# Aplicação de um índice de estado trófico ($IET_{R\ TM4/TM3}$) para monitorar a degradação da água do reservatório da UHE Ibitinga.

Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo [1]
Luciana Resende Londe [2]
Claudio Clemente Farias Barbosa[1]
Carlos Alberto Sampaio de Araujo[1]

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{evlyn, carlos}@dsr.inpe.br
{claudio}@dpi.inpe.br

[2]Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN
Rodovia Presidente Dutra, km 40 - 12630-000 - Cachoeira Paulista, SP, Brazil
{luciana.londe}@cemadem.gov.br

**Abstract.** This paper describes the application of a remote sensing Trophic State Index (TSI) to assess changes in eutrophication suffered by Ibitinga hydroelectric reservoir from 1985 to 2008. The TSI, from now on referred as $TSI_{RTM4/TM3}$, was calibrated with images acquired in 2005. Its application to a Landsat/TM time series was based on the following assumptions: i) the conversion from digital numbers to water surface reflectance would normalize the data set reducing the need for further calibration; ii) images with Sun elevation larger then $40^o$ would minimize surface effects on underwater signal ; ii) images acquired under similar hydraulic residence time would guarantee uniform limnological environment. A set of 15 images were selected, calibrated, atmospheric corrