento topográfico de todo o planeta que ocorreu durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000. Os dados SRTM para o mundo todo, com resolução espacial de 90 metros está disponível para download gratuito no sítio da NASA. Como parte do projeto “Brasil em Relevo” a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) disponibiliza em seu sítio na internet as imagens SRTM para todo o Brasil, divididas por estado, prontas para uso no formato GeoTIFF e datum WGS1984.

2.4 – Metodologia para o estudo de linearidade da bacia

2.4.1 – Relação de bifurcação (R_b)

A relação de Bifurcação foi definida por Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (1)$$

em que, Nu é o número de segmentos de determinada ordem; $Nu+1$ é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

2.4.2 – Índice de sinuosidade (I_s)

O índice de sinuosidade é a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante (equivalente vetorial), medida em linha reta (Ev), e o comprimento do canal principal (L). O índice de sinuosidade possui classes, divididas conforme o Quadro 1.

$$I_s = \frac{100(L-ev)}{L} \quad (2)$$

Quadro 1 - Índices de sinuosidade divididos por classes.

Classe	Descrição	Limites (%)
I	Muito reto	< 20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	> 50

2.4.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

Para se calcular o comprimento médio dos segmentos fluvial, Lm , divide-se a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem Lu pelo número de segmentos encontrados na respectiva ordem Nu .

$$Lm = \frac{Lu}{Nu} \quad (3)$$

2.4.4 – Comprimento do canal principal

É a distancia que se estende ao longo do curso d'água desde a nascente principal até a desembocadura (Foz).

2.4.5 – Equivalente vetorial do Canal Principal (Ev)

O equivalente vetorial representa o comprimento de cada segmento fluvial de determinada ordem, em linha reta, que se estende do nascimento ao término do referido canal.

$$Ev = \text{distância em km}$$

$$\text{Nascente} \rightarrow \text{Foz} \quad (4)$$

2.4.6 – Extensão do percurso superficial (Eps)

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como fisiográfico das bacias de drenagem. Durante a evolução do sistema de drenagem, a extensão do percurso superficial está ajustada ao tamanho apropriado relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco valor da densidade de drenagem.

$$Eps = \frac{1}{2 Dd} \quad (5)$$

em que, Eps representa a extensão do percurso superficial; Dd é o valor da densidade de drenagem ($\text{km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$).

2.4.7 – Gradiente dos Canais

Vem a ser a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os segmentos de qualquer ordem.

$$\text{Alt. Máx} - \text{Alt. Mín} = \text{Gradiente do Canal} \quad (6)$$

2.5 – Metodologia para o estudo de área da bacia

2.5.1 – Área da Bacia (A)

É toda área determinada normalmente em km^2 , drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. Determinando o perímetro da bacia, a área pode ser calculada com o auxílio do planímetro, de papel milimetrado, pela pesagem de papel uniforme devidamente recortado ou através de técnicas mais sofisticadas, com o auxílio do computador.

2.5.2 – Comprimento da Bacia

Várias são as definições a propósito do comprimento da bacia, acarretando diversidade no valor do dado a ser obtido. Entre elas podemos mencionar:

- Distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele. O ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro;
- Maior distância medida em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro;
- Distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro;
- Distância medida em linha reta acompanhado paralelamente o rio principal. Esse procedimento acarreta diversas decisões subjetivas quando o rio não é irregular ou tortuoso, ou quando a bacia de drenagem possui forma incomum.

2.5.3 – Relação entre o comprimento do rio principal e área da bacia

Esta fórmula demonstra notável consistência entre os dados, apesar da diversidade de condições ambientais envolvidas, permitindo que o comprimento geométrico do curso de água principal possa ser calculado conforme a seguinte expressão, proposta inicialmente por Hack (1957) apud Christofletti (1980).

$$Lm = 1,5A^{0,6} \quad (7)$$

em que, L é o comprimento do canal principal (km); A é a área da bacia (km^2).

