

Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC

Elfride Anrain Lindner¹
Karla Gomig¹
Masato Kobiyama²

¹Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC
Rua Getúlio Vargas, 2125 - 89600-000 - Joaçaba - SC, Brasil
elfride.lindner@unoesc.edu.br; eng.karla@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro Tecnológico (CTC) – Campus Universitário – Trindade
88010-970 – Florianópolis – SC, Brasil
kobiyama@ens.ufsc.br

Abstract. This paper focuses on morphometric characterization and land use of Peixe river/SC watershed based on Landsat 7/ETM+ and CBERS images processing. The catchment area was divided in four sub-basins, corresponding to the gauging flow stations of Rio das Antas, Tangará, Joaçaba and Piratuba. The supporting software was *ArcView GIS* 8.2, geodetic and handheld GPS were used at field. The watershed morphological parameters and hypsometry were calculated resulting in: 5238 km² (area), 416 km (perimeter), 307 km (extension of principal river), altitudes 1350 m (max.), 387 m (min.), 876 m (mean) e 900 m (hypsometry). Compacity coefficient of 1.61, sinuosity index over 63%, slope of 2.8 m/km, 42 hours of time concentration were found. Soil use is distributed in 1.8% urban area, 35.5% grazing, 12% annual crops, 6.3% primary forest, 3.2% forest in regeneration, 40.4% reforestation and 1.1% of water bodies. The area of 482.4 km² (9.2%) has restriction regarding to slope (higher than 30%). All procedures were repeated for the other three sub-basins.

Palavras-chave: satélite images, watershed, morphometry; imagens de satélite, bacia hidrográfica, morfometria.

1. Introdução

A qualidade e quantidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica são reflexos do uso e ocupação do seu solo. A Carta Européia da Água estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve inserir-se no âmbito da bacia hidrográfica natural e não no das fronteiras administrativas e políticas (Costa e Lança, 2001). No Brasil a Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 estabelece em seus fundamentos que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Para a elaboração de projetos de prevenção e defesa contra eventos hidrológicos como estiagens e enchentes, que ocorrem na bacia hidrográfica, os índices morfométricos e a classificação do uso do solo são importantes pressupostos. A análise dos parâmetros morfométricos pelo emprego de técnicas de processamento digital de imagens e Sistema de Informação Geográfica (SIG) constitui um instrumento adequado para a análise ambiental. A compartimentação geomorfológica no ambiente computacional auxilia o diagnóstico ambiental e estudos para a realocação das atividades humanas (Panquestor et al., 2002).

Os objetivos da presente pesquisa foram: delimitar sub-bacias definidas por seções de controle de vazão; quantificar os parâmetros morfométricos de cada sub-bacia; analisar o relevo do solo com o traçado da hipsometria por sub-bacia e classificar uso e ocupação do solo na bacia rio do Peixe/SC necessários aos estudos hidrológicos, tendo por base imagens de satélite e ferramentas SIG.

2. Materiais e Métodos

A bacia rio do Peixe destaca-se como manancial de abastecimento público e industrial no meio-oeste de Santa Catarina e está compreendida entre os paralelos S 26°36' e 27°29' e os meridianos W 50°48' e 51°54'. O rio do Peixe é afluente da margem direita do rio Uruguai, que por sua vez, é tributário da bacia do rio da Prata (**Figura 1**).



Figura 1 – Localização do rio do Peixe/SC no sistema de drenagem da bacia do rio da Prata.

Para contemplar a totalidade da bacia rio do Peixe/SC foi composto um mosaico de quatro cenas de imagem do satélite Landsat 7/ETM+: órbita/ponto 221/078; 221/079; 222/078 e 222/079 de 12/08/2001. A imagem ortorretificada, nível 1 G de correção geométrica, com pixel de 30 m nas bandas de 1 a 7 e de 15 m na banda pancromática – banda 8,) em formato “GeoTiff” de 11 bits foi conformada ao datum horizontal *South American Datum 1969* (SAD’69 – IBGE), meridiano central 51° 00’00” W) e ao datum vertical de Imbituba (SC) (Comitê Rio do Peixe, 2002).

