

Detecção de macrófitas submersas por meio de imagem QuickBird – Estudo de Caso: Usina hidrelétrica de Porto Colômbia – MG/SP

Luiz Henrique da Silva Rotta¹
Nilton Nobuhiro Imai¹
Leticia Sabo Boschi¹
Ligia Flávia Antunes Batista^{1,2}

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Caixa Postal 305 – 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil
{luizhrotta, leticiasabo}@yahoo.com.br
nnimai@fct.unesp.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
86036-370 Londrina - PR, Brasil
ligia@utfpr.edu.br

Abstract. The use of remote sensing to support the spatial inference of submerged macrophytes is an alternative that can help to reduce the effort involved in field surveys. The work was made in a region of the Uberaba River, in Porto Colômbia reservoir. This study aimed at investigating the potential of high resolution spatial image (QuickBird) to detect submersed macrophytes in the specific conditions of the study area. Data about the river depth and plant height were collected using an echosounder BioSonics DT-X. Techniques for classification and multivariate analysis were used to characterize the spectral image. The relationship between the depth of the water body and the results of the spectral response was analyzed. The application of multivariate statistical techniques was made using cells with measurement of 15 x 15 meters. Thus, each cell contained information about the spectral response of QuickBird, water body depth and submerged aquatic vegetation height. It was then possible to perform principal component analysis and clustering. The results showed that the image used has not provided enough variation to make possible the detection of the whole vegetation area. It was also observed that the depth is a very important variable and it must be considered when studying submersed macrophytes.

Palavras-chave: remote sensing, submerged aquatic vegetation, echosounder, multivariate statistical, classification, mapping, sensoriamento remoto, vegetação aquática submersa, ecobatímetro, estatística multivariada, classificação, mapeamento.

1. Introdução

Infestação por plantas aquáticas invasoras em reservatórios tem se tornado um fator de desequilíbrio nesses sistemas aquáticos, de tal maneira que o controle tem condicionado a realização de mapeamentos das áreas de ocorrência dessas infestações, principalmente quando se trata de plantas aquáticas submersas. O fato de não emergir na superfície da água dificulta tanto o manejo dessas plantas quanto a detecção das áreas infestadas (LIMA et al., 2005).

A utilização de sensoriamento remoto para auxiliar a inferência espacial de macrófitas aquáticas submersas é uma alternativa que pode contribuir para diminuir o esforço realizado em levantamentos de campo.

Yuan e Zhang (2008) em seus estudos investigaram o potencial da utilização de sensoriamento remoto para o mapeamento e monitoramento da vegetação aquática submersa em um lago de Xangai, China. Observou-se uma boa correlação entre a cobertura da vegetação aquática submersa e as suas características espectrais de campo.

Sabe-se que a vegetação aquática submersa é dependente da disponibilidade de radiação e, portanto sua localização está correlacionada com a profundidade do corpo de água (ROTTA et al., 2010). Assim, devido ao fato da água absorver grande parte da radiação, o

presente trabalho partiu da hipótese de que imagens multiespectrais de alta resolução espacial possibilitariam detectar macrófitas submersas até uma determinada profundidade.

O objetivo do trabalho foi analisar o potencial da imagem de alta resolução espacial – QuickBird na detecção de macrófitas aquáticas submersas na área estudada.

O estudo foi realizado em um trecho do rio Uberaba, afluente do rio Grande (Figura 1). Área englobada no reservatório de Porto Colômbia. Essa região foi escolhida por ser uma área com presença de macrófitas submersas e de fácil navegação. Esse trecho do rio tem aproximadamente 300.000 m².

