

Integração de dados do sistema automático de monitoramento de variáveis ambientais (SIMA) e de imagens orbitais na avaliação do estado trófico do Reservatório da UHE Funil.

Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo¹

José Luiz Stech¹

Luciana Resende Londe¹

Arcilan Assireu¹

Cláudio Clemente Barbosa²

Enner Herenio Alcântara¹

Arley Ferreira de Souza²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{evlyn, stech, londe, arcilan, enner}@dsr.inpe.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{claudio, arley}@dpi.inpe.br

Abstract. This paper describes the integration of data provided by automatic monitoring systems and satellite images for quick assessment of trophic state of reservoir water. Daily average of Chlorophyll (Chl) concentration from February, 2007 to February, 2008 was obtained with automatic monitoring systems moored at FUNIL reservoir. The data were processed to identify phytoplankton blooms which were defined by Chl concentration > 20mg/l and duration > 2 days. The dates of bloom were then used to select satellite images available during the episodes. As previous results in cascade system's reservoirs indicated a good correlation between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and chlorophyll concentration, it was hypothesized that under eutrophic conditions the NDVI would be positive due to the high cell density near the surface. The selected image was processed to derive the NDVI for the reservoir and compared with chlorophyll concentration provided by the automatic system. The results showed that the NDVI is sensitive to changes in chlorophyll concentration in eutrophic systems as FUNIL reservoir and can be used for quick assessment of the area affected by nuisance blooms. Although preliminary, the results show the potential of integrating automatic collected in situ data and satellite images for assessment of aquatic system trophic state.

Palavras-chave: automatic monitoring systems, remote sensing, reservoir trophic state, sistema automáticos de monitoramento, sensoriamento remoto, estado trófico de reservatórios.

1. Introdução

Desde a década de 1980, tem-se procurado ampliar o uso de dados de sensoriamento remoto no manejo de reservatórios hidrelétricos. Primeiro as imagens do sensor MSS (Multispectral Scanner Subsystem) do satélite Landsat foram avaliadas como fonte de informação para o estudo do processo de assoreamento de reservatórios (Sausen,1980). Posteriormente, com os avanços proporcionados pelos sensores Thematic Mapper (Landsat-5) e Enhanced Thematic Mapper (Landsat-7) as imagens foram aplicadas ao mapeamento da infestação por macrófitas (Abdon e Meyer,1990), ao estudo da relação entre uso da terra e infestação por macrófitas (Pereira Filho, 1990), à análise temporal da estratificação horizontal das massas de água (Silva, 1994), no estudo da circulação da água na planície de inundação do rio Amazonas (Barbosa, 2005), na caracterização de habitat de mamíferos aquáticos (Arraut et al. 2007), e no estudo da zona de transição rio-reservatório e do comportamento do rio ao longo do reservatório (Assireu et al. 2008), entre outras.

Paralelamente aos esforços para ampliar o uso das imagens disponíveis, houve também, a realização de estudos mais básicos voltados à caracterização do comportamento espectral da água, seja por meio de experimentos de laboratório (Novo et al.1993; Mantovani, 1994; Londe et al. 2008; Lobo et al. 2008) ou pela realização de missões de campo controladas (Cabral et al.1993 ; Felix et al. 1994; Nóbrega, 2002; Barbosa et al. 2005; Pereira et al. 2007; Novo et al. 2004; Rudorff et al. 2006).

Com o avanço de sensores hiperespectrais houve também um crescente interesse na avaliação do uso de sensoriamento remoto para a identificação de áreas sujeitas a florações de cianofíceas como indicador do processo de eutrofização de águas continentais.

