

Caracterização física, química, biológica e óptica da água do reservatório hidrelétrico de Itumbiara: resultados iniciais

Renata Fernandes Figueira Nascimento¹
Enner Alcântara¹
Milton Kampel¹
Jose Luiz Stech¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
re_ffnascimento@yahoo.com.br
{enner, milton, stech }@dsr.inpe.br

Abstract. The main objective of this work is to characterize the water properties of the Itumbiara, GO, hydroelectrically reservoir through the use of limnological and radiometric parameters. Two field campaigns were organized the first during rainy (May) and the second wet season (September). In these field campaigns the following limnological parameters were collected chlorophyll-a, dissolved organic and inorganic carbon, total suspended matter, water temperature, pH and turbidity. The radiometric data was taken using the Filedspec Hand Held. Also the absorption coefficient of the optically active components (OAC) of the water was measured in laboratory. The limnological data was interpolated using the Ordinary Kriging algorithm and the radiometric data were transformed in remote sensing reflectance. The absorption coefficient was used to build a triangular diagram designed to find out the relative contribution of the OAC in the water. The results show that there is a distinct spatial variation in the limnological and from the dam to the river confluences. Due to the low chlorophyll-a concentration in the water the spectral response is strong influenced by the inorganic suspended particles. The triangulation of the absorption coefficient reveals that the water is dominated by the inorganic particulate matter (from 65 to 80%).

Palavras-chave: limnologia, radiometria, bio-óptica.

1. Introdução

Os reservatórios hidrelétricos são corpos d'água importantes para a produção de energia, atividades recreativas e esportivas, pesca comercial, controle de inundações e suprimento de água. A degradação destes sistemas aquáticos e da qualidade da água pode causar uma série de impactos ambientais. A qualidade da água pode ser degradada pela presença de detritos, nutrientes, microorganismos, pesticidas, metais pesados e sedimentos (Liu et al., 2003), causando assim diversos problemas.

Esforços têm que ser empregados para evitar a degradação daqueles corpos que ainda estão em bom estado e para melhorar aqueles que já estão com problemas de degradação. Assim, pesquisas devem ser levadas a cabo para entender os processos físicos, químicos e biológicos que atuam nesses ambientes e medidas mitigadoras devem ser sugeridas para conter o avanço da degradação.

Muitas abordagens tem sido utilizadas para o estudo desses corpos d'água, tais como: uso de dados limnológicos coletados *in situ*, uso de dados radiométricos coletados próximos da superfície, sensoriamento remoto orbital, modelagem hidrodinâmica etc. Assim, o objetivo principal desse trabalho é utilizar dados de qualidade da água e radiométricos coletados *in situ* para uma melhor caracterização limnológica do reservatório de Itumbiara, GO.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Itumbiara (18° 25' S, 49° 06' W) está localizado no bioma cerrado, na divisa dos estados de Minas Gerais, no Triângulo Mineiro, e

Goiás. Foi formado pelo represamento do Rio Paranaíba, resultando na inundação de seus principais tributários, os Rios Corumbá e Araguari. Possui forma dendrítica, com 778 Km² de área inundada e um volume total de 17 bilhões m³ (Alcântara et al. 2010a). A profundidade média do reservatório, no período de cheia, é de aproximadamente 32 m, e a máxima pode chegar até 80 m, sendo que as maiores profundidades se encontram próximas à barragem (Alcântara et al. 2010b).

2.2 Campanhas de Campo

Duas campanhas de campo foram realizadas na área de estudo, sendo que uma no período de cheia do reservatório (12 e 13 de maio de 2009) e outra no período de vazante (9, 10 e 11 de setembro de 2009). A distribuição dos pontos de coleta é mostrada na Figura 1, onde foram coletados dados limnológicos e radiométricos.