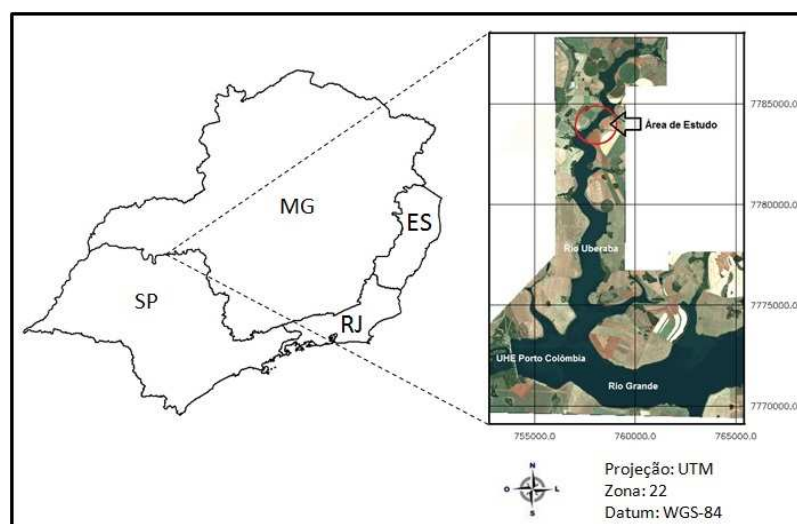


Figura 1. Área de Estudo: Trecho do Rio Uberaba – MG

2. Procedimento Metodológico

Primeiramente foram coletados dados de qualidade da água (Variáveis Limnológicas) para caracterizar o ambiente em que elas estavam se desenvolvendo.

Foi utilizado a ecossonda científica digital BioSonics DT-X (Ecobatímetro). Esse sistema pode ser configurado para diferentes aplicações, tanto em ambientes marinhos como em ambientes de água doce. Algumas das aplicações são: batimetria, monitoramento de habitat, distribuição de plantas e sedimentos, entre outros. (BIOSONICS INC, 2010).

Esse sensor ativo emite sinal em duas frequências do espectro sonoro. Enquanto o sinal de maior frequência interage com alvos de menor tamanho como peixe e plantas submersas, o de menor frequência é refletido somente pelo fundo do corpo d'água. Assim, é possível obter dados tanto do relevo submerso como das plantas presentes.

O GPS utilizado no sistema foi o Garmin eTrex Vista (GPS de navegação), cuja incerteza de posicionamento variava entre 6 e 8 metros. O sistema de referência adotado no trabalho foi o WGS-84. Os dados foram obtidos no sistema de coordenadas geográficas (latitude, longitude), e para que as coordenadas fossem compatíveis com o ecobatímetro utilizou-se a interface NMEA.

Os dados do ecobatímetro foram adquiridos em uma campanha de campo realizada no dia 27 de setembro de 2009. A amostragem foi feita em transectos em percursos de margem a margem, conforme apresentado na Figura 2. O software utilizado na coleta dos dados foi o *Visual Acquisition*.

Os dados foram processados no EcoSAV para localização e quantificação da vegetação aquática submersa. Para cada arquivo foi inserido a profundidade máxima em que se poderia encontrar macrófitas submersas. Os arquivos processados geram uma tabela contendo as coordenadas, tempo, profundidade, altura das macrófitas submersas, porcentagem de cobertura vegetal, entre outras.

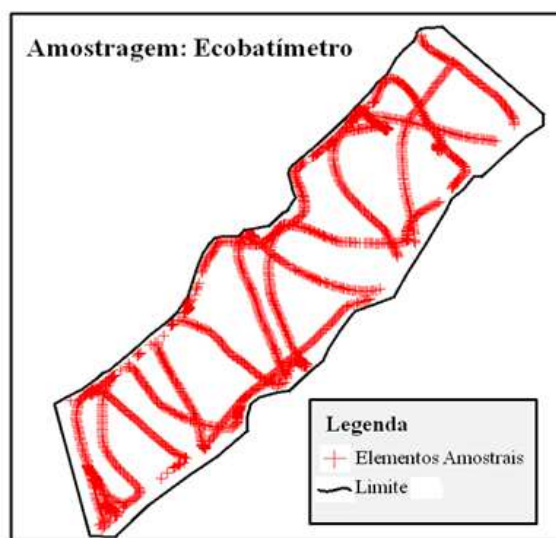


Figura 2. Amostragem obtida com o ecobatímetro

As tabelas obtidas por meio do EcoSAV foram convertidas em formato compatível para serem importadas no software SPRING (INPE).

A imagem QuickBird georreferenciada e corrigida de efeitos atmosféricos foi importada no SPRING e recortada de modo que ficasse apenas o corpo d'água nos Planos de Informação. Foram utilizadas as quatro bandas da imagem, sendo três do visível (Azul, Verde e Vermelho) e uma do infravermelho próximo. Para classificar a imagem foram utilizados classificadores: pixel a pixel e por regiões.