No Laboratório de Topografia da Unoesc os arquivos dos mapas digitais planialtimétricos foram processados com utilização do software *ArcView GIS 8.2* para obtenção de medidas e leituras (Gomig, 2006). Aparelhos de sistema de posicionamento global (GPS) geodésico e de navegação serviram para o georreferenciamento de pontos de interesse. As curvas de nível digitalizadas (escala 1:100.000) foram obtidas do IBGE através da *homepage* da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (Epagri, 2005).

Foram selecionadas quatro estações fluviométricas em razão da série histórica de dados de vazão disponibilizados *online* pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2006) identificadas pelo nome e código da respectiva estação fluviométrica, a seguir: Rio das Antas, 72715000; Tangará, 72810000; Joaçaba, 72849000 e Piratuba, 72980000. As áreas de contribuição até a seção de controle de vazão considerada formam as sub-bacias objeto do estudo.

As fórmulas (**Tabela 1**) para obtenção dos parâmetros morfométricos são encontradas em Villela e Mattos (1975), Christofolletti (1980); Pedrazzi (1999); Costa e Lança (2001); Alves e Castro (2003) e Cardoso (2006). As aplicações foram feitas para as sub-bacias: P1 até Rio das Antas, P2 até Tangará, P3 até Joaçaba e P4 até Piratuba, equivalente a toda a bacia do rio do Peixe. A representação gráfica do relevo médio de uma bacia com base nas altitudes médias e áreas entre curvas de nível (hipsometria) foi traçada para as quatro sub-bacias.

Tabela 1 – Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização da bacia e do rio.

Parâmetros para a bacia			
Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Coeficiente de forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$	Densidade hidrológica (Dh , rios/km ²)	$Dh = \frac{n}{A}$
Relação de relevo da bacia (Rr , %)	$Rr = \frac{\Delta a}{L}$	Densidade de drenagem (Dd , km/km ²)	$Dd = \frac{\sum L}{A}$
Lado maior retângulo equivalente (L , km)	$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1,12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$	Lado menor retângulo equivalente (l , km)	$l = \frac{P}{2} - L$
Coeficiente de manutenção (Cm , m ² /m)	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$	Extensão média (I , km) do escoamento superficial	$I = \frac{A}{4 \sum L}$
Índice de Sinuosidade (Is , %)	$Is = \frac{100(L - E_v)}{L}$	Índice de Sinuosidade (Is , m/m)	$Is = \frac{L}{dv}$
Declividade do canal (álveo) (S , m/km)	$S = \frac{\Delta H}{L}$	Tempo de concentração (Giandotti, horas)	$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$

Onde: P = perímetro; A = área; L = comprimento do canal principal; n = número de canais; E_v = comprimento do canal em linha reta ou dv = distância vetorial; Δa = amplitude altimétrica da bacia, ΔH = diferença de altitude (canal) e \bar{H} = altura média (cota média – cota mínima).

A classificação do uso e ocupação do solo contemplou a utilização de bandas monocromática, razão da escolha de imagem do programa “Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS)”, ano de 2003, escala 1:25.000, com pixel de 20 m, pela facilidade na identificação de cores dessa imagem pelo *ArcView*. Foi realizado o georreferenciamento da imagem e a classificação supervisionada em sete classes, cada uma delas correspondendo a uma faixa radiométrica. Para a aptidão do solo foram adotadas cinco classes representadas pelas porcentagens de 0 a 5%; de 5 a 10%, de 10 a 30%, de 30 a 100% e acima de 100% correspondendo às áreas de preservação permanente (Gomig, 2006).

2. Resultados e Discussão

A **Figura 2** mostra o traçado das quatro sub-bacias inicialmente na imagem e depois no recorte representando as respectivas áreas de drenagem de cada sub-bacia.