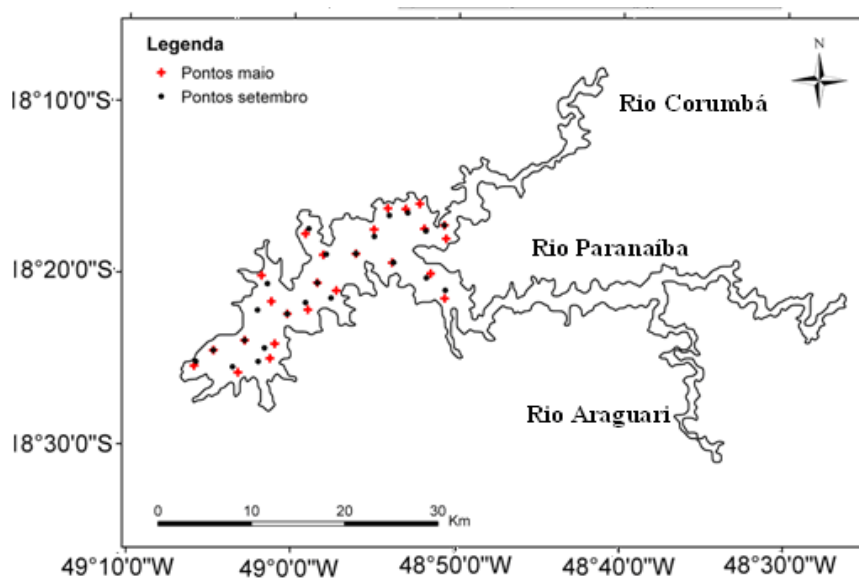


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem durante os campos de maio e setembro de 2009.

2.2.1. Dados limnológicos

Amostras de água foram tomadas a uma profundidade de um metro por meio de uma garrafa de Van Dorn. Essas amostras de água foram analisadas em laboratório com vistas a determinação dos seguintes parâmetros: concentração de clorofila-*a* (μgL^{-1}), material em suspensão orgânico e inorgânico (mgL^{-1}), e carbono orgânico e inorgânico dissolvido (mgL^{-1}). Parâmetros como temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH e turbidez foram amostrados in locu por meio de uma sonda multi-parâmetro YSI. Estes dados foram interpolados por meio do algoritmo de Krigeagem Ordinária (Journel, 1988), com o objetivo de analisar a sua distribuição espacial.

2.2.2. Dados radiométricos

Medidas radiométricas foram realizadas nos pontos amostrais em ambas coletas de campo, utilizando dois equipamentos. Para as medidas acima da superfície da água foi utilizado o radiômetro hiper-espectral *Fieldspec* Hand Held, seguindo o protocolo de aquisição sugerido por Fougne et al. (1999), sem polarizador. Este radiômetro possui campo de visada entre 5° e 15°, resolução espectral de 3 nm e intervalo espectral de 350 a 1100 nm. O cálculo da reflectância de sensoriamento remoto (Rrs) foi realizado de acordo com Mobley (1999). Detalhes dos procedimentos metodológicos podem ser acessados em Nascimento et al (2010).

2.2.3. Coeficiente de absorção dos componentes opticamente ativos

Amostras de água também foram utilizadas para determinação dos coeficientes de absorção do material particulado (fitoplâncton e detritos), e da matéria orgânica dissolvida (CDOM), seguindo os protocolos de análise publicados pelo projeto SeaWiFS da NASA (*National Aeronautics and Space Administration, Mueller et al., 2002*).

3. Resultados e Discussões

Os resultados serão apresentados em três seções, obedecendo a seguinte ordem: (a) análise dos dados limnológicos obtidos *in situ* e analisados em laboratório, (b) dados limnológicos obtidos *in situ* por meio de uma sonda YSI, (c) dados de radiometria da água e (d) a contribuição relativa dos componentes opticamente ativos na água do reservatório.

3.1 Dados de laboratório

- *Concentração de clorofila-a*: a maior concentração de clorofila-a no reservatório foi obtida durante o mês de setembro ($10,02 \mu\text{gL}^{-1}$) e a menor no mês de maio ($2,70 \mu\text{gL}^{-1}$). No mês de maio a região sob transição do rio Araguari com o reservatório foi onde ocorreram as maiores concentrações e os menores na porção norte. No mês de setembro as maiores concentrações também foram encontradas na transição do rio Araguari, assim como em toda a porção sul do reservatório. As menores concentrações se concentraram na entrada do rio Paranaíba e próximo à barragem.