2.5.4 – Forma da Bacia (*If*)

Após a delimitação da bacia, independentemente da escala, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc.) que possa cobrir da melhor forma possível a referida bacia hidrográfica. A seguir relaciona-se a área englobada simultaneamente pela duas com a área total que pode pertencer a bacia e ou a figura geométrica obtendo-se um índice de forma. Através da fórmula:

$$If = 1 \frac{(\text{área } KnL)}{(\text{Área } KuL)} \quad (8)$$

em que, *If* é o índice de forma; *K* é a área da bacia; *L* é a área da figura geométrica. Para esse método, quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

2.5.5 – Densidade dos rios (*Dr*)

Definido por Horto (1945) apud Christofolletti (1980) é a relação existente entre o numero de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão como, quilometro quadrado (km²).

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (9)$$

em que, *DR* é a densidade de rios (nº rios.(km²)⁻¹), *N* é o número de rios ou cursos de água, *A* é a área da bacia considerada (km²).

2.5.6 – Densidade de drenagem (*Dd*)

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem foi inicialmente definida por Horton (1945) apud Christofolletti idem, podendo ser calculada pela equação à frente.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (10)$$

em que, *Dd* é a densidade da drenagem km.(km²)⁻¹, *Lt* é o comprimento total dos canais (km), *A* é a área da bacia (km²).

2.5.7 – Coeficiente de manutenção (*Cm*)

Proposto por S. A. Schumm, em (1956), esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O referido autor considera-o como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser calculado através expressão, a fim de que seja significante na escala métrica.

$$Cm = \frac{1}{Dd} 1000 \quad (11)$$

em que, *Cm* é o coeficiente de manutenção, *Dd* é o valor da densidade de drenagem, expresso em metros.

2.6 – Metodologia para o estudo hipsométrico da bacia

2.6.1 – Coeficiente de Massividade (C_m) e o Coeficiente Orográfico(C_o)

É o coeficiente da divisão da altura média (A_m) do relevo da área pela superfície (A); e o coeficiente orográfico é a multiplicação a altura média da bacia pelo coeficiente de massividade.

$$C_m = \frac{A_m}{A} \quad (12)$$

$$C_o = A_m \cdot C_m \quad (13)$$

2.6.2 – Amplitude Altimétrica (H_m)

Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica. Este conceito, também denominado de “relevo máximo da bacia”. O ponto mais elevado da bacia deve ser considerado a média das cotas mais elevadas, pois o seu ponto alto não compreende toda porção mais elevada da bacia.

$$H_m = P1 - P2 \quad (14)$$

em que, $P1$ é o ponto mais alto, $P2$ é o ponto mais baixo da bacia hidrográfica.

2.6.3 – Relação de relevo (R_r)

Considera o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação do relevo (R_r) pode ser calculada dividindo: amplitude topográfica máxima (H_m) e a raiz quadrada da área da bacia (A).

$$R_r = \frac{H_m}{A^{0,5}} \quad (15)$$

2.6.4 – Índice de rugosidade (I_r)

O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (H) e a densidade de drenagem (D_d).

$$I_r = H \cdot D_d \quad (16)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte dos resultados foram obtidos por meio de equações numéricas e, a outra parte em um programa de Sistema de Informação Geográfica. Os resultados foram posteriormente descritos e transpostos em documentos cartográficos (Tabelas e Figuras - Mapas) visando um melhor entendimento e facilidade de compreensão do estudo realizado.

3.1 - Hierarquia fluvial e ordem dos canais na bacia do Vale do Itajaí

Strahler (1952) propõe uma ordenação que elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência. Segundo a classificação de Strahler (1952) o rio Itajaí compreende uma canal de 7ª ordem. A Tabela 1 descreve a quantidade de canais de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª e 7ª ordens e os seus respectivos comprimentos (km) e densidade.

Tabela 1 - Ordem dos canais, quantidade de canais, comprimento linear e densidade de canais por ordem na bacia do Vale do Itajaí.

	Ordem dos Canais							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
Quantidade	2514	1017	418	185	43	12	1	4190
km	5717,4	2811,9	1348,2	655	480,2	110,6	74,3	11197,8

3.2 - Análise linear da rede hidrográfica da bacia do Vale do Itajaí

3.2.1 – Análise da relação de bifurcação

Estudando o sistema de ordenação de Strahler (1952), Christofolleti (1980) concluiu que o resultado obtido na relação de bifurcação não pode ser, preferencialmente, inferior a 2. Estes valores, em sua maioria, devem variar entre 3 e 5. Na bacia do Vale do Itajaí a relação variou de 2,43 a 12 tendo uma média de 4,51 (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação de bifurcação da bacia do Vale do Itajaí.