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e é utilizada em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para achar regiões homogêneas. Já classificadores por regiões utilizam a informação espectral de cada "pixel" e a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos (INPE, 2010).

Na classificação baseada em regiões os pixels são agregados em regiões com base num critério de distância. O algoritmo utilizado foi o crescimento de regiões e o classificador supervisionado Battacharya. Os parâmetros para a segmentação utilizados foram: Similaridade = 5 e Número máximo de pixels = 10.

A medida da distância de Battacharya é um classificador por regiões usado para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. O classificador Battacharya requer interação do usuário por meio do treinamento. Neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens (INPE, 2010).

Na classificação pixel a pixel utilizou-se o classificador K-Médias. Após alguns testes, os parâmetros escolhidos para essa classificação foi: Número de Temas = 10 e Número de Iterações = 100.

K-Médias é um algoritmo de agrupamento onde se tem k números de clusters que se deseja obter e que devem ser informados antecipadamente ao determinar as posições iniciais dos K centróides dos clusters. Este algoritmo agrupa cada elemento ao cluster do centróide mais próximo e recalcula os centros dos clusters a partir dos elementos agrupados. Pode ser empregado, como critério de convergência, um número máximo de iterações ou executar o algoritmo até que os centros não se movam mais, ou não apresentem mudanças significativas. No decorrer do processo são utilizados os métodos dos mínimos quadrados e de média móvel (SCHOWENGERDT, 2007).

Para complementar a análise, avaliou-se a resposta espectral da imagem usando técnicas de estatística multivariadas. Para isso criou-se células de 15 por 15 metros (Figura 3) no aplicativo TerraView. Importou-se as quatro bandas do QuickBird e também a grade numérica da altura das macrófitas imersas e da profundidade. Utilizou-se o interpolador média ponderada para gerar essas grades.



Figura 3. Células (15 x 15 metros) contendo as informações da resposta espectral (QuickBird), profundidade e altura das macrófitas

No TerraView utilizou-se o plugin “Preenchimento de células” para que cada célula armazenasse informações, correspondentes espacialmente, das quatro bandas da imagem, da profundidade do corpo de água e da altura das macrófitas submersas. Com isso foi possível realizar análises de componentes principais e de agrupamentos (Clusters) no aplicativo de estatística MINITAB.

A análise de componentes principais está relacionada com a explicação da estrutura de variância e covariância por meio de algumas combinações lineares dos dados originais. Em geral, os objetivos são: redução da dimensionalidade e interpretação dos dados. Esse tipo de análise frequentemente revela relações que não se suspeitava previamente, permitindo outras interpretações. A análise de componentes principais é um passo intermediário de grandes investigações científicas (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Procedimentos de análise exploratória são bastante úteis na compreensão da natureza complexa de relações multivariadas. A análise de Agrupamentos (Clusters) designa uma série de procedimentos estatísticos sofisticados que podem ser utilizados para classificar objetos e pessoas sem preconceitos, ou seja, observando apenas as semelhanças ou distâncias entre elas, sem definir previamente critérios de inclusão em qualquer agrupamento (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Finalmente analisou-se a relação entre a profundidade do corpo de água e os resultados obtidos com a resposta espectral do QuickBird.

3. Resultados e Discussão

A tabela 1 mostra as médias e os desvios padrão das variáveis limnológicas analisadas. Foram coletados sete elementos amostrais ao longo do rio Uberaba. Os resultados mostraram que o ambiente estudado pode ser considerado homogêneo, ou seja, na região estudada não houve variação suficiente para que essas variáveis exercessem influência sobre a resposta espectral.

Tabela 1. Média e desvio padrão das variáveis limnológicas do rio Uberaba

	Média	Desvio Padrão
Temperatura (°C)	26,16	1,12
Secchi (m)	1,90	0,67
Turbidez (NTU)	15,14	2,81
Condutividade (µS/cm)	42,29	8,27
OD (mg/l)	7,25	0,94
pH	6,77	0,09

A detecção de macrófitas submersas por meio de classificação pixel a pixel e por regiões foi bastante similar. A figura 4 (a) mostra o resultado da classificação supervisionada por regiões utilizando o classificador de Bhattacharya.

