

Estudo de comportamento espectral de alvos e análise multitemporal da região da foz do rio Itajaí – Santa Catarina

Raquel Kraisch
Julio Cesar Refosco
Alexander Christian Vibrans

FURB – Universidade Regional de Blumenau
Caixa Postal 1507 – 89010-971 - Blumenau-SC, Brasil
raquelkraisch@yahoo.com.br

Abstract. Landscape is influenced by human action and the mosaic made is the mix of natural and anthropogenic elements that range in size, form and arrangement. The objective of this work was build up a multi-temporal analysis of land use in the estuary region of Itajaí river, located in Santa Catarina state, south of Brazil. The study utilized LandsatTm5 and LandsatETM7 images, of 1986, 2000 and 2004, using remote sensing and geoprocessing techniques with the software ENVI 4.2 and ARCGIS 9. The results show increase in urban and forests areas and decrease in agriculture.

Palavras-chave: remote sensing, geoprocessing, land use, sensoriamento remoto, geoprocessamento, uso do solo.

1. Introdução

A paisagem é uma unidade heterogênea, composta por um complexo de unidades interativas (ecossistemas, vegetação ou de uso e ocupação das terras), cuja estrutura pode ser definida pela área, forma e disposição espacial destas unidades (Opdam *et al.*, 1993, apud Lago et al., 2001). A maioria das paisagens é influenciada pela ação do homem e o mosaico de paisagens resultante é uma mistura de elementos naturais e antrópicos que variam em tamanho, forma e arranjo (Turner, 1989 apud Lago et al., 2001). Desta forma pode-se dizer que a estrutura da paisagem pode resultar da origem das populações e conseqüentemente, da economia desenvolvida nas regiões.

O Vale do Itajaí é uma bacia hidrográfica voltada para a vertente atlântica de Santa Catarina, com aproximadamente 15 mil quilômetros quadrados. A região está na área de domínio da Floresta Ombrófila Densa e tem relevo bastante movimentado. Colonizada a partir de 1850, a região é caracterizada por cidades de pequeno porte, com solo rural utilizado para agropecuária, e florestas (Refosco et al. 2001). As primeiras áreas ocupadas no processo de colonização foram a da Foz do Rio seguindo-se pela região do Médio Vale (Mais, 2003). A Foz do rio Itajaí é circundada por duas cidades: Navegantes e Itajaí. Nestas cidades há um aumento progressivo da população e da economia, gerando várias modificações na paisagem. Para verificar as mudanças ocorridas em determinada região, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento são importantes ferramentas na aquisição, manipulação e interpretação de dados espectrais em imagens orbitais e por isso se mostram bastante eficazes para detectar as mudanças.

Para esse estudo foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto visando a realização de uma análise multitemporal da cobertura do solo na região da foz do rio Itajaí / SC, no período correspondente aos anos de 1986, 2000 e 2004.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

As cidades que circundam a foz do rio Itajaí são Navegantes e Itajaí. A principal atividade econômica na cidade de Navegantes é a indústria de pescado, sendo o terceiro maior centro pesqueiro da América Latina e o primeiro do País. O município conta com 40 estaleiros grandes e pequenos e já foi o segundo maior parque de construção naval do Brasil. Possui uma população de 40.000 habitantes de origem açoriana. Possui uma área de 97km². A cidade de Itajaí é sede do maior porto pesqueiro do País e sua economia é sustentada pelo tripé porto, comércio atacadista de combustível e pesca, sendo que o setor de produção industrial também exerce importante papel na arrecadação do município, bem como a comercialização de gêneros alimentícios. Possui uma população de 147.000 habitantes, principalmente de origem açoriana e alemã. Possui área de 304 km².