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	Ordem 7	Média
	2,47	2,43	2,26	4,30	3,58	12,00	4,51

3.2.2 – Índice de sinuosidade

O índice de sinuosidade é de grande relevância para a análise dos cursos d'água, pois ele determina se o canal é formado por reta ou possui elevada sinuosidade.

O rio Itajaí, possui 44,53% de sinuosidade ficando na classe IV, conforme o Quadro 1, sendo considerado sinuoso, ou seja possui áreas bastante sinuosas no decorrer do seu percurso

3.2.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

O cálculo da relação entre o comprimento médio dos cursos d'água de cada ordem do rio Itajaí (Tabela 3) mostrou que há uma correlação positiva com o crescimento da ordem e o comprimento médio dos cursos d'água.

Tabela 3 – Relação entre o comprimento médio dos cursos d'água (LM) de cada ordem do rio Itajaí.

Ordem	Quantidade	%	km	LM
1	2514	60	5717,4	1,13
2	1017	24,27	2811,9	1,20
3	418	9,97	1348,2	1,12
4	185	4,41	655	1,06
5	43	1,02	480,2	0,98
6	12	0,28	110,6	1,08
7	1	0,02	74,3	1,09
Total	4190	100	11197,8	-

3.2.4 – Comprimento do canal principal

No cálculo do canal principal foi considerado o curso d'água principal que percorria a maior distância entre a nascente e sua respectiva foz. O rio Itajaí-açu e seus tributários possuem suas principais nascentes em regiões com altitudes que variam de 1 m a 1736 m.

O rio Itajaí-açu possui aproximadamente 169,1 km, e seus tributários principais possuem: Rio Itajaí-mirim (134,9 km), Rio Itajaí do Oeste (102,89 km), Rio Itajaí do Norte (93,43 km), Rio Itajaí do Sul (53,58 km), Rio dos Cedros (64,69 km), Rio dos Índios (48,10 km) e Rio Luis Alves (43,12 km).

3.2.5 – Equivalente vetorial do canal principal

O cálculo do equivalente vetorial do curso d'água principal tem um valor interpretativo, pois resulta de seu confronto com os índices do comprimento médio e da declividade média.

Christofolletti (1980) cita que nos canais retinizados e com alta declividade, a grandeza do equivalente vetorial aproxima-se do comprimento, detendo por isso menor percurso.

No Vale do Itajaí verifica-se que há uma diferença significativa deste curso d'água, pois o mesmo apresenta 169,91 km de percurso e um equivalente de 110,5 km resultando-se 59,41 km de diferença. Este dado mostra o distanciamento da nascente do curso d'água até sua foz correspondendo ao controle morfométrico da bacia hidrográfica do rio Itajaí.

3.2.6 – Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial é uma relação que é dependente da extensão que o fluxo terá que percorrer desde o interflúvio da bacia até o talvegue.

Verificou-se que a densidade de drenagem (0,74 km) (Tabela 5), faz-se a divisão de 1km² pelo dobro da densidade de drenagem. A extensão do percurso superficial foi de 1,49 km, ou seja, sabe-se que, em média, a cada distância de 1490 m na vertente, haverá um canal para escoamento das águas superficiais da bacia do Vale do Itajaí.

3.2.7 – Gradiente e declividade por distância percorrida do canal

O cálculo do gradiente altimétrico do curso d'água é feito pela diferença altimétrica da nascente do rio em relação à sua respectiva foz.

A principal nascente do rio Itajaí está próxima do nível 777 m e sua foz a 1 m do nível do mar, seu gradiente é de 776 m distribuídos em 169,91 km de extensão do canal principal, considerando a partir da junção dos rios Itajaí do Oeste e do rio Itajaí do Sul. Considerando a partir da nascente mais distante da foz (Rio Itajaí do Oeste + Rio Itajaí-Açu), a extensão total do Rio Itajaí Açu é de 272,80 km.