Resultados experimentais obtidos por Londe (2008) mostraram um excelente desempenho do NDVI na previsão da concentração de clorofila a partir de dados radiométricos de campo adquiridos num reservatório eutrófico, com concentrações de clorofila variando entre 20 µg/l e 140 µg/l. Conforme salientado pela autora, o NDVI é um índice de vegetação bem estabelecido na literatura para plantas terrestres, não havendo notícia de seu uso para a detecção de florações fitoplanctônicas em ambientes aquáticos continentais, embora já tenham sido utilizados para a detecção de florações em regiões costeiras e nos oceanos (Cracknel et al. 2001; Lin et al. 2003). Como tipicamente as águas oceânicas possuem baixa concentração de partículas inorgânicas suspensas, torna-se possível distinguir a banda de absorção da clorofila-a na região do vermelho, em contraste com o retro-espalhamento das células fitoplanctônicas que se concentram em sub-superfície, na medida em que sua densidade de células aumenta e com ela a competição por luz.

Para testar o desempenho do NDVI a autora o aplicou em imagens TM/Landsat referentes ao reservatório de Ibitinga/SP para o qual dispunha de dados experimentais. Os resultados indicaram que o NDVI foi sensível à presença de florações de clorofila conforme previsão de seu modelo empírico.

Com base nesses dados experimentais, formulou-se a hipótese de que o índice NDVI permite estender a área de abrangência de florações fitoplanctônicas do reservatório de Funil a partir da seleção de imagens coincidentes com episódios de alta concentração de clorofila-a medidos pelo Sistema Automático de Monitoramento Ambiental (SIMA). Neste artigo, portanto, é relatada a integração de dados *in situ* e de sensoriamento remoto para mapear a distribuição espacial de florações de cianofíceas no reservatório da UHE Funil (Stech et al. 2004).

2. A área de estudo

A barragem da UHE Funil localiza-se no médio curso do Rio Paraíba do Sul, no município de Resende, Planalto Atlântico (Figura 1). A barragem situa-se nas coordenadas de 22° 35'S e 44° 35'W. Este reservatório está inserido na Bacia Costeira de Sudeste, numa região sujeita a intenso intemperismo químico, com relevo montanhoso, e condições de clima tropical quente e chuvoso durante o verão, e seco no inverno. O reservatório de Funil tem 40 km² de área e um perímetro de 320 km resultante da topografia acidentada da região. Sua profundidade média é de 20 metros apresentando um tempo de residência da água de cerca de 55 dias (Rocha et al. 2002). Trata-se de um reservatório em operação há quase meio século, pois começou a operar em 1969.

O Rio Paraíba, antes de Funil, atravessa uma região densamente povoada, com grande parque industrial e aproveitamento agrícola da várzea, o que torna o seu nível de poluição particularmente elevado. Vários estudos indicam que ele se encontra em adiantado estado de eutrofização com ocorrência freqüente de florações de algas, em particular, do gênero *Microcystis aeruginosa* (Bobeda et al. 1993; Rocha et al. 2002).