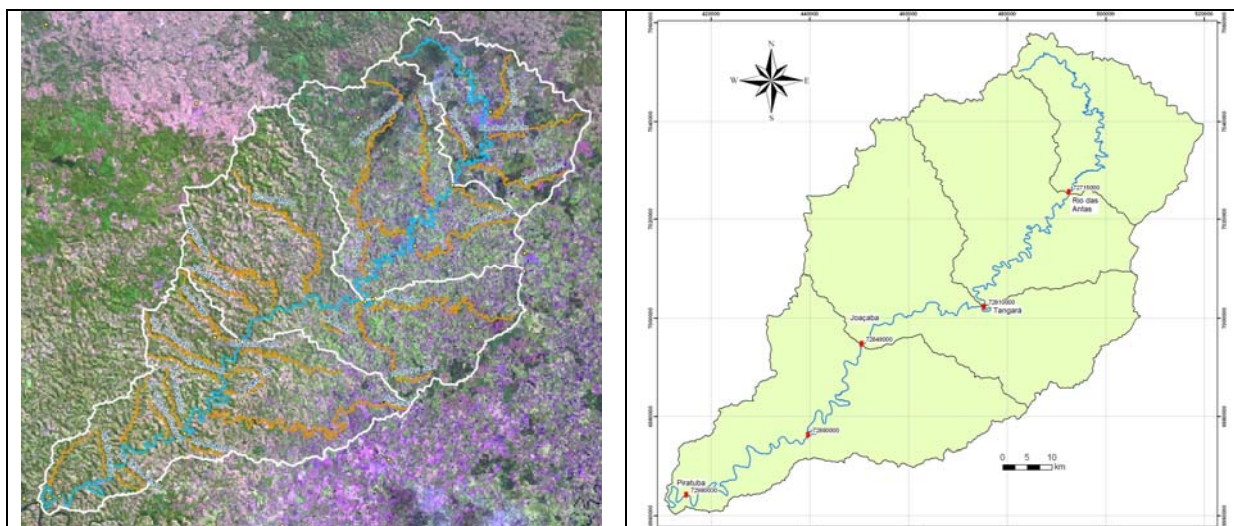


Figura 2 - Traçado das quatro sub-bacias componentes da bacia rio do Peixe/SC.

A altimetria para cada sub-bacia estudada isoladamente pode ser vista na **Figura 3** nas seções de controle de vazão de Rio das Antas (P1), Tangará (P2), Joaçaba (P3) e Piratuba (P4), equivalente a toda a bacia do rio do Peixe.

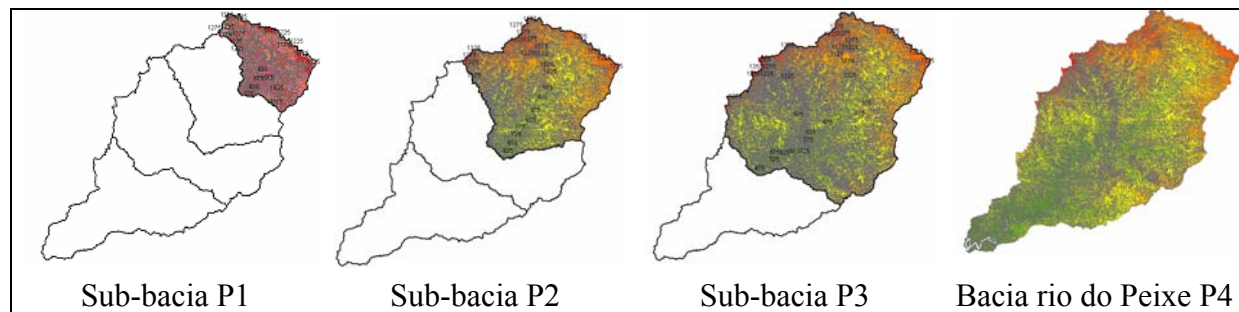


Figura 3 – Delimitação progressiva das sub-bacias componentes da bacia rio do Peixe/SC.

A bacia rio do Peixe/SC é representada pelas cores hipsométricas em curvas de nível de 50 em 50 m (**Figura 4**).