O estudo deste parâmetro da morfometria linear do curso d'água é indicar a declividade dos canais livres, podendo ser medido todos os canais fluviais. Neste estudo calculou-se o gradiente dos principais tributários do rio Itajaí (Tabela 4). Neste parâmetro pode-se dividir o total do curso d'água percorrido pelo gradiente, resultando a declividade por km percorrido. O resultado para o rio Itajaí é $0,21 \text{ m.m}^{-1}$ de declive, comprovando uma característica de canal de relevo extremamente suave, o que corrobora para um sofrível escoamento superficial, resultando em enchentes quando ocorre precipitações de elevada intensidade.

Tabela 4 - Gradiente dos principais rios da bacia do Vale do Itajaí.

Nome do rio	Altitude (m)		Gradiente (m)	Comprimento Talvegue (km)	Declive (m.km^{-1})
	Nascente	Foz			
Itajaí-Açu ¹	777	1	776	284,06	0,36
Itajaí do Sul	400	344	56	53,58	0,95
Cedros	978	65	913	64,69	0,07
Índios	535	259	276	48,1	0,17
Itajaí Mirim	1026	25	1001	134,9	0,13
Itajaí do Norte	526	292	234	93,43	0,39
Itajaí do Oeste	761	407	354	102,89	0,29
Luis Alves	337	6	331	43,12	0,13

¹Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

3.3 - Análise areal da bacia do Vale do Itajaí

3.3.1 – Área da bacia

Entende-se por área de bacia hidrográfica como toda região drenada pelo mesmo conjunto de canais livres naturais ou não, sendo os seus limites delimitados pelos divisores d'água (interflúvios; divisores de drenagem). Os cursos d'água delimitados dentro deste perímetro escorrem em direção do declive, direcionando-se para sua foz no curso d'água principal e este para o. Neste estudo, com base em imagens SRTM, verificou-se que a bacia do Vale do Itajaí possui uma área de 14944,6 km^2 , perímetro de 696,9 km (Tabela 5).

Tabela 5 – Área e perímetro dos principais rios do Vale do Itajaí.

Nome do rio	Área (km ²)	Perímetro (km)	Comprimento do Rio (km)
Itajaí do Sul	2052,5	256,2	53,58
Cedros	1666,3	189,4	64,69
Índios	628,5	114,9	48,1
Itajaí Mirim	1674	273,4	134,9
Itajaí do Norte	2687	298,7	93,43
Itajaí do Oeste	3054,5	300,1	102,89
Luis Alves	500,6	104,3	43,12
Itajaí-Açu	14944,6	696,9	284,06

3.3.2 – Comprimento da bacia

Com o estudo analítico dos possíveis comprimentos da bacia do Vale do Itajaí (Figura 4), verificou-se alguns parâmetros de relevância com relação às distâncias verificadas na área de abrangência da bacia:

- Reta formada entre os pontos A-B, verifica-se a maior distância encontrada em linha reta na bacia do Vale do Itajaí até a foz principal;
- Reta formada entre os pontos A-C, é o eixo vetorial, determinando a reta longitudinal da bacia hidrográfica do vale do Itajaí;
- Reta formada entre os pontos A-D, é distância da foz a nascente da bacia hidrográfica do vale do Itajaí;
- Reta formada entre os pontos A-E, é à distância do ponto mais baixo (1 m) até o ponto de maior altitude (1736 m) da bacia hidrográfica do vale do Itajaí;
- Reta formada entre os pontos F-G, é a reta transversal ao sentido de escoamento da região, representando a maior largura da bacia hidrográfica do vale do Itajaí (Tabela 6).

Tabela 6 – Distâncias de segmentos lineares entre pontos extremos na bacia do Vale do Itajaí.

Retas	Distância entre os pontos (km)
A - B	169,9
A - C	168,2
A - D	106,7
A - E	119,7
F - G	186,1