- *Total de sólidos em suspensão (TSS)*: o TSS no reservatório não se alterou de maio a setembro, mostrando que os valores máximos são muito próximos, $1,54 \text{mgL}^{-1}$ e $1,81 \text{mgL}^{-1}$, respectivamente. Os dados interpolados mostram que parece ocorrer um padrão de distribuição do TSS no reservatório, provavelmente devido ao padrão de vento na região. Ou seja, a figura mostra que o TSS parece ter um 'caminho' que se estende do Rio Paranaíba até a barragem.

- *Carbono orgânico dissolvido (COD)*: o COD tem maior concentração no mês de setembro (máximo de $2,59 \text{mgL}^{-1}$) e menor em maio (máximo de $1,17 \text{mgL}^{-1}$). Em maio é possível observar que a concentração de COD aumenta de leste para oeste, ou seja, dos rios para o centro do reservatório. Isto mostra que devido às chuvas e a ação do vento, a maior fonte de COD no reservatório vem da bacia de drenagem.

- *Carbono inorgânico dissolvido (CID)*: assim como o COD o CID também apresenta maiores concentrações em setembro (máximo de $3,76 \text{mgL}^{-1}$) em relação a maio (máximo de $3,22 \text{mgL}^{-1}$). No caso de setembro essas altas concentrações estão concentradas na transição do rio Paranaíba com o reservatório. Já no caso maio se verifica que a transição rio Araguari com o reservatório é o que apresenta menor concentração.