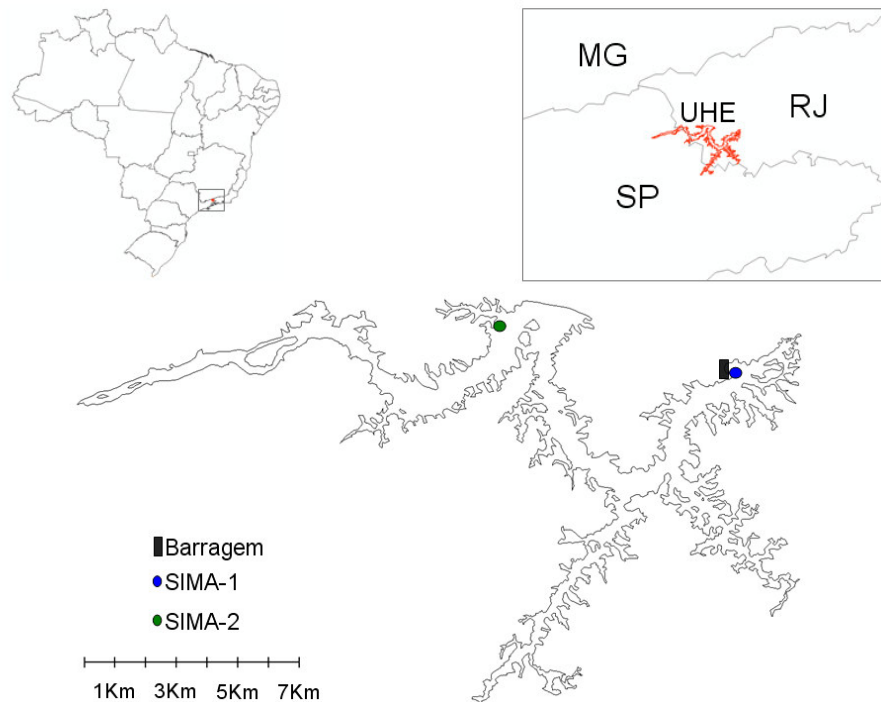


Figura 1: Localização da área de estudo e do SIMA-1 e 2 na UHE de Funil.

3. Dados *in situ*

O SIMA (<http://www.inpe.br/projetofurnas>) mede as seguintes variáveis ambientais a partir de sensores colocados acima da linha de água: vento (direção e intensidade), pressão, umidade relativa, temperatura do ar, radiação solar incidente e refletida. Abaixo da linha d'água o sistema permite a aquisição de medidas das seguintes variáveis limnológicas: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, clorofila, turbidez. Esses dados são adquiridos em alta frequência e transmitidos a cada hora, em média, via satélites brasileiros SCD (Satélite de Coleta de Dados) e CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres).

Nesse trabalho, os dados utilizados referem-se apenas à variável concentração de clorofila-*a*, medida por uma sonda YSI, colocada em dois pontos do reservatório a uma profundidade de 2 metros. O sensor da sonda foi projetado para estimar a abundância de fitoplâncton na água a partir da fluorescência *in vivo* da clorofila. Embora essas medidas de concentração não tenham a precisão das de laboratório, elas permitem estimar a abundância relativa do fitoplâncton principalmente quando se fazem análises de séries temporais. O sistema foi colocado em dois locais estratégicos para atender aos objetivos do projeto FURNAS (Tabela 1)

Tabela 1 – Localização das estações de amostragem *in situ*

Estação	Latitude	Longitude
FUNIL SIMA-1	S 22 31 46,9	W 44 33 53,6
FUNIL SIMA-2	S 22 30 44,2	W 44 38 07,4

4. Imagens utilizadas

Foi utilizada a imagem do sensor TM/Landsat referente à órbita 218/76 adquirida 26 de maio 2007. Essa data foi selecionada a partir da análise das séries temporais *in situ* de

concentração de clorofila-a adquiridas no período compreendido entre fevereiro de 2007 e fevereiro de 2008 para as estações SIMA-1 e SIMA-2.

5. Métodos

Os dados SIMA dos locais estratégicos definidos em campo foram obtidos para todas as datas em que a concentração de clorofila excedeu a 20 µg/l e se manteve com concentrações iguais ou superiores a esse patamar por pelo menos dois dias consecutivos.

Foram construídos gráficos de concentração média diária de clorofila de modo a identificar janelas de permanência das altas concentrações e relacioná-las ao processo de formação de florações. Com base nas datas de florações, foram pesquisadas as cenas Landsat disponíveis, as quais foram processadas de modo a se obter a distribuição espacial do NDVI. Os principais passos adotados para a geração das classes de NDVI foram: a) obtenção de uma imagem ETM⁺ orto-rectificada no banco de dados do Global Land Cover Facility (<http://glfc.umiacs.umd.edu>), a qual foi utilizada como imagem de referência para o registro da imagem de interesse; b) transformação de nível digital para reflectância; c) correção empírica do efeito aditivo da atmosfera; d) geração da imagem NDVI; e) fatiamento da imagem NDVI para gerar classes relativas de densidade das florações.