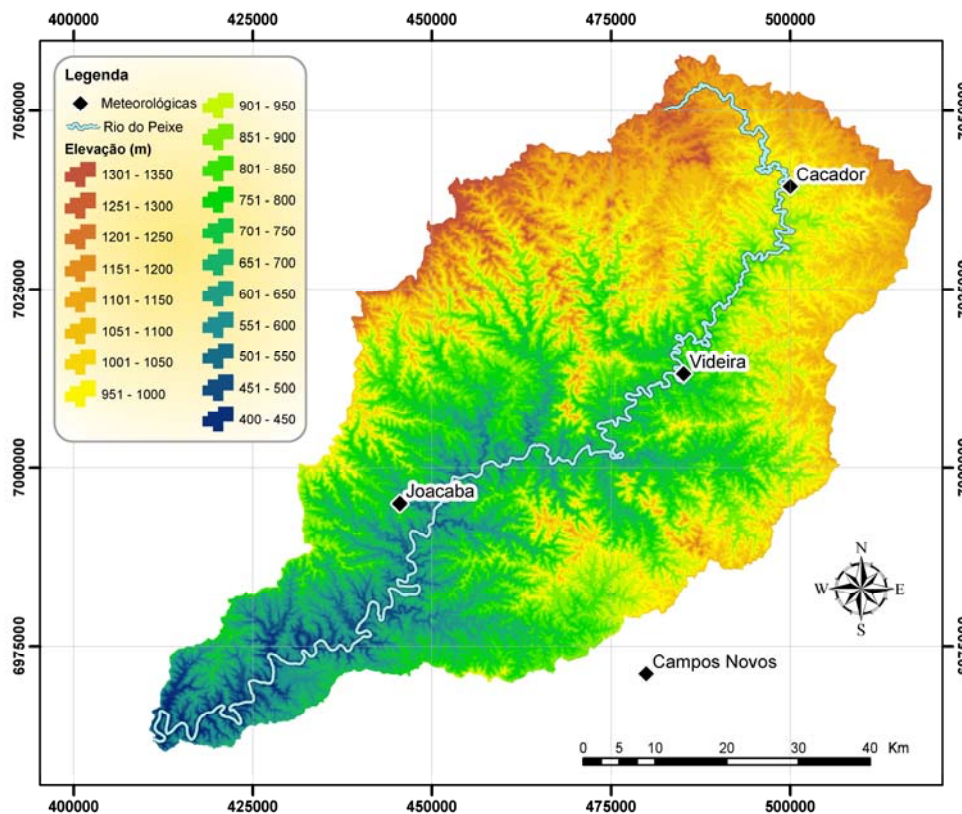


Figura 4 – Hipsometria indicando os níveis altimétricos na bacia rio do Peixe/SC.

A altitude máxima da bacia é de 1350 m, delimitada pela serra da Taquara Verde na porção noroeste do estado de Santa Catarina. A altitude máxima do canal principal, rio do Peixe é de 1250 m. As curvas hipsométricas das sub-bacias P1, P2, P3 e P4 (toda a bacia rio do Peixe) e respectivas altitudes máximas, mínimas, medianas e médias são mostradas na **Figura 5**.

O resumo dos parâmetros morfométricos calculados para cada uma das sub-bacias e para a bacia rio do Peixe/SC é apresentado na **Tabela 2**.