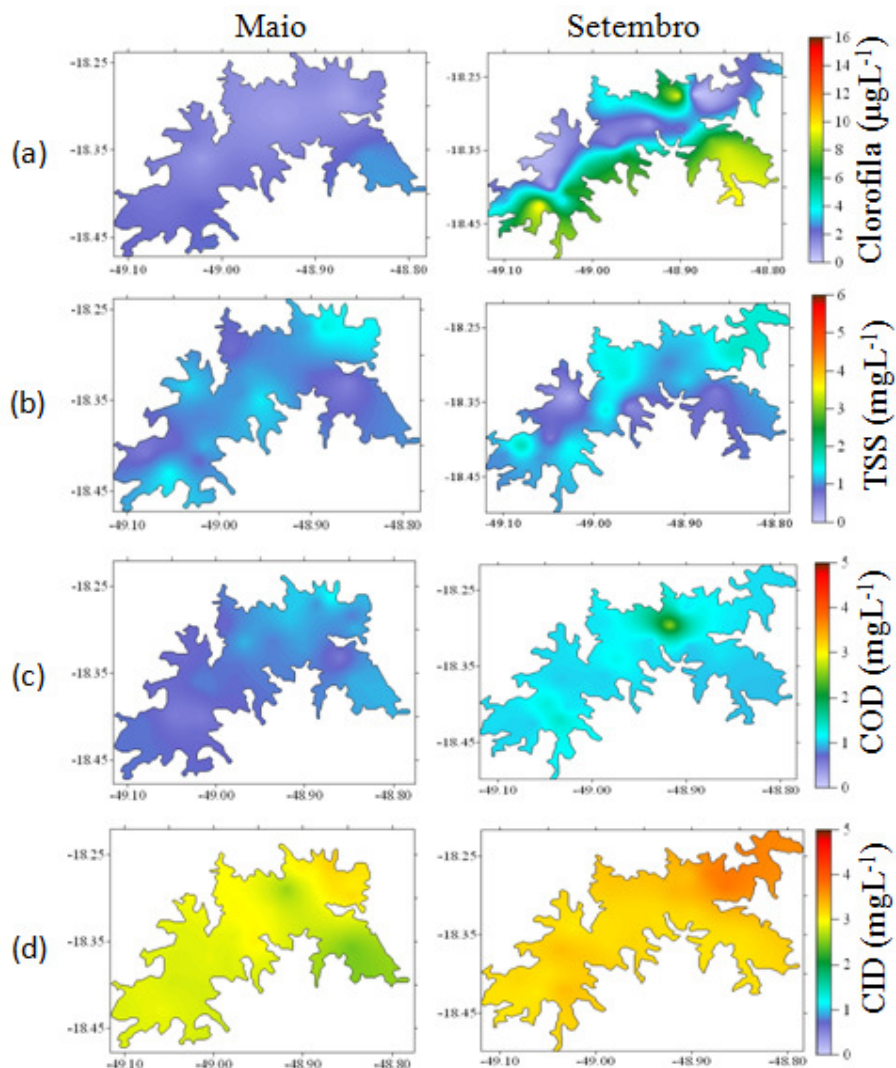


Figura 2. Distribuição espacial dos parâmetros obtidos em laboratório nos meses de maio e setembro: (a) clorofila-a, (b) total de sólidos em suspensão (TSS), (c) carbono orgânico dissolvido (COD) e (d) carbono inorgânico dissolvido (CID).

3.2 Dados da sonda

- *Turbidez*: apresenta maior turbidez durante o mês de maio, com valor máximo de 6,30 NTU; em setembro a turbidez é quase 5 vezes menor. Em maio a turbidez é maior na confluência do rio Paranaíba e menor próximo à barragem. Em setembro é maior nos rios Paranaíba e Araguari e menor no corpo principal do reservatório. Este comportamento é devido maio ser um período chuvoso o que traz por meio de escoamento superficial material de origem terrestre para dentro do reservatório.

- *pH*: em média o pH de ambos os meses em análise apresentam valores muito próximos (maio = 7,63 e setembro = 6,99). No entanto, o pH no mês de maio é mais homogêneo com pouco gradiente horizontal; ao passo que no mês de setembro o pH se apresenta compartimentalizado. A grande diferença entre maio e setembro são os locais onde os maiores valores de pH ocorrem. Em maio esses valores estão mais concentrados nos rios e em setembro na região próxima à barragem.

- *Temperatura da água*: a temperatura da água é maior durante o período chuvoso (maio) e menor durante o período de estiagem (setembro). Em setembro pouco gradiente horizontal

existe. Em maio existe uma diferença de temperatura entre a região próxima da barragem e as outras regiões do reservatório que chega a aproximadamente 4°C.