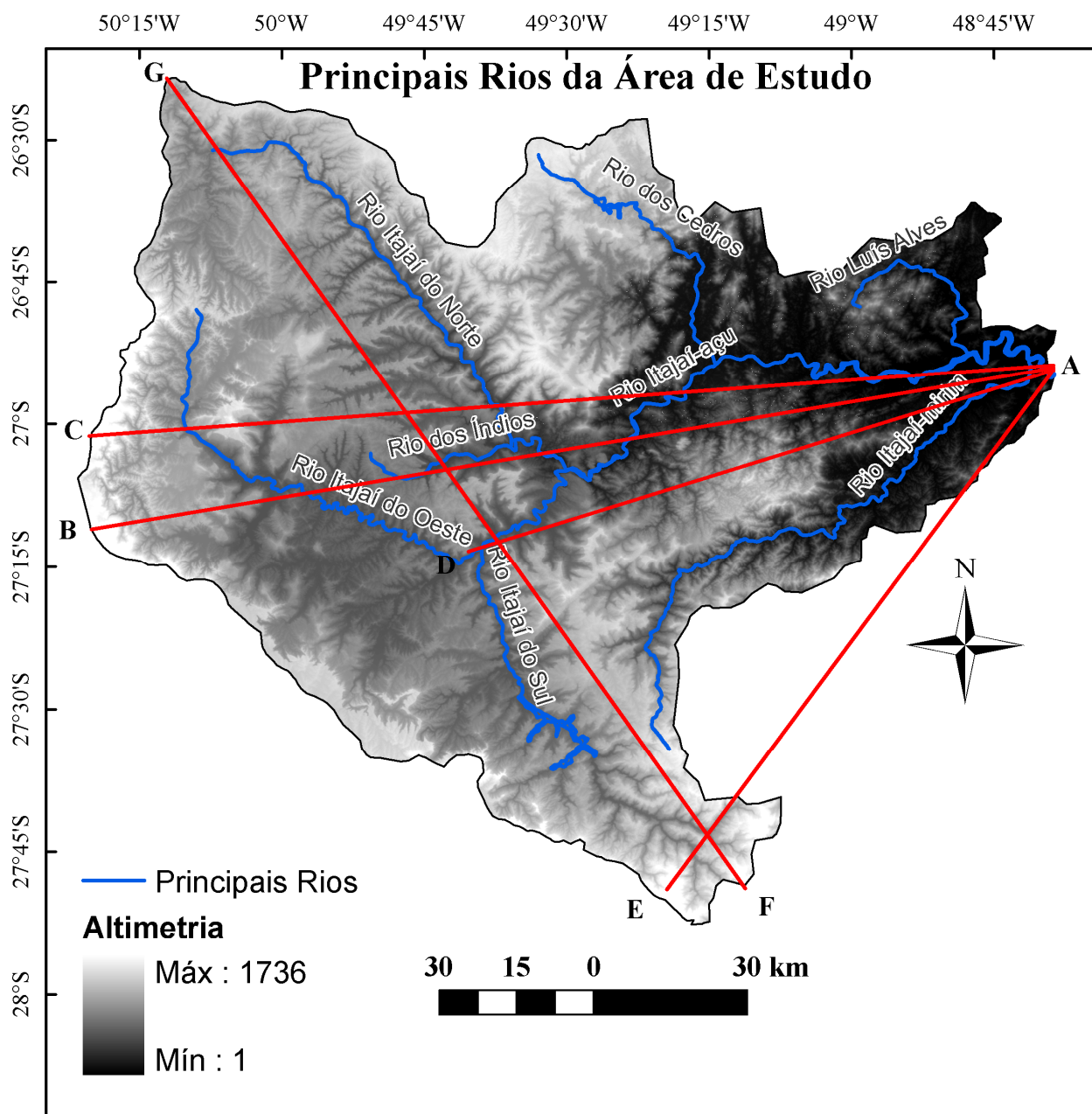


Figura 4 - Mapeamento do estudo areal da bacia do Vale do Itajaí no estado de Santa Catarina.

3.3.3 – Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia

A relação entre a área da bacia (14944,6 km²) e o percurso do canal principal (284,06 km), a relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia é de 13450,14 (km).

Esta fórmula demonstra notável consistência entre os dados, apesar da diversidade de condições ambientais envolvidas, permitindo que o comprimento geométrico do curso de água principal possa ser calculado. Na Tabela 7 é apresentada a relação entre o comprimento dos principais tributários do rio Itajaí e suas respectivas áreas de drenagem.

Tabela 7 - Relação entre o comprimento do rio Itajaí, seus principais tributários e suas respectivas áreas de drenagem.