6. Resultados

A análise da distribuição dos eventos com concentração média diária de clorofila superior a 20 µg/l com duração superior ou igual a dois dias permitiu verificar que em ambas as estações (SIMA-1 e SIMA-2) o período de maior concentração média diária de clorofila estendeu-se de Maio a Julho de 2007. Na estação SIMA-1, próxima à barragem, as concentrações são maiores que 50 µg/l e a duração da floração fitoplanctônica é de 2 ou 3 dias. Nessa região também foi observado um episódio de alta concentração em Fevereiro de 2008, o que não foi observado na estação SIMA-2. Embora a estação SIMA-2 não apresentasse concentrações de clorofila-a tão elevadas quanto a estação SIMA-1, a duração dos episódios de floração foi mais longa (4 e 5 dias).

A pesquisa de imagens sem cobertura de nuvem na região indicou que a cena referente a 26 de maio de 2007 permitiu capturar o evento da estação SIMA-1 (entre 27 e 31 de maio) e com menor rigor o evento da estação SIMA-2 cujo máximo se deu em 15 de maio. Apesar de a data da imagem não coincidir exatamente com o pico do evento de floração de fitoplâncton, o exame preliminar da cena mostra que ela capturou a alteração da cor da água (Barbosa, 2005, Londe, 2008).

Quando se analisa a série horária completa do mês de maio (Figura 2) em conjunto com a composição colorida normal do reservatório, pode-se verificar que exceto próximo à entrada do sistema na região de transição rio/lago, a cor apresentada pela água é verde, indicando a presença de floração (Barbosa, 2005; Novo et al, 2006; Rudorff, 2006; Londe, 2008).

Ainda assim, há muitas amostras sem dados, o que pode sugerir a inabilidade do sensor do SIMA de detectar a fluorescência uma vez que as medidas são feitas a dois metros de profundidade, onde a fluorescência é inibida pela falta de luz decorrente da migração de fitoplâncton para sub-superfície o que reduz a profundidade da zona eufótica.

A cor da água registrada na composição colorida da imagem TM/Landsat indica a presença de altas concentrações de clorofila. É interessante observar na Figura 2, que a região da estação SIMA-2 que indicou a presença de florações quase dez dias antes da passagem do satélite, apresenta cor verde com matiz amarelo, que sugere o aumento da absorção da região do azul, um indicador de decomposição da matéria orgânica que marca a degeneração da floração, após vários dias de persistência (Tucci e Sant'Anna, 2003).

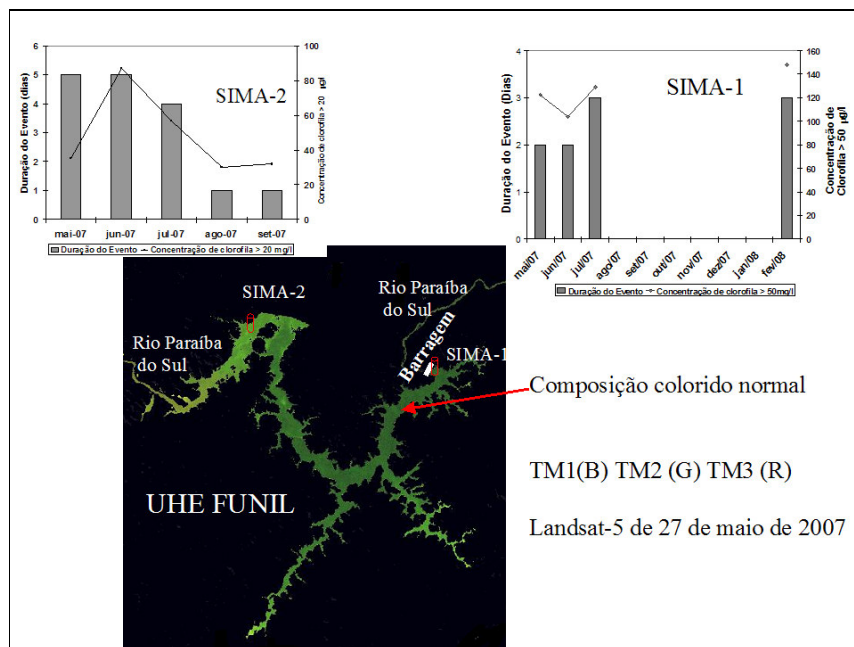


Figura 2. Composição colorida do Reservatório do Funil indicando que a cor da água em todo a extensão do reservatório é verde.