Com a aplicação de técnicas de classificação em imagem de alta resolução espacial na área estudada observou-se que esse método conseguiu detectar apenas uma pequena porção de macrófitas submersas situadas nas margens do rio.

Para a caracterização espectral da imagem QuickBird a partir de outra abordagem, foram utilizadas técnicas de análise multivariada. Para analisar os resultados obtidos com essas técnicas separou-se a região em três classes descritas na tabela 2 (Figura 4 (b)). Em cada classe foi feita uma amostragem aleatória com o mesmo número de células.

Tabela 2. Descrição das classes A, B e C

Classes	Descrição
A	Com Macrófitas Submersas e Detectado na Classificação
B	Com Macrófitas Submersas e Não Detectado na Classificação
C	Sem Macrófitas Submersas e Não Detectado na Classificação

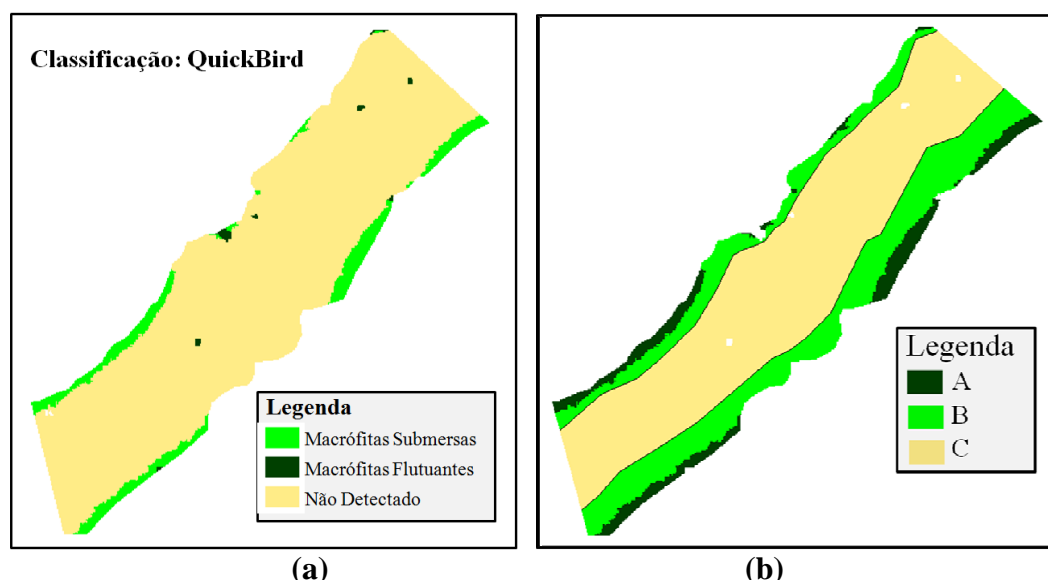


Figura 4. Classificação supervisionada por regiões utilizando o classificador de Bhattacharya em (a) e divisão da área em três classes (A - Com Macrófitas Submersas e Detectado na Classificação; B - Com Macrófitas Submersas e Não Detectado na Classificação; e C - Sem Macrófitas Submersas e Não Detectado na Classificação) em (b).

Numa área de aproximadamente 300.000 m², tem-se 114.000 m² com vegetação submersa, ou seja, uma infestação de 38%. Dessa região com macrófitas 24.000 m² foi

classificada, totalizando 21% de detecção com a imagem. Assim, a classe **A** conta com 8% da região, a classe **B** com 30% e a classe **C** com 62%.

A primeira componente principal explicou 55% das informações contidas nas quatro bandas da imagem, já a segunda componente explicou 40%, totalizando com as duas primeiras componentes principais uma explicação de 95%. A relação entre essas componentes é mostrada na figura 5.

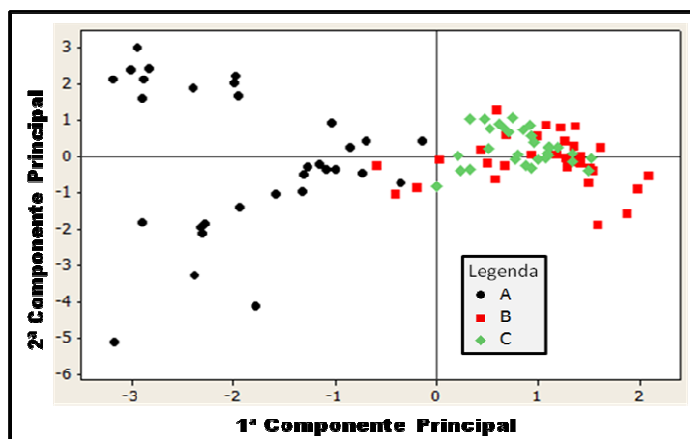


Figura 5. Relação entre as primeiras componentes principais geradas com as três bandas do visível mais a banda do infravermelho próximo da imagem QuickBird.