2.2 Materiais e métodos

Foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 5* e *7*, com resolução de 30m e com seis bandas (1, 2, 3, 4, 5 e 7). As imagens foram processadas com o uso do software ENVI 4.2 (RSI), licenciado para a Universidade Regional de Blumenau. Foram elaborados mapas temáticos de uso da terra através da interpretação de imagens de satélites *Landsat TM5*, para 1986 e 2004, *Landsat TM7* para 2000, sendo estas carregadas nas bandas 3B, 2G e 1R com composição colorida. Foram delimitadas áreas de treinamento para quatro classes temáticas: área urbana, floresta, águas e campos (áreas agrícolas), as quais foram utilizadas para a realização de classificação supervisionada através do algoritmo da máxima verossimilhança (MaxVer). Buscou-se áreas de treinamento que fossem representativas, compostas por pixels espectralmente homogêneos, distribuídas, por sua vez em classes de boa separabilidade espectral, controlada a partir de estudo da assinatura espectral pelas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e sua separabilidade por meio de dois índices: o de Jeffries-Matushita e o da Divergência transformada, sendo para ambos o valor 1,8 considerado o limiar entre a separabilidade e não-separabilidade de duas classes. Depois de realizada esta etapa do processamento das imagens, foi realizada a verificação em campo. Para a construção de matriz de confusão a partir da verificação de campo foram feitas duas campanhas de verificação (21/10/06 e 28/10/06) nos municípios de Itajaí e Navegantes. A verificação foi realizada através de uma amostragem sistemática: foram selecionadas algumas rodovias dentro das cidades de Itajaí e Navegantes, nas quais se realizava uma parada a cada 2 Km utilizando-se um odômetro de motocicleta, observando-se a ocupação do solo nos sentidos norte, sul, leste e oeste, para se obter a verdade terrestre (**Figura 1**), totalizando 191 pontos observados.

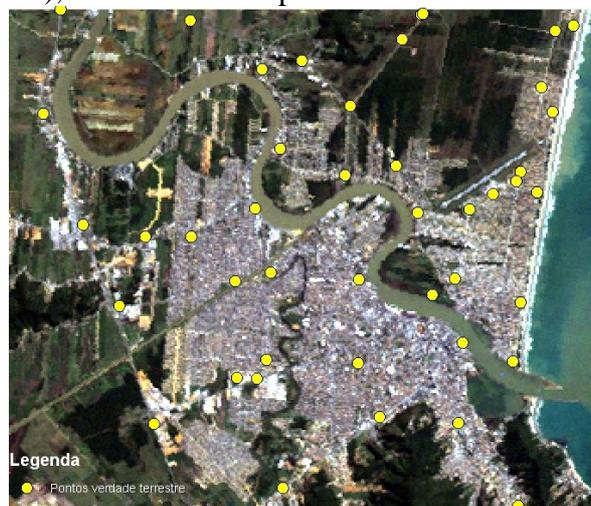


Figura 1: Área de estudos e localização dos pontos de verificação da verdade terrestre nos municípios de navegantes e Itajaí.

3. Resultados

3.1 Assinatura espectral das áreas de treinamento

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram os valores de cinza (DN) das classes de áreas de treinamento nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 das imagem analisadas.

Tabela 1: Resposta espectral das áreas de treinamento (V.M=valor médio; M.M=Valor mínimo e máximo do DN; Stdev=desvio padrão) nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat-5 de 1986.

Bandas		Classes			
		Area Urbana	Floresta	Águas	Campos
1	V.M	101.16	82.17	93.29	88.29
	M.M	92-130	78-86	87-103	82-98
	Stdev	4.52	1.3	3.49	2.79
2	V.M	46.24	32.94	41.34	38.92
	M.M	40-69	30-36	37-47	35-49
	Stdev	3.39	0.60	2.54	2.42
3	V.M	57	31.75	40.24	43.77
	M.M	43-102	29-34	33-48	34-67
	Stdev	6.43	0.75	3.75	5.48
4	V.M	53.36	61.37	18.92	69.51
	M.M	33-103	53-71	14-24	49-86
	Stdev	8.67	2.92	1.63	5.45
5	V.M	86.51	43.28	8.18	81.96
	M.M	44-141	35-51	3-21	48-119
	Stdev	11.81	2.34	1.99	10.46
7	V.M	50.55	12.51	3.46	32.26
	M.M	25-82	9-15	0-9	16-62
	Stdev	8	1.39	1.21	8.57
Número de pixels amostrados		531	515	550	526

Tabela 2: Resposta espectral das áreas de treinamento (V.M=valor médio; M.M=Valor mínimo e máximo do DN; Stdev=desvio padrão) nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat-7 de 2000.