Na Figura 3 pode-se observar a distribuição espacial das classes de NDVI identificadas na imagem adquirida no dia 26 de Maio de 2007. Na data da passagem o SIMA-1 encontra-se localizado numa região de NDVI máximo (0,68 - 0,88), enquanto o SIMA-2 encontra-se na classe de NDVI intermediário (0,28 - 0,47), o que sugere que a cena de 26 de Maio conseguiu capturar não apenas o processo de floração, mas as diferenças relativas entre as concentrações medidas pelos sistemas automáticos.

A Figura 3 mostra também que na transição entre o Rio Paraíba do Sul e o lago ocorrem os menores valores de NDVI (inferiores a zero). Dois fatores podem explicar os valores negativos: a presença de material particulado em suspensão, que aumenta o espalhamento na região do vermelho, e a baixa concentração de fitoplâncton em decorrência da limitação de luz e pela turbulência da região de transição entre o rio e o reservatório. Esse mesmo fenômeno é observado nas demais entradas do reservatório.

Observa-se também (Figura 3), que próximo ao SIMA-2 (estação de amostragem mais próxima a zona de transição rio/reservatório) ocorrem “manchas” com elevados valores de NDVI (0,28-0,47). Nesta região, logo após a transição rio/reservatório, ocorrem eventos dinâmicos importantes devido ao mergulho do rio (águas mais densas que a do reservatório) e sua conseqüente evolução como uma corrente profunda ao longo do reservatório. O cisalhamento vertical entre esta corrente de densidade (maior velocidade quando comparada as águas do reservatório) e as águas do reservatório cria um tipo de instabilidade, conhecida como Kelvin-Helmholtz, que tem o potencial de transportar ascendentemente, partículas (Assireu et al. 2008). Assim, estas “manchas” de elevados valores de NDVI poderiam ser manifestações daquele processo.

Embora Londe (2008) tenha desenvolvido seu trabalho com espectros de campo e em reservatório em posição jusante de um sistema em cascata, seu modelo ($Y = 237x + 6,5$), onde Y é a concentração de clorofila e x o valor de NDVI, foi utilizado para converter os intervalos de classe em concentração de clorofila.

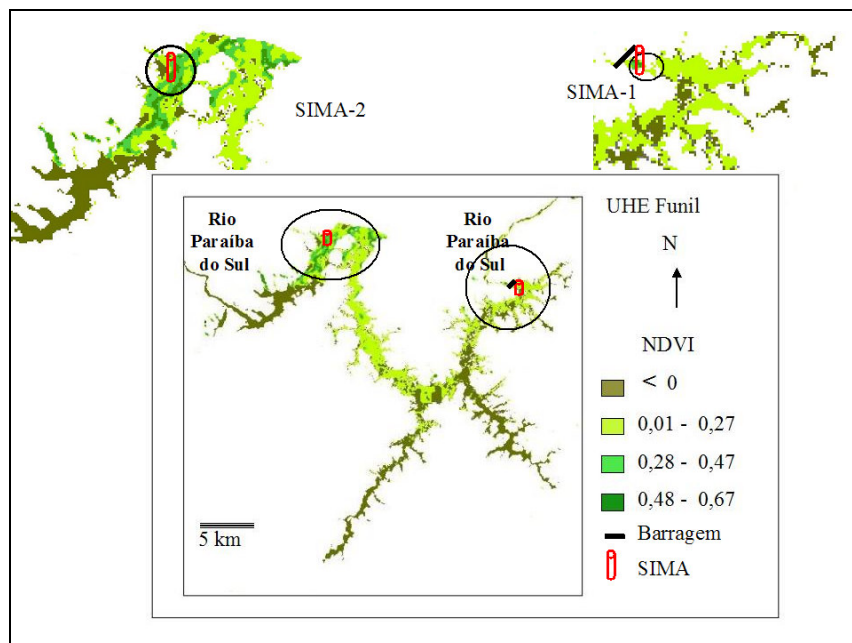


Figura 3. Distribuição espacial das classes de NDVI mapeadas a partir da imagem TM/Landsat-5 adquirida em 26 de maio de 2007.