Observa-se claramente que as classes **B** e **C** não se diferenciam, ou seja, há uma forte relação entre essas classes. Já a classe **A** é bem discriminada com relação às outras classes.

O método de aglomeração utilizado foi o de ligação média. Segundo Johnson e Wichern (2007) o método de ligação média trata a distância entre dois grupos como a média entre os pares de itens constituídos por elementos dos dois grupos. Para medir a dissimilaridade utilizou-se a distância euclidiana. A figura 6 mostra o dendrograma no qual exibe as fases do processo de agrupamento desde a separação total dos objetos até a inclusão num único grupo.

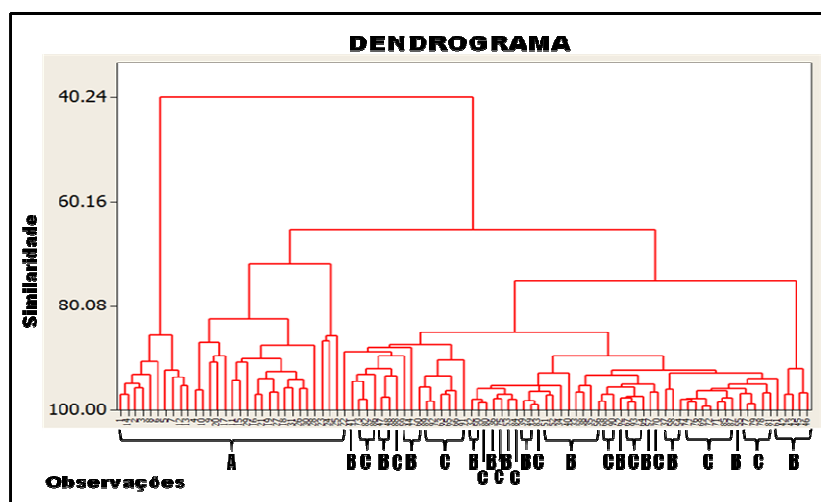


Figura 6. Dendrograma utilizando o método de ligação média e a distância euclidiana.

Novamente nessa análise a classe **A** se distingue das demais classes. Considerando uma similaridade de 70%, a classe **A** se divide em dois clusters, enquanto que as classes **B** e **C** permanecem no mesmo agrupamento, ou seja, há uma forte similaridade entre essas duas últimas classes. Essa mesma análise pode ser observada ao se fazer o agrupamento por K-Médias. A tabela 3 mostra o resultado desse agrupamento.

Tabela 3. Agrupamento das classes A, B e C por K-Médias em cinco Clusters

Cluster (K-Médias)	Nº Observações (Porcentagem)	Classe
1	3 (10%)	A
2	3 (10%)	A
3	4 (13%)	A
4	31 (100%)	B
	31 (100%)	C
5	21 (68%)	A

As classes **B** e **C** permaneceram no mesmo agrupamento, enquanto que houve uma pequena diferenciação entre os elementos da classe **A**.

Para analisar a influência da profundidade da coluna da água na resposta espectral e consequente detecção de macrófitas submersas foi feita a diferença entre a profundidade e a altura da vegetação aquática submersa (Equação 1), dessa forma tem-se a distância entre a superfície e o dossel das macrófitas. Em regiões onde não se encontram plantas, a distância é a própria profundidade.

$$D = P - A \quad (1)$$

Onde,

D: Distância entre a superfície e o dossel da vegetação submersa;

P: Profundidade do corpo de água;

A: Altura das macrófitas submersas.