Bandas		Classes			
		Area Urbana	Floresta	Águas	Campos
1	V.M	74.89	49.14	62.88	57.08
	M.M	52-135	45-54	52-67	50-74
	Stdev	9.47	1.31	1.89	2.58
2	V.M	61.29	33.78	52.74	45.83
	M.M	35-117	30-39	39-60	40-69
	Stdev	10.01	1.35	2.98	2.97
3	V.M	65.08	24.49	47.00	44.39
	M.M	30-129	20-31	28-59	32-81
	Stdev	12.88	1.42	7.77	5.26
4	V.M	62.45	81.64	18.24	75.84
	M.M	27-113	68-111	12-79	51-106
	Stdev	12.62	5.88	4.83	9.01
5	V.M	72.12	33-68	10.72	79.18

	M.M	21-114	39.92	8-48	55-106
	Stdev	14.79	4.45	2.88	9.43
7	V.M	59.85	19.29	9.73	46.73
	M.M	18-104	15-36	5-26	28-78
	Stdev	13.45	2.81	1.76	7.29
Número de pixels amostrados		549	561	575	539

Tabela 3: Resposta espectral das áreas de treinamento (V.M=valor médio; M.M=Valor mínimo e máximo do DN; Stdev=desvio padrão) nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat-7 de 2004.

Bandas		Classes			
		Area Urbana	Floresta	Águas	Campos
1	V.M	73.25	46.62	61.92	55.94
	M.M	53-133	42-52	58-66	45-66
	Stdev	9.30	1.33	1.34	2.99
2	V.M	33.63	18.07	30.73	26.36
	M.M	18-65	16-22	27-33	18-33
	Stdev	5.70	0.76	1.16	2.40
3	V.M	38.30	13.41	32.40	28.29
	M.M	15-85	11-21	18-36	15-43
	Stdev	8.18	1.18	4.70	5.46
4	V.M	42.04	52.56	10.89	52.25
	M.M	10-88	39-69	5-21	22-90
	Stdev	10.08	3.48	2.40	17.16
5	V.M	68.37	37.61	5.71	48.53
	M.M	24-144	27-64	2-27	1-85
	Stdev	15.03	4.15	1.67	25.90
7	V.M	40.85	11.67	3.51	18.80
	M.M	14-117	8-23	1-9	0-36
	Stdev	10.26	1.85	1.07	9.56
Número de pixels amostrados		586	610	601	565

Os mapas gerados a partir da delimitação das áreas de treinamento para as quatro classes temáticas do uso da terra podem ser visualizados na **Figura 2**.

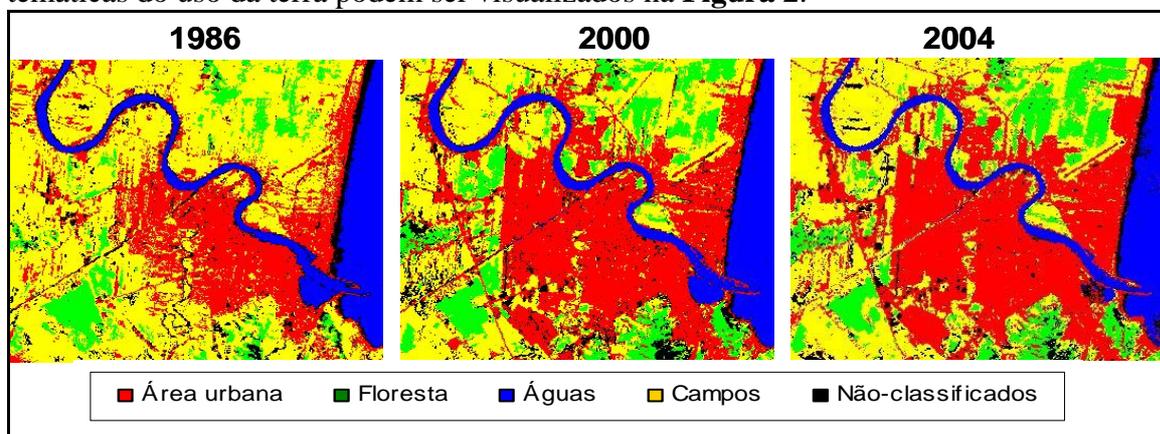


Figura 2: Mapas de uso do solo gerados após a classificação, dos anos de 1986, 2000 e 2004.

A **Figura 3** mostra os alvos médios das quatro classes analisadas nas 6 bandas do sensor *Landsat-5* e *Landsat-7* das datas de 1986, 2000 e 2004.