A Tabela 2 mostra os intervalos de concentração de clorofila estimados pelo modelo de Londe (2008) para as classes de NDVI identificadas na imagem.

Tabela 2. Valores estimados de clorofila para os intervalos de NDVI

Classe de NDVI	Classe de concentração de clorofila (mg/l)
< 0	< 8,87
0,01 - 0,27	8,87-70,40
0,28 - 0,47	70,50- 72,86
0,48- 0,67	73 -117

Apesar das incertezas envolvidas na aplicação de um modelo empírico em sistema aquático com características distintas das encontradas por Londe (2008), os resultados indicam que os valores estimados estão no range de valores medidos pelos SIMAs no mês de maio, e que colocam todo o reservatório, com exceção das áreas de transição rio/lago na categoria de hiper-eutrófico (Tundisi, 2003).

Embora preliminares e em fase de aperfeiçoamento, esses resultados sugerem que os sistemas de sensoriamento remoto orbital que garantam uma alta frequência de revisita com sensores de resolução espacial compatível com aquelas apresentadas pelo Landsat podem ser ferramentas úteis para monitorar a qualidade da água, principalmente no tocante ao crescente processo de eutrofização dos sistemas aquáticos continentais no Brasil (Tundisi, 2003) e no mundo (Wetzel, 2003)

7. Conclusões

Os resultados desse trabalho, embora preliminares, indicam que índices de vegetação tradicionalmente aplicados no estudo de ecossistemas terrestres podem ser adaptados para o monitoramento do estado trófico de sistemas aquáticos. O uso concomitante de dados de sistemas automáticos permite que, a partir da identificação de um aumento da concentração de

clorofila por períodos mais longos, possam ser obtidas imagens de satélite para identificar a extensão espacial do problema, e planejar ações de mitigação dos danos ambientais.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio financeiro do projeto Balanço de Carbono dos Reservatórios de FURNAS Centrais Elétricas.

Referências

Abdon, M. M.; Meyer, M. Variação temporal de áreas ocupadas por macrófitas aquáticas no Reservatório de Tucuruí através de dados do satélite Landsat/TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 545-548. Printed, On-line. (INPE-5174-PRE/1643). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/08.18.18.33>>. Acesso em: 02 nov. 2008.

Assireu, A.; Stech, J.L.; Roland, F.; Alcântara, E.H. Upwelling-induced suspension underflow in tropical Manso reservoir, Brazil. **Limnology and Oceanography**, 2008, Submetido. .

Arraut, E. M.; Mantovani, J. E.; Novo, E. M. L. M. Quanto alimento há para o Peixe-boi Amazônico? Técnicas de processamento digital de imagens para estimar a dimensão de bancos de macrófitas aquáticas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6609-6614. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.22.18>>. Acesso em: 02 nov. 2008.

Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curai/Rio Amazonas**. 2005-12-09. 286 p. (INPE-14614-TDI/1193). Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/02.22.15.03>>. Acesso em: 06 nov. 2008.

Bobeda, C.R.R. **Isolamento, purificação e caracterização de microcistinas (hepta-peptídeos tóxicos) encontrados em uma floração de Cianobactérias ocorrida no Reservatório do Funil (Resende, RJ)** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro . 1993

Cabral, A. P.; Mantovani, J. E.; Costa, M. P. F.; Lima, R. A. F.; Novo, E. M. L. M. Efeitos da concentração e da granulometria na assinatura espectral do material inorgânico em suspensão. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 496-504. Printed, On-line. (INPE-7870-PRE/3710). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/08.18.17.36>>. Acesso em: 02 nov. 2008 Campos, 2004.