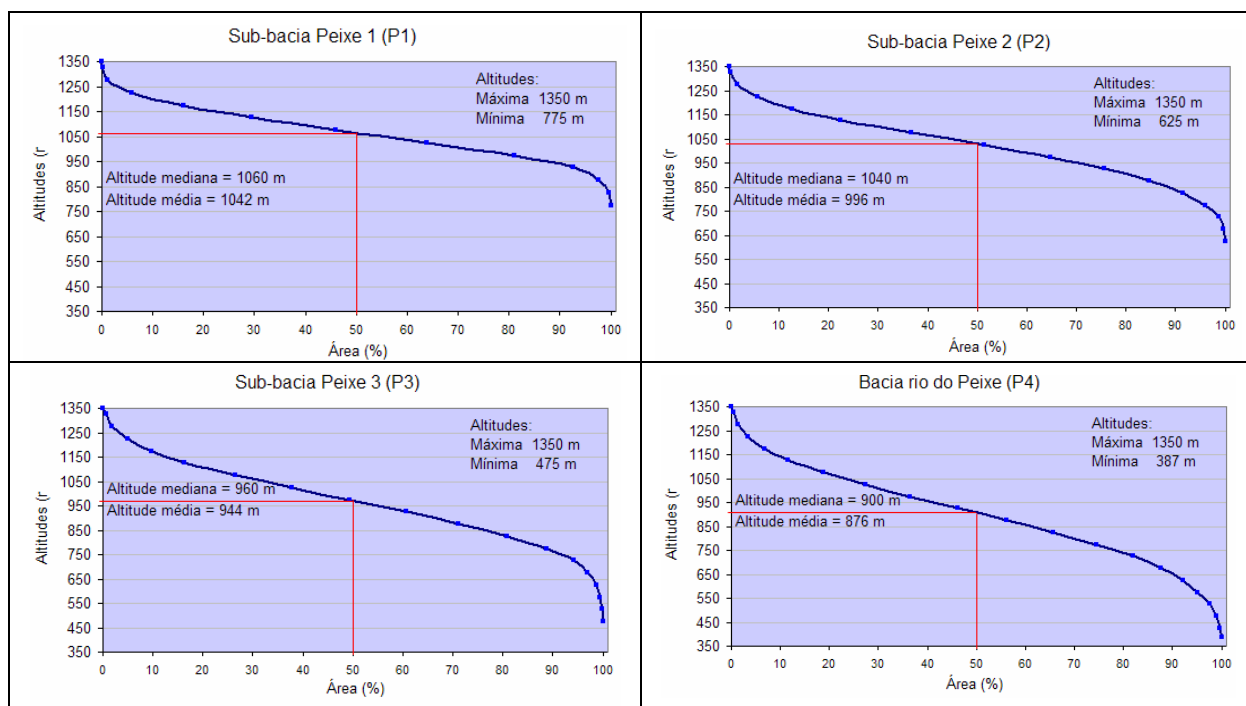


Figura 5 – Curvas hipsométricas das sub-bacias e bacia rio do Peixe e respectivas altitudes.

Tabela 2 – Resumo dos parâmetros morfométricos de cada sub-bacia e bacia rio do Peixe/SC

Parâmetro	P1	P2	P3	P4
Área (A , km ²)	801,07	2016,64	3721,09	5238,39
Perímetro total (P , km)	148,33	226,16	311,60	415,74
Extensão do rio principal (L , km)	87,53	156,55	198,35	307,41
Extensão do rio principal em linha reta (Ev , km)	27,06	48,69	64,24	113,25
Comprimento da malha fluvial ($\sum L$, km)	220,46	654,10	1335,74	1957,32
Número de rios (n)	20	53	105	156
Diferença de nível na bacia (Δa , m)	575	725	875	963
Diferença de nível no rio (ΔH , m)	475	625	775	863
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,47	1,41	1,43	1,61
Coefficiente de forma (Kf)	0,10	0,08	0,09	0,06
Índice de circularidade (Ic)	0,46	0,50	0,48	0,38
Densidade de drenagem (Dd , km/km ²)	0,28	0,32	0,36	0,37
Densidade hidrológica (Dh , rios/km ²)	0,02	0,03	0,03	0,03
Extensão média do escoamento superficial (I , km ² /km)	0,91	0,77	0,70	0,67
Índice de Sinuosidade (Is , m/m)	3,2	3,2	3,1	2,7
Índice de Sinuosidade (Is , %)	69,1	68,9	67,6	63,2
Índice de Pendência, relação de relevo (Rr , %)	6,5	4,6	4,4	3,1
Declividade do rio (S , m/km)	5,4	4,0	3,9	2,8
Altura média da bacia (\bar{H} , m)	267	371	469	489
Coefficiente de manutenção (Cm , m ² /m)	3634	3083	2786	2676
Retângulo equivalente (L , km)	61,04	90,89	126,35	178,53
Retângulo equivalente (l , km)	13,12	22,19	29,45	29,34
Tempo de escoamento (Giandotti, horas)	19	27	31	42

O aspecto não compacto da bacia com valor de Kc oscilando entre 1,41 (P2) e 1,61 (P4) indica a menor propensão à enchentes quando comparado a uma bacia circular ($Kc = 1$). O fator de forma Kf decrescendo de 0,11 a 0,06 confirma o estreitamento no formato da bacia de montante para jusante, indicando menores chances de picos elevados de enchentes na bacia. A característica alongada da bacia é reiterada pelo índice de circularidade máximo de 0,50.