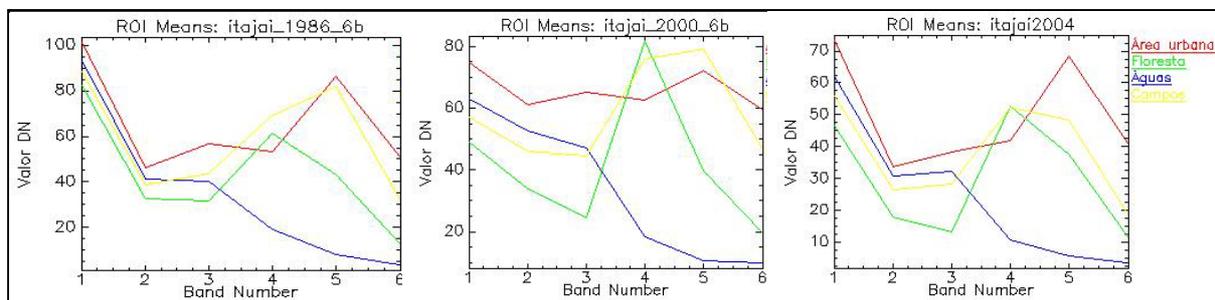


Figura 3: Médias das respostas espectrais dos temas analisados nas 6 bandas da imagem *Landsat* de 1986, 2000 e 2004.

3.2 Separabilidade

A partir da identificação da assinatura espectral foi possível calcular a separabilidade entre as classes de alvos terrestres. A **Tabela 4** mostra as comparações entre pares de classes e seus respectivos índices, Jeffries-Matushita, tendo como valor de limiar entre a separabilidade e não-separabilidade de duas classes, o valor 1,8. Os índices da Divergência Transformada, também ficaram dentro do padrão da separabilidade entre duas classes.

Tabela 4: Índice de separabilidade entre as classes temáticas das imagens de 1986, 2000 e 2004.

Classes	Índice		
	1986	2000	2004
Área urbana X Campos	1.85	1.94	1.93
Floresta X Campos	1.99	1.98	1.99
Área urbana X Floresta	1.99	1.99	1.99
Área urbana X Águas	1.99	1.99	1.99
Águas X Campos	2.00	2.00	1.99
Floresta X Águas	2.00	2.00	2.00

3.3 Classificação Supervisionada

O classificador utilizado para a obtenção dos resultados foi o classificador de Máxima Verosimilhança. Os critérios de avaliação foram a Matriz de Confusão baseada nas próprias áreas de treinamento (acuracidade geral, coeficiente kappa, comissão e omissão de cada tema). A acuracidade da análise para os anos de 1986, 2000 e 2004 foi de 97.8% , 97.9% e 98.3%, respectivamente. Os coeficientes kappa foram de 0.9712, 0.9725 e 0.9769 para os anos de 1986, 2000 e 2004, respectivamente. Através destes dados, pode-se dizer que as áreas de treinamento foram corretamente classificadas pelo classificador, pois mostram acuracidade acima de 90%. As Matrizes de Confusão apresentadas na **Tabela 5** permitem a aferição da classificação e a determinação do grau de acerto e erro com base nas características espectrais das próprias áreas de treinamento. A matriz de confusão nos permite obter resultados em termos de acuracidade, comissão (percentual de inclusão incorreta de pixels de outras classes) e omissão (percentual de pixels da respectiva classe não classificadas corretamente) de cada classe.

Tabela 5: Matriz de confusão (em percentual) a partir das áreas de treinamento das imagens do Landsat dos anos de 1986, 2000 e 2004.

Ano	Classes	Área Urbana	Floresta	Águas	Campos	Total
1986	Área Urbana	96.99	0.00	0.00	4.94	25.49
	Floresta	0.00	99.81	0.00	0.00	24.22
	Águas	0.00	0.00	99.64	0.00	25.82
	Campos	0.75	0.19	0.00	94.87	23.75
	Não-classificados	2.26	0.00	0.36	0.19	0.71
	Total	100,00	100,00	100,0	100,0	100,0
2000	Área Urbana	96.72	0.00	0.70	1.86	24.51
	Floresta	0.00	98.04	0.00	0.00	24.73
	Águas	0.00	0.00	98.78	0.00	25.54
	Campos	1.09	1.78	0.17	98.14	24.55
	Não-classificados	2.19	0.18	0.35	0.00	0.67
	Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2004	Área Urbana	96.76	0.00	0.00	1.42	24.34
	Floresta	0.00	98.20	0.00	0.00	25.36
	Águas	0.00	0.00	99.50	0.00	25.32
	Campos	1.54	1.80	0.17	98.58	24.47
	Não-classificados	1.71	0.00	0.33	0.00	0.51
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Na **Tabelas 6** estão apresentados os valores de omissão e comissão.