Nome da Bacia	¹ C.T. (km)	² AD (km ²)	Relação Direta Comprimento/Área (km.(km ²) ⁻¹)	³ CE (km)	⁴ DCER (km)	⁵ DCER (%)
Itajaí do Sul	53,58	2052,5	1847,25	145,70	92,12	63
Cedros	64,69	1666,3	1499,67	128,57	63,88	50
Índios	48,1	628,5	565,65	71,63	23,53	33
Itajaí Mirim	134,9	1674	1506,6	128,93	-5,97	-5
Itajaí do Norte	93,43	2687	2418,3	171,26	77,83	45
Itajaí do Oeste	102,89	3054,5	2749,05	184,95	82,06	44
Luis Alves	43,12	500,6	450,54	62,49	19,37	31
Itajaí-Açu	284,06	14944,6	13450,14	479,49	195,43	41

¹ C.T. – Comprimento do Talvegue, medido segundo a shape dos rios do Brasil disponibilizado em www.ana.gov.br.

²AD – Área de Drenagem. ³CE – Comprimento Estimado a Partir da Área, pela equação sete, no item 2.5.3. ^{4,5} DCER – Diferença entre o Comprimento Estimado e Real.

3.3.4 – Forma da bacia

O processo para determinação da forma da bacia é simples, podendo-se determinar a forma utilizando-se de figuras geométricas simples como ponto de referência e verificando-se em qual forma geométrica (triângulo, retângulo, quadrado, círculo, etc) se adapta melhor a forma da bacia hidrográfica. A forma geométrica da bacia hidrográfica pode determinar mudanças do canal, pois conforme sua forma seus fluxos que provocam enchentes podem ser representativos.

A forma geométrica que mais se encaixa com a forma da bacia é a triangular. Ressalta-se que a forma geométrica que mais se aproxima de 0 é a que mais se encaixa ao formato da bacia. Obteve-se uma diferença resultados calculados de 0,83.

3.3.5 – Densidade de rios

No cálculo da densidade de rios, utiliza-se dividir o número de rios pela área da bacia hidrográfica obtendo-se a quantidade de cursos d'água por km², ou seja, pode-se verificar se a bacia é bem servida de boa rede de canais ou não. Sua importância é fundamental, pois através deste parâmetro ocorre a representatividade do comportamento hidrográfico dentro de seus aspectos fundamentais, a capacidade de gerar novos canais de drenagens. A densidade de rios no Vale do Itajaí foi de 0,26 cursos d'água por quilômetro quadrado da bacia (Tabela 8). Uma bacia é considerada bem drenada quando se tem um canal por km². A densidade de rios nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do rio Itajaí são mostradas na Tabela 8.

Tabela 8 - Densidade de rios bacia do Vale do Itajaí e das bacias dos seus principais tributários.

Nome do rio	Área da bacia formada pelo rio (km ²)	Número de canais no rio	Densidade de rios (rios.(km ²) ⁻¹)
Itajaí do Sul	2052,5	471	0,23
Cedros	1666,3	375	0,23
Índios	628,5	147	0,23
Itajaí Mirim	1674	482	0,29
Itajaí do Norte	2687	674	0,25
Itajaí do Oeste	3054,5	879	0,29
Luis Alves	500,6	112	0,22
Itajaí-Açu	14944,6	3140	0,26

3.3.6 – Densidade de drenagem

O parâmetro hidromorfológico da densidade de drenagem correlaciona o comprimento total do canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A importância da densidade de drenagem está ligada ao estudo de bacias hidrográficas, já que representa uma relação inversa com o comprimento dos rios. Entende-se que à medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

A densidade de drenagem pode variar de 0,5 km.(km²)⁻¹ (bacias mal drenadas devido a elevada permeabilidade ou precipitação escassa) a 3,5 km.(km²)⁻¹ (bacias excepcionalmente bem drenadas ocorrendo em áreas com elevada precipitação ou muito impermeáveis). Na bacia do Vale do Itajaí a densidade de drenagem é de 0,75 km de canal por 1 km² (Tabela 9). A densidade de drenagem nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do rio Itajaí são mostradas na Tabela 9.

3.3.7 – Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção tem o objetivo de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O resultado para a bacia do Vale do Itajaí demonstra que para um quilometro quadrado existe 749,29 m de canal (Tabela 9). O coeficiente de manutenção nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do rio Itajaí são mostradas na Tabela 9.