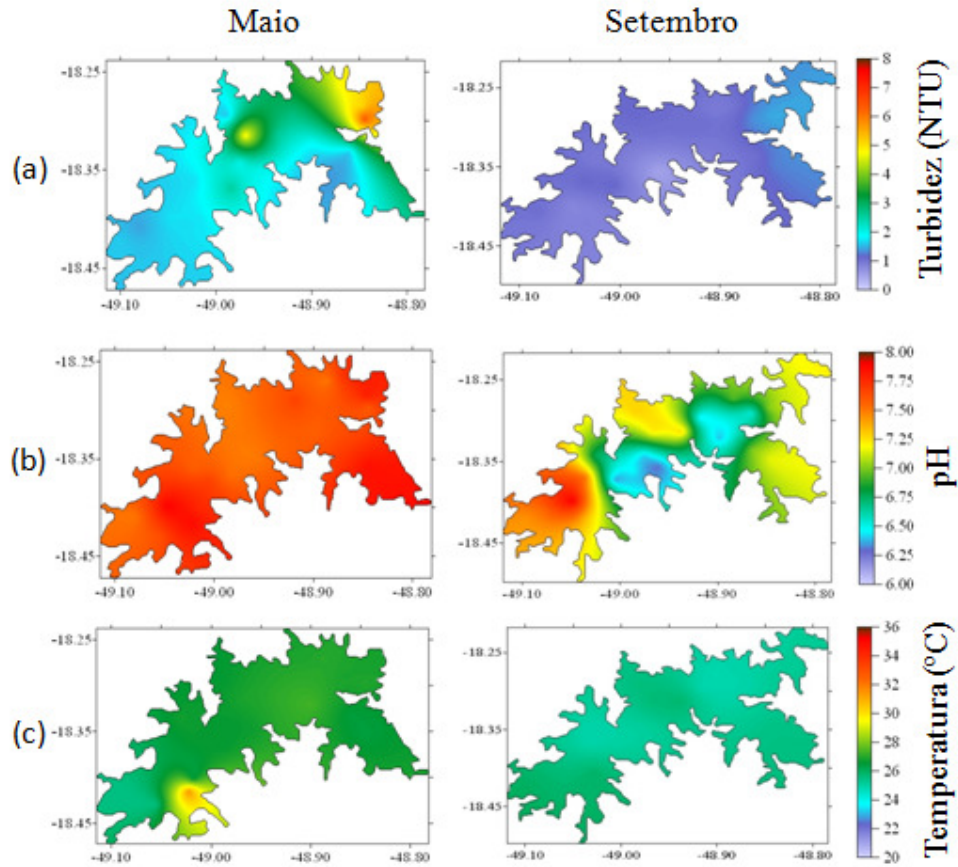


Figura 3. Distribuição espacial dos parâmetros obtidos por meio de uma sonda YSI nos meses de maio e setembro: (a) turbidez, (b) pH e (c) temperatura da água.

3.3 Dados de radiometria da água

As curvas de Reflectância de Sensoriamento Remoto (*Rrs*) coletadas em maio e setembro podem ser observadas na Figura 4. Para os dois períodos de coleta, as curvas apresentaram um pico entre 500 e 600 nm, mostrando uma provável influência por sedimentos inorgânicos em suspensão, pois o espectro de águas dominadas por esse componente apresenta um aumento na reflectância, principalmente, na região entre 580 e 680 nm (Novo et al., 1991). A resposta espectral do sedimento em suspensão também varia de acordo com sua granulometria (Cabral et al., 1990) e a origem e cor do sedimento, sendo que no intervalo de 550 a 570 nm é observado um espalhamento maior (Choubey e Subramanian, 1991; Gitelson e Keydan, 1990).

As curvas espectrais encontradas se assemelham as curvas encontradas por Liew et al. (1999), com baixas concentrações de clorofila e de sedimentos em suspensão. No mês de setembro, observa-se um achatamento do pico. Goodin et al. (1993), demonstraram, ao estudar a resposta fitoplancônica, que as curvas de reflectância sofrem um deslocamento de um pico bem definido em 550 nm, quando a água está pouco turbida, para um pico mais extenso e achatado que vai de 550 nm a 650 nm em águas com níveis mais altos de turbidez. Esse resultado mostra o mascaramento do pico na faixa do verde devido aos sedimentos em suspensão.

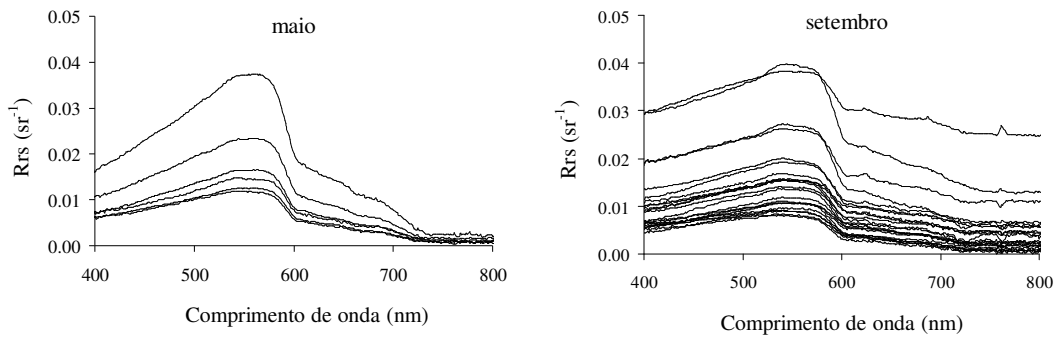


Figura 4. Espectros de Rrs obtidas em campo nos meses de maio e setembro de 2009.