Os baixos valores de densidade hidrológica ($Dh \approx 0,03$ rios/km²) e de drenagem (Dd de 0,3 a 0,4 km/km²) encontrados são devidos à contagem e medição apenas de 156 rios já codificados (Zanette, 2003) na bacia do Peixe. O valor não pode ser comparado com o índice de 0,5 km/km² que resultaria em bacia com drenagem pobre. Esses valores estão bem aquém dos recursos de visualização na imagem digital de 1:25.000 exigindo uma releitura. Na escala 1:100.000 a classificação segundo *Strahler* (Villega e Mattos, 1975) é rio de “quarta ordem”.

A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais segundo Lana (2001). O índice de sinuosidade obtido de 2,7 a 3,2 m/m enquadra o canal como tortuoso (valores superiores a 2,0). O mesmo índice em valor percentual superior a 60 corresponde a um rio classe V, muito sinuoso conforme classificação de Christofolletti (1981).

A relação de relevo da bacia (Rr de 3 a 6,5%) e a declividade do rio (mostram a predominância de áreas onduladas. Uma primeira classificação por faixa de declividade foi realizada com o uso da imagem de satélite CBERS. Essa interpretação incluiu a separação de áreas em cinco faixas de declividade, com um enfoque ambiental. Faixas de 30 a 100% são passíveis de utilização, porém não de parcelamento e as declividade superiores a 100% ou 45° são áreas de preservação permanente (APP). A **Tabela 3** mostra quatro classes em virtude de que as declividades superiores a 100%, ou áreas de preservação permanente, resultaram em 0,04 km², 0,22 km², 0,50 km² e 0,90 km² respectivamente para as sub-bacias de 1 a 4, sem valor percentual.

Tabela 3 – Aptidão do solo expressa em porcentagem de área em faixas de declividade

Declividades	Área P1, %	Área P2, %	Área P3, %	Área P4, %
0 - 5%	65,6	52,7	44,1	41,6
5 - 10%	12,3	13,7	14,3	14,3
10 - 30%	20,2	28,6	33,6	34,9
30 - 100%	1,9	5,0	8,0	9,2

A **Tabela 4** sumariza os valores percentuais de uso real do solo encontrados em cada uma das sub-bacias do rio do Peixe através da classificação supervisionada de sete temas, com o uso de imagem do satélite CBERS.

Tabela 4 – Uso real do solo, áreas obtidas com uso de imagem do satélite CBERS.

Classes	Área P1 (%)	Área P2 (%)	Área P3 (%)	Área P4 (%)
Mata Nativa	1,7	5,7	6,5	6,3
Transição	1,8	3,7	3,4	3,2
Reflorestamento	48,3	45,2	41,8	40,4
Campo	31,1	30,3	33,2	35,5
Cultura Anual	12,8	11,8	12,1	11,7
Corpos hídricos	1,8	1,7	1,8	1,8
Mancha Urbana	2,5	1,6	1,2	1,1

A sub-bacia de montante (P1) destaca-se pela área destinada ao reflorestamento e às culturas anuais, em detrimento da vegetação nativa. Também contempla o maior conglomerado urbano, representado pela cidade de Caçador (**Figura 5**). A sub-bacia P3 proporcionalmente atinge os melhores valores de preservação da mata nativa e em transição.