Tabela 9 - Densidade de drenagem e coeficiente de manutenção da bacia do Vale do Itajaí e das bacias dos seus principais tributários.

Nome do rio	Comprimento total dos canais (km)	Área da bacia formada pelo rio (km ²)	Densidade de drenagem (km.(km ²) ⁻¹)	Coeficiente de manutenção (m ² .m ⁻¹)
Itajaí do Sul	1513,9	2052,5	0,74	737,59
Cedros	1207,1	1666,3	0,72	724,42
Índios	435,3	628,5	0,69	692,60
Itajaí Mirim	1294,8	1674	0,77	773,48
Itajaí do Norte	1950,6	2687	0,73	725,94
Itajaí do Oeste	2368,4	3054,5	0,78	775,38
Luis Alves	368,79	500,6	0,74	736,70
Itajaí-Açu	11197,8	14944,6	0,75	749,29

3.3 - Análise e estudo hipsométrico da bacia do Vale do Itajaí

3.4.1 – Coeficiente de massividade e coeficiente orográfico

Entende-se por coeficiente de massividade o quociente da divisão da altura média do relevo da área pela sua superfície. Já o coeficiente orográfico é a combinação do valor da altura média da bacia e o valor do coeficiente de massividade. Este parâmetro facilita a compreensão das deformidades geomorfológicas da bacia (Tabela 10). O coeficiente de massividade e orográfico nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do rio Itajaí são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficiente de massividade e orográfico da bacia do Vale do Itajaí e das bacias de seus principais tributários.

Nome do rio	Amplitude altimétrica (m)	Altura média (m)	Coeficiente		Altitude (m)	
			Massividade	Orográfico	Máxima	Mínima
Itajaí do Sul	1402	681	0,33	225,95	1736	334
Cedros	1005	643	0,39	248,12	1057	52
Índios	595	508	0,81	409,99	842	247
Itajaí Mirim	1111	373	0,22	83,11	1112	1
Itajaí do Norte	1216	634	0,24	149,59	1354	138
Itajaí do Oeste	1013	621	0,20	126,25	1338	325
Luis Alves	800	156	0,31	48,61	801	1
Itajaí-Açu	1735	497	0,03	16,53	1736	1

3.4.2 – Amplitude altimétrica máxima da bacia

Entende-se por amplitude altimétrica máxima da bacia hidrográfica a diferença entre o ponto de máxima elevação e o ponto de menor elevação, sendo uma bacia possui diversos pontos culminantes devendo-se escolher o ponto mais elevado, mesmo se este ponto for próximo à foz da área estudada. Na bacia do Vale do Itajaí o ponto de maior elevação esta localizado no município de Alfredo Wagner, com 1736 m, e a cota mínima situa-se na foz do rio Itajaí com 1 m em relação ao

nível do mar. A amplitude altimétrica máxima na bacia do vale do Itajaí é de 1735 m (Tabela 10 – tabela do item anterior). A amplitude altimétrica máxima nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do rio Itajaí são mostradas na Tabela 10.

3.4.3 – Relação de relevo

Relação de relevo consiste no relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente a principal linha de drenagem. Os dados obtidos estão representados na Tabela 11. A relação de relevo nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do rio Itajaí são mostradas na Tabela 11.

3.4.4 – Índice de rugosidade

O parâmetro hipsométrico do índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem. A Tabela 11 mostra os resultados obtidos na bacia do Vale o Itajaí e dos seus principais tributários.

Tabela 11 - Índice de rugosidade da bacia do Vale do Itajaí e das bacias de seus principais tributários.

Nome do rio	Amplitude altimétrica (m)	Densidade de drenagem (km.(km ²) ⁻¹)	Índice de Rugosidade	Relação de Relevô
Itajaí do Sul	1402	0,74	1034,10	16,87
Cedros	1005	0,72	728,04	16,29
Índios	595	0,69	412,10	15,99
Itajaí Mirim	1111	0,77	859,33	10,78
Itajaí do Norte	1216	0,73	882,74	11,68
Itajaí do Oeste	1013	0,78	785,46	10,65
Luis Alves	800	0,74	589,36	22,66
Itajaí-Açu	1735	0,75	1300,01	9,32

3.4 - Sumário hidromorfométrico da bacia do Vale do Itajaí

Os resultados alcançados nos estudos lineares, areal e hipsométrico foram sumarizados na Tabela 12.