3.4 Contribuição relativa dos componentes opticamente ativos

A partir dos coeficientes de absorção dos componentes opticamente ativos da água, foi construído um diagrama triangular, indicando as importâncias relativas de cada componente, para as duas saídas de campo. A Figura 5 mostra qual o componente dominante nos dois períodos de coleta.

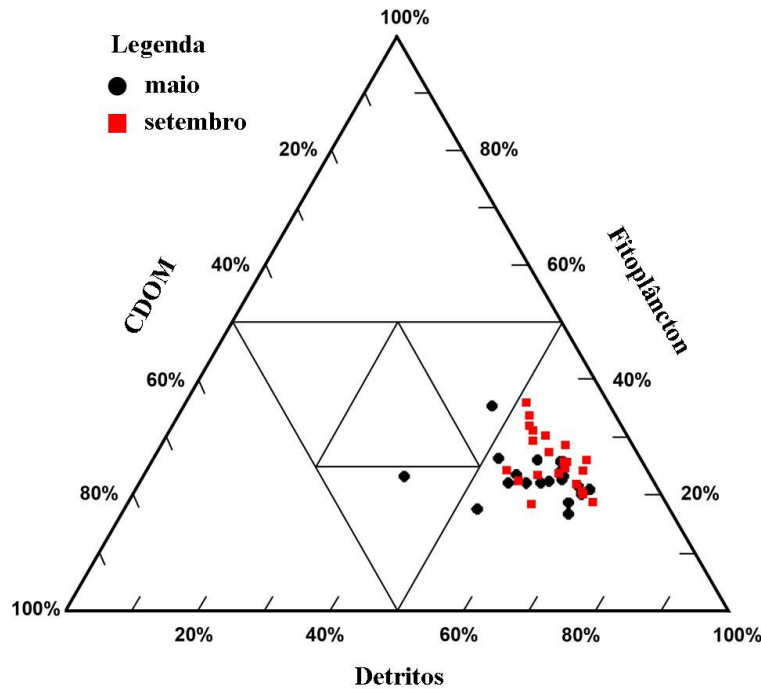


Figura 5. Diagrama ternário indicando a importância relativa de cada componente opticamente ativo. Círculos pretos indicam dados do mês de maio, e quadrados vermelhos indicam dados do mês de setembro.

Nos dois períodos de coleta, fica evidente a dominância por detritos, ou seja, a parte inorgânica do material particulado. No mês de maio algumas amostras indicam uma maior contribuição de matéria orgânica dissolvida. Esse resultado corrobora os dados de Rrs medidos em campo, demonstrados na Figura 4.2 deste documento. Em praticamente todas as amostras analisadas, em maio e setembro, os detritos contribuíram com mais de 50% para a absorção total (descontando-se àquela pela água pura). O fitoplâncton contribui, em média,

com um pouco mais de 20% de todas as coletas. O CDOM apresentou a menor contribuição relativa, ficando abaixo dos 40% em maio, e dos 25% em setembro. Essa aparente maior contribuição do CDOM em maio se deve ao fato de duas amostras apresentarem valores altos de contribuição relativa, cujos pontos amostrais se localizam próximos ao rio Corumbá. De acordo com a metodologia proposta por Prieur e Sathyendranath (1981), a água do reservatório de Itumbiara pode ser classificada como do Caso II, dominada por detritos.

4. Conclusões

De acordo com os resultados encontrados da análise de dados *in situ*, conclui-se que o componente opticamente ativo dominante no reservatório de Itumbiara é o material particulado inorgânico, nos dois períodos de coleta, cheia e vazante.

Os dados coletados pelo perfilador Satlantic, tais como concentração de clorofila, temperatura da água e coeficiente de retroespalhamento do material particulado sugerem uma divisão do reservatório em maio, período de cheia, em dois compartimentos. Um sendo a região do rio Corumbá e o outro o corpo do reservatório como um todo. Em setembro, época de vazante, o reservatório se apresenta de forma mais homogênea, não sendo, portanto, compartimentado.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FAPESP (Projeto: 2007/08103-2) que financiou todos os trabalhos de campo e análise dos dados em laboratório e ao CNPq pela bolsa de mestrado da aluna Renata Nascimento.