Tabela 6: Valores de Comissão, Omissão e Acuracidade da classificação MAXVER (em percentual) da imagem do Landsat de 1986, 2000 e 2004.

Ano	Classes	Comissão (%)	Omissão (%)	Acuracidade do produtor	Acuracidade do usuário
1986	Área urbana	4.81	3.01	96.99	95.19
	Floresta	0.00	0.19	99.81	100.00
	Águas	0.00	0.36	99.64	100.00
	Campos	0.99	5.13	94.87	99.01
2000	Área urbana	2.57	3.28	96.72	97.43
	Floresta	0.00	1.96	98.04	100.00
	Águas	0.00	1.22	98.78	100.00
	Campos	3.11	1.86	98.14	96.89
2004	Área urbana	1.39	3.24	96.76	98.61
	Floresta	0.00	1.80	98.20	100.00
	Águas	0.00	0.50	99.50	100.00
	Campos	3.63	1.42	98.58	96.37

Através das estatísticas geradas foram realizadas comparações entre os mapas temáticos de cada ano, mostrando o total de área de cada classe escolhida nas áreas de treinamento.

A verificação de campo obteve os resultados expressos na **Tabela 7**, sendo mais uma ferramenta utilizada para confirmar a classificação gerada para a região analisada.

Tabela 7: Matriz de confusão da classificação MAXVER (com valores absolutos) a partir da verificação em campo.

Classificação	Verdade terrestre				
	Área urbana	Floresta	Campo	Água	Total
Área urbana	106	9	14	4	133
Floresta	-	5	-	-	5
Campo	8	5	22	-	35
Água	-	-	-	8	8
Não classificado	1	-	3	1	5
Total	115	19	39	13	186

3.4 Análise Multitemporal

A **Tabela 8** mostra a comparação entre as áreas de cada classe em diferentes datas.

Tabela 8: Comparação entre os anos de 1986, 2000 e 2004 através das áreas classificadas.

Classes	1986		2000		2004	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Área urbana	2269,58	24	3397,99	36	3829,98	40
Floresta	651,14	7	1102,30	12	1107,70	12
Águas	1132,36	12	1170,16	13	1008,88	11
Campos	4756,79	50	3044,11	32	3033,94	32
Não-classificados	635,39	7	730,69	7	523,34	5

Através destes resultados, os quais também podem ser visualizados na **Figura 4**, pode-se observar que houve um grande aumento da área urbana do ano de 1986 para o ano 2000. O crescimento desta área também pode ser observado do ano 2000 para o ano 2004, mas com menor intensidade, talvez devido à diferença de tempo entre as duas comparações. Este crescimento urbano é evidente, partindo de que a densidade demográfica aumenta a cada ano e a economia dessas duas cidades estar crescendo cada vez mais, principalmente no tempo atual, com o aumento da capacidade do porto de Itajaí e de uma série de indústrias e a instalação de novos portos e indústrias em Navegantes. Também se pode observar que ao longo destes anos houve uma diminuição da área ocupada pelos campos e uma área maior ocupada por floresta. Uma hipótese para este aumento da floresta e diminuição dos campos pode ser o abandono das áreas agrícolas e posterior regeneração da floresta nestas áreas. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, Vibrans (2003) em um estudo de cobertura florestal na região da bacia do rio Itajaí, constatou este mesmo aumento de floresta (secundária) para a região da bacia como um todo. Em estudos de uso e ocupação de solos desenvolvidos por Refosco (2004), também para a bacia do rio Itajaí em um período de 1986 e 2000, constatou-se o abandono das áreas agrícolas e das atividades como pastoreio e culturas de subsistência, conseqüentemente, houve o surgimento da vegetação natural, via sucessão ecológica. No presente estudo, durante a pesquisa de campo, se pode observar muitas áreas em diferentes estágios de regeneração, de capoeirinha a capoeirão, comprovando esta hipótese.