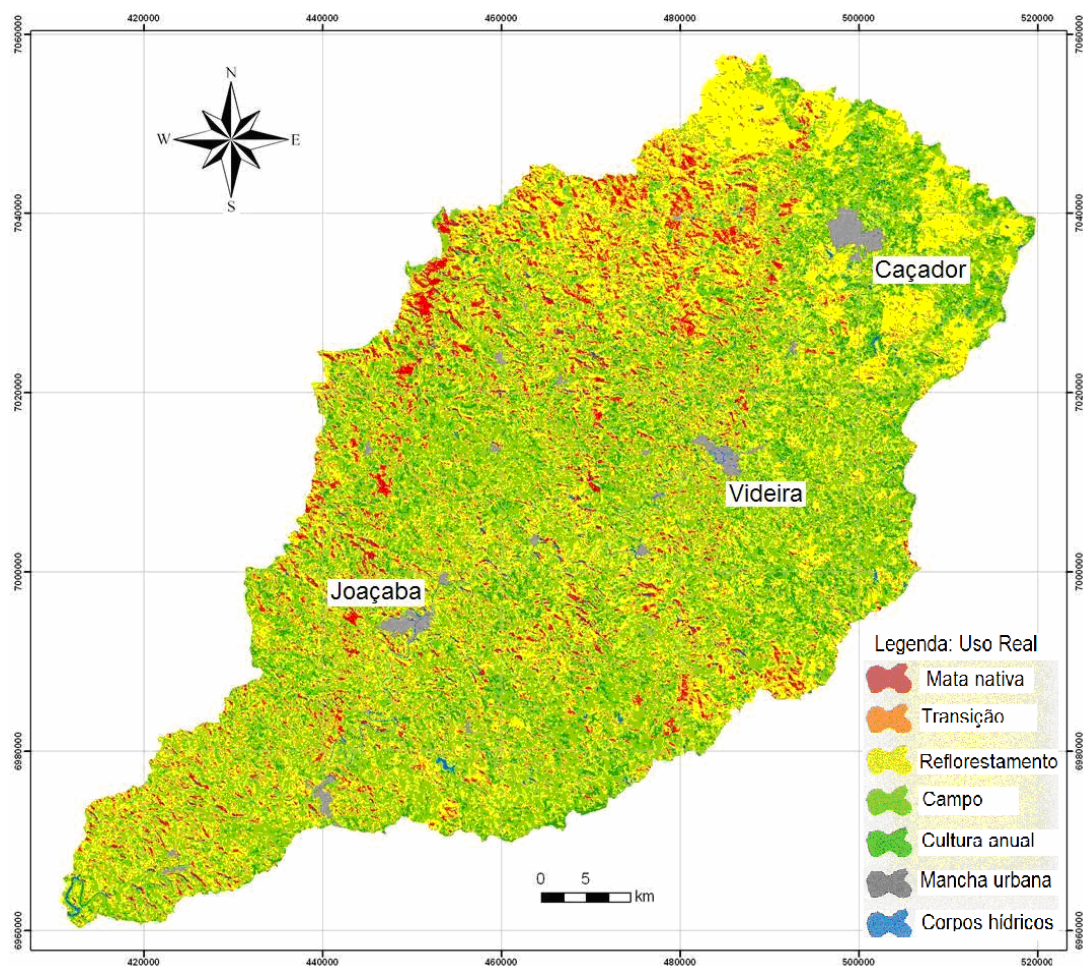


Figura 5 – Uso real do solo em sete classes na bacia rio do Peixe/SC.

Para a bacia rio do Peixe a soma da mata nativa e em regeneração alcança a percentagem de 9,5% (2002), inferior ao valor estadual de 29% em 1992 (Fatma, 1995) de florestas primárias e secundárias. Em comparação são ocupados 40,4% da área em reflorestamento (2002) contra a média de 4% em Santa Catarina (1992) (Fatma, 1995).

5. Conclusões

Os parâmetros morfométricos devem ser considerados no conjunto para bem caracterizar a bacia rio do Peixe. A comparação dos resultados obtidos indica que a qualidade de resolução das imagens de satélite Landsat 7 e CBERS e os recursos do sistema de informações geográficas permitem ampliar a leitura de informações, não esgotadas no presente trabalho.