Referencias bibliográficas:

Alcântara, E. H. ; Stech, J. L. ; Lorenzetti, J.A. ; Bonnet, M.P.; Casamitjana, X; Assireu, A.T.; Novo, E.M.. Remote sensing of water surface temperature and heat flux over a tropical hydroelectric reservoir. **Remote Sensing of Environment**, p. 2651-2665, 2010a.

Alcântara, E.; Novo, E.M. ; Stech, J.L. ; Assireu, A.T. ; Nascimento, R. ; Lorenzetti, J. ; Souza, A. . Integrating historical topographic maps and SRTM data to derive the bathymetry of a tropical reservoir. **Journal of Hydrology** (Amsterdam), v. 389, p. 311-316, 2010b

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, 6. (SBSR), 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 496-504. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00051-5. (INPE-7870-PRE/3710). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/08.18.17.36>>. Acesso em: 26 out. 2009

Choubey, V. K.; Subramanian, V. Spectral response of suspended sediments in water under controlled conditions. **Journal of Hydrology**, v. 122, p. 301-308, 1991.

Fougnie, B.; Frouin, R.; Lecomte, P.; Deschamps, P. Y. Reduction of Skylight Reflection Effects in the Above-Water Measurement of Diffuse Marine Reflectance. **Applied Optics**, v. 38, n. 18, p. 3844-3856, 1999.

Gitelson, A. A.; Keydan, G. P. Remote sensing of inland surface water quality - measurements in the visible spectrum. **Acta hydrophys**, v. 34, n. 1, p. 5-27, 1990.

Goodin, D. G.; Han, L.; Fraser, R. N.; Rundquist, C.; Stebbins, W. A.; Schalles, J. F. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. **Photogramm. Eng. Remote Sensing**, v. 59, n. 4, p. 505-510, 1993.

Journel, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. Stanford: Stanford Center for Reservoir Forecasting **Applied Earth Sciences Department**, 1988. 85 p.

Liew, S. C.; Lin, I. I.; Kwoh, L. K.; Holmes, M.; Teo, S.; Gin, K.; Lim, H. Spectral reflectance signatures of case II waters: potential for tropical algal bloom monitoring using satellite ocean color sensors. In: 10th JSPS/VCC JOINT Seminar On Marine And Fisheries Sciences, 1999, Melaka, Malasia. **Proceedings...**Melaka,

1999. p. 1-8. Disponível em < http://www.crisp.nus.edu.sg/~liew/txt/LiewSC_JSPS99.PDF >. Acesso em 12 fev. 2009.

Liu, Y.; Islam, M. A.; Gao, J. Quantification of shallow water quality parameters by means of remote sensing. **Progress in Physical Geography**, v. 27, n. 1, p. 24-43, 2003.

Mobley, C. D. **Light and water: radiative transfer in natural waters**. Academic Press, 1994. 592 p.

Mueller, J. L.; Fargion, G. S.; McClain, C. R. Oceans optics protocols for satellite ocean color sensor validation. Revision 4, volume IV: **Inherent optical properties. Greenbelt**: NASA, 2002. 76 p.

Novo, E. M. L. M.; Steffen, C. A.; Braga, C. Z. F. Results of a laboratory experiment relating spectral reflectance total suspended solids. **Remote Sensing of Environment**, v. 36, n. 1, p. 67-72, Apr. 1991.

Nascimento, R. F. F.; Alcântara, E. H.; Kampel, M.; Stech, J. L.; Novo, E. M. L. M.; Fonseca, L. M. G. O algoritmo Support Vector Machines (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2079-2086. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15957-PRE/10566). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/10.20.10.59>>. Acesso em: 3 janeiro 2010.

Prieur, L.; Sathyendranath, S. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 4, p. 671-689, 1981.