Tabela 12 - Análises hidromorfológicas da bacia do Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina.

Hidromorfologia da bacia do Vale do Itajaí	Valores Obtidos
Ordem dos canais na bacia	7
Relação bifurcação (média)	4,51
Índice de sinuosidade (divagante)	44,53%
Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem	Tabela 3
Comprimento do canal principal	284,06 km
Equivalente vetorial	59,4 km
Gradiente do canal principal	776 m
Declividade média do canal principal	0,36 m.km ⁻¹
Área da bacia	14944,6 km ²
Perímetro	696,9 km
Comprimento da bacia	Tabela 6, Figura 4
Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia	13450,14 km.(km ²) ⁻¹
Forma da bacia	Triangular; 0,83
Densidade de rios	0,26 rios.km ²
Comprimento total dos canais	20336,9 km
Densidade de drenagem	0,75 (km.(km ²) ⁻¹
Coefficiente de manutenção	749,29 (m ² .m ⁻¹)
Coefficiente de massividade	0,03 km
Coefficiente Orográfico	16,53 m
Amplitude altimétrica máxima da bacia	1735 m
Relação de relevo	9,32 m
Índice de rugosidade	1300,1 m

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho, pôde-se constatar a eficácia do sensoriamento remoto e do Sistema de Informações Geográficas na delimitação e análise de bacias hidrográficas, bem como o estudo de suas redes de drenagem.

Quanto ao estudo da linearidade da bacia foi possível observar que o rio principal apresenta um traçado muito reto na relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante (equivalente vetorial). Também, foi possível observar que no estudo do Gradiente de Canais os resultados foram elevados, em média 492, o que indica um relevo de acentuada declividade dos cursos d'água.

O estudo detectou que a bacia apresenta uma densidade de drenagem pouco drenada e que os alagamentos periódicos têm grande relação com o relevo. Outro fator relacionado as enchentes é que a bacia apresenta grande Amplitude Altimétrica (1735 m), o que facilita o escoamento das águas das chuvas que se concentram na região de mais baixa altitude da bacia que se apresenta como uma grande planície onde a água se aloca tornando essa região uma grande "bacia" natural. O município mais afetado pelas enchentes é o de Blumenau, que tem seus problemas com alagamentos acentuados devido a grande área urbanizada desse município o que contribui para a impermeabilização. Outro fator culminante e também de origem antrópica, é a atividade

agropecuária que toma conta dessa região. A atividade pecuária é a maior responsável pela compactação dos solos brasileiros, e conseqüentemente, também na região do Vale do Itajaí.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, E.P. de; TELES, M.G.L.; LAGO, W.J.S. (2009). Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25 – 30 abril 2009, INPE, v. 1, pp. 4631 – 4638.

BRAUN, P. D. K.; VIBRANS, A. C.; PINHEIRO, A. (2008). desenvolvimento de um modelo de avaliação da capacidade de armazenamento de água na bacia do rio Itajaí – sc. REA – Revista de estudos ambientais v.10, n. 2, pp. 32-44.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980). “*Geomorfologia*”. 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher.188 p.

HORTON, R.E. (1945) “*Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*”. Bulletin of the Geological Society of America, Colorado, v. 56, pp. 275-370.

IBGE. (2010). “Dados do Censo 2010 publicados dia 04/11/2010”. Disponível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php > Acesso 03/2011.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. (2003): Simulação de cenários alternativos de uso da terra em ma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. R. Bras. Ci. Solo. 27: pp.727-733.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). Estados Unidos, 2010. Disponível em: <<http://www.asterweb.jpl.nasa.gov>>. Acesso em: 4 de julho de 2010.

NERY, J. T.; BALDO, M. C.; FERNANDES, M. de L. O. (2000). O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí. Acta Scientiarum 22(5), pp.1429-1435.

PEEL M.C., FINLAYSON B.L. & MCMAHON T.A. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, pp 1633-1644.

STRAHLER, A.N. (1952). “*Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*”. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 38, pp. 913-920.