A imagem CBERS facilita a identificação de cores pelo *ArcView*. A classificação do uso e ocupação do solo indicou para a bacia rio do Peixe: 331 km² de mata nativa (6,3%); 170 km² de mata em regeneração (3,2%); 2.115 km² destinados ao reflorestamento (40,4%); 1.858 km² de campo (35,5%); 612 km² aproveitados para cultura anual (12%); 92 km² ocupados por mancha urbana (1,8%) e os corpos d'água inundam a área de 60 km² (1,1%).

As faixas de declividade para a bacia foram: de 0 a 5%, 2.179 km² (41,6%); de 5 a 10%, 747 km² (14,3%); de 10 a 30%, 1.830 km² (34,9%); de 30 a 100%, 481 km² (9,2%) e com mais de 100% de declividade, ou seja, área de preservação permanente, 0,90 km². O ensaio deverá ser repetido para outros intervalos recomendados (Cardoso, 2006) para refinar a classificação por declividade.

Referências

Alves, J. M. P.; Castro, T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, V. 33, 2003.

Comitê rio do Peixe. **Sistema de Informações Geográficas (SIG) aplicados à Bacia Hidrográfica do rio do Peixe**. Convênio SDM/UNOESC 2801/2002-0. Joaçaba: SDM/UNOESC, 2002.

Costa, T. da; Lança, R. **Capítulo I. Hidrologia de Superfície**. Escola Superior de Tecnologia. Área de Engenharia Civil, Núcleo de Hidráulica e Ambiente. Universidade do Algarve. Faro, Portugal, 2001.

Gomig, K. **Classificação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio do Peixe/SC, utilizando imagem de satélite**. Estágio supervisionado II. Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Oeste de Santa Catarina. Joaçaba, 2006.

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). **Mapas digitais de Santa Catarina**. 2005. Disponível em:
<http://ciram.epagri.rct-sc.br/ciram/comum/produtos/mapoteca_digital/index.jsp>. Acesso em: 5 abr. 2005.

ENGESAT. **Ficha Técnica Resumida – C-BERS 1 e C-BERS 2 – Satélite Sino-Brasileiro de recursos terrestres**. Disponível em: <www.engesat.com.br/satelites/c-bers>. Acesso em: 14 jun. 2006.

Fundação de Meio Ambiente (Fatma). **Cobertura Vegetal do estado de Santa Catarina**. CIASC. Fatma. Cd-rom. Florianópolis. 1995.

Lana, C. E.; Alves, J. M. de P.; Castro, P. de T. A. **Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil**. Rem: Rev. Esc. Minas. [online]. Apr./June 2001, vol.54, no.2 [cited 16 June 2006], p.121-126. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200008&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0370-4467. Acesso em 25 abr. 2006.

Lazari, J. A. P. **ST 306 Hidrologia e Drenagem – Hidrografia**. CESET-UNICAMP. Centro Superior de Educação Tecnológica-Universidade Estadual de Campinas. 2004. Disponível em:
<<http://www.ceset.unicamp.br/~joaquiml/ST%20306/hidrografia-bacia.doc>>. Acesso em: 15 abr. 2006.

Panquestor, E. K; Carvalho Júnior, O. A. de; Leal, L. R.; Andrade, A. C. de; Martins, É. S.; Guimarães, R. F. **Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da bacia do rio Corrente – BA**. Espaço & Geografia, Vol.5, No1 (2002), 87:99 ISSN: 1516-9375

Pedrazzi, J.A. **FACENS – Hidrologia Aplicada**. Disponível em:
<<http://www.facens.br/site/alunos/download/hidrologia>>. Acesso em 15 fev. 2004.

Santa Catarina. SDM – Instituto CEPA. **Plano de gestão e gerenciamento da bacia do rio Araranguá. Análise das Características Físicas**. Florianópolis, 1997. Disponível em:
<www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/baixararquivo.jsp?id=113&NomeArquivo=VOL3.pdf>. Acesso em 2006.

Zanette, A. P. **Codificação dos cursos d'água do estado de Santa Catarina**. Projeto FATMA/GTZ de Cooperação Técnica Brasil/Alemanha. Florianópolis, 2003. CD-ROM e impresso.