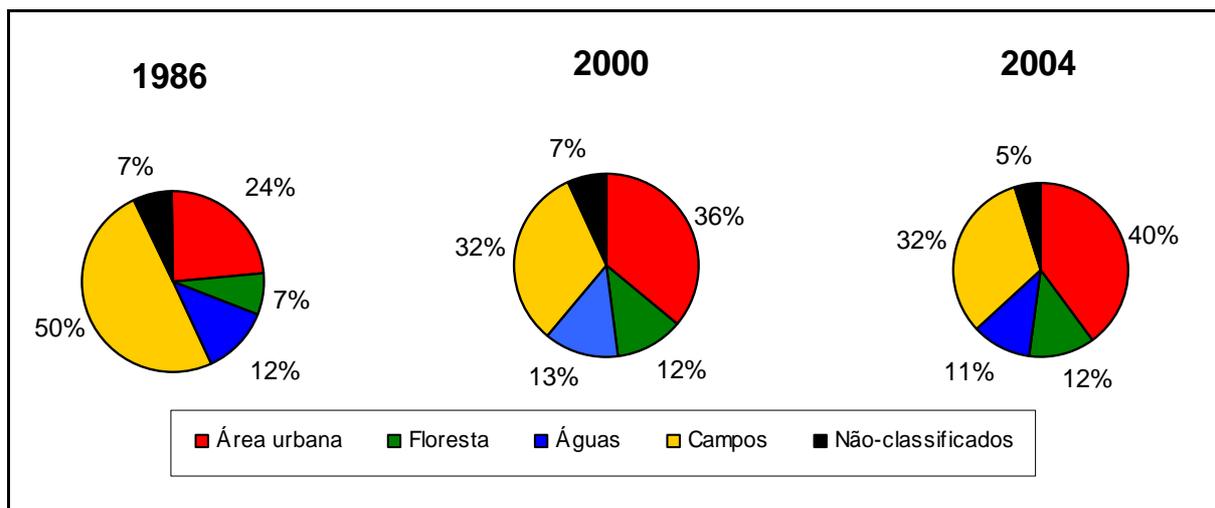


Figura 4: Distribuição das classes de uso do solo em termos percentuais na área da foz do rio Itajaí no anos de 1986, 2000 e 2004.

5. Considerações finais

De forma conclusiva se pode afirmar que as imagens *Landsat* e os procedimentos de análise digital dos dados adquiridos foram eficientes na estratificação temática e no acompanhamento das mudanças de uso e cobertura do solo. Assim, é possível verificar que, na região da foz do rio Itajaí, do ano de 1986 para o ano 2004, houve um aumento em 16 pontos percentuais da área urbana e em 5 pontos percentuais da área florestal. As áreas de campos diminuíram em 18 pontos percentuais, permanecendo constantes a outra classe temática. Vale salientar que as mudanças mais bruscas ocorreram do ano de 1986 para o ano 2000, sendo que do ano 2000 para o ano de 2004, houve crescimento apenas na área urbana, permanecendo, as demais classes, em processo mais ou menos estabilizado.

6. Referências

- LAGO, Felipe Ponce De Leon Soriano; CHAVES, henrique marinho leite; GALVÃO, Wougran Soares. Avaliação da estrutura da paisagem para o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, através de análise de imagens de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 4.,2001, Foz de Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1633-1640. On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.19/doc/1633.1640.142.pdf>>. Acessado em: 23 out. 2006.
- MAIS, Ivanir Luzia. **Relatórios Preliminares 2001: A Bacia do Rio Itajaí, Santa Catarina**. Brasília: Projeto Marca d'água, 2003. 17 p.
- REFOSCO, J. C. **Mudanças no uso da terra: o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico**. 2004. 215p. Tese (Doutorado em Sociedade e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.
- REFOSCO, J. C.; VIBRANS, A.; PINHEIRO, A.; FISTAROL, O. Sensoriamento Remoto e SIG para o Vale do Itajaí: A Vegetação e a Interceptação da Chuva. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 4.,2001, Foz de Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 653-654. On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.09.34/doc/0653.654.187.pdf>>. Acessado em: 23 out. 2006.
- VIBRANS, A.C. **A cobertura florestal da bacia do rio Itajaí – elementos para uma análise histórica**. 2003. 225p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.