Cracknell, A. P.; Newcombe, S. K.; Black, A. F.; Kirby, N. E. The ABDMAP (Algal Bloom Detection, Monitoring and Prediction) Concerted Action. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n 2-3, p. 205–247, 2001

Félix, I. M. Monitoramento da qualidade da água utilizando-se modelos empíricos obtidos a partir de dados de sensoriamento remoto: Reservatório de Barra Bonita - SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 7, 1993, Curitiba, BR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 119-127. Printed, On-line. (INPE-7915-PRE/3751). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.00.44.36>>. Acesso em: 02 nov. 2008.

Londe, L.R. **Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado** – Ibitinga (SP) Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 2008.

Lin, Q.; Zhang, Y.; Nie, Y.; Guan, Y Detection of harmful algal blooms over the Gulf Of Bohai sea in China at visible and near infrared (NIR) wavelengths of remote sensing. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, v. 17, n. 6, , p. 861-871. 2003.

Mantovani, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplankton na presença de matéria orgânica dissolvida e de matéria inorgânica particulada**. 1993. 119 p. (INPE-5683-TDI/569). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.02.09.34>>. Acesso em: 02 nov. 2008.

Nóbrega, I. W. **Análise Espectral de Sistemas Aquáticos da Amazônia para a identificação de componentes opticamente ativos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

Novo, E. M. L. M.; Pereira Filho, W.; Melack, J. M. Assessing the utility of spectral band operators to reduce the influence of total suspended solids on the relationship between chlorophyll concentration and the bidirectional reflectance factor in Amazon waters. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 22, p. 5105-5115, 2004.

Pereira Filho, W. **Integração de dados de Campo e Sensoriamento Remoto no Estudo da Características de Bacia de Captação na Concentração de Sólidos em Suspensão em Reservatório: o exemplo de Tucuruí**: Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993.

Pereira Filho, W.; Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. M. Influência das condições do tempo em espectros de refletância da água. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 415-422. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12596-PRE/7889). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.20.51>>. Acesso em: 02 nov. 2008.

Rocha, M.I.A, Branco, C. W.C. ; Sampaio, G.F.; Gômara, G.A E De Filippo, R. Spatial and temporal variation of limnological features, *Mycrocystis aeruginosa* and zooplankton in a eutrophic reservoir (Funil Reservoir, Rio de Janeiro). **Acta Limnológica Bras.** v. 14, n. 3, p. 73-86, 2002.

Rudorff, C. M.; Novo, E. M. L. M.; Galvão, L. S.; Pereira Filho, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 279-290, 2007.

Sausen, T. M. **Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e Reservatório De Três Marias através de Imagens MSS/Landsat**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1980.

Silva, O. F. **Caracterização dos gradientes longitudinais e laterais do Reservatório Tucuruí/PA, através da análise estatística dos bancos de dados limnológicos e de imagens TM-Landsat**. 1994. 115 p. (INPE-5967-TDI/571). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1994. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.04.32>>. Acesso em: 02 nov. 2008

Stech, J. L.; Novo, E. M. L.; Lima, I. B. T.; Carvalho, J. C.; Assireu, A. T.; Lorenzetti, J. A.; Barbosa, C. C.; Rosa, R.R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition in aquatic environments. In: 29 th Congress of the International Association of Limnology, 2004, Estocolmo. **Proceedings...** Congress of the International Association of Limnology. Estocolmo : International Society of Limnology, 2004. p. 1-4

Tucci, A.E., Sant'anna, C.L. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP, Brasil **Revista Brasil. Bot.**, v.26, n.1, p.97-112, 2003

Tundisi, J.G. **Água no século XXI. Enfrentando a escassez**. Rima IIE, São Carlos, 248 p. 2003

Wetzel, R.G. **Limnology. Lake and River Ecosystems**. Academic Press, San Diego, 2003, 1006 p.