Tabela 4. Distâncias entre a superfície e o dossel da vegetação

D	Grupos		
	A	B	C
Média (m)	1,6	3,0	11,1
Desvio Padrão	0,5	1,17	2,2
Valor Mínimo (m)	0,7	1,1	6,7
Valor Máximo (m)	2,9	8,4	14,4

Esses dados são melhor analisados por meio do gráfico de Boxplot utilizado para avaliar e comparar as distribuições de amostragens, apresentado na Figura 7.

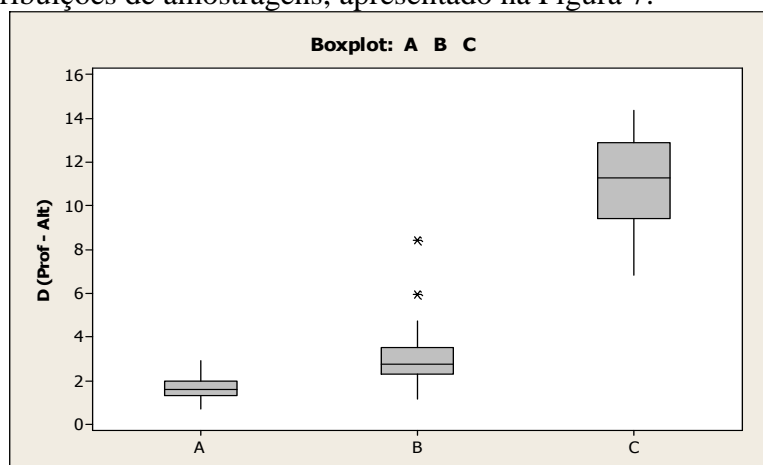


Figura 7. Boxplot das distâncias entre a superfície e o dossel da vegetação (D) com relação às classes A, B e C

Observa-se que com os dados da relação entre profundidade e altura das plantas pode-se distinguir as regiões onde não há planta (Classe C) das que há planta (Classes A e B). Apesar de a classe A, no geral, apresentar valores menores, nota-se uma sobreposição entre as classes A e B.

4. Conclusões

A classificação da imagem QuickBird, apesar de ser uma imagem de alta resolução espacial (2,4 metros), foi capaz de detectar apenas uma pequena parcela (21%) da região infestada por macrófitas submersas.

Além disso, a análise estatística multivariada mostrou que a resposta espectral da imagem utilizada não foi capaz de diferenciar as regiões, não classificadas, com presença de vegetação aquática submersa daquelas sem essa vegetação, ou seja, não foi possível distinguir as classes B e C.

A análise da coluna da água permitiu observar que as macrófitas imersas estão correlacionadas com a profundidade do corpo de água, fato já esperado, pois as macrófitas são dependentes da disponibilidade de radiação que é fortemente correlacionada com a profundidade do rio.

Finalmente pode-se concluir que a hipótese foi parcialmente confirmada. A resposta espectral das imagens de alta resolução utilizadas na área de estudo foi capaz de detectar a vegetação aquática submersa até uma determinada altura da coluna de água (D). Porém, observou-se que há uma região de sobreposição entre as classes A e B, o que indica que há regiões com a mesma altura da coluna de água com respostas espectrais diferentes. Assim, recomenda-se que essa relação entre a resposta espectral de imagens de alta resolução espacial e a altura da coluna de água deve ser explorada a partir de outras abordagens que possam caracterizá-la.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD) e ao Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas (FCT/UNESP).

Referências Bibliográficas

BIOSONICS, Inc. **Web Site**. Disponível em: <<http://www.biosonicsinc.com/>>. Acesso: 29/03/2010.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Web Site**. Manuais – Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 7 de junho de 2010.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.

LIMA, D. L.; GALO, M. L. B. T.; IMAI, N. N. Aplicação do modelo de cores IHS na detecção de plantas aquáticas imersas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, **Anais**, 2005, Goiânia: 16-21 Abr 2005, INPE, p. 4115-4122.

ROTTA, L. H. S.; FERREIRA, M. S.; IMAI, N. N.; TACHIBANA, V. M. Análise espacial de macrófitas submersas no reservatório de Porto Colômbia. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, III, **Anais**, Recife, 2010.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and methods for image processing**. 3^a Edição. London: Academic Press, 2007.

YUAN, L.; ZHANG, L. Q. Mapping large-scale distribution of submerged aquatic vegetation coverage using remote sensing. **Aquatic Botany**, v. 3, p. 245-251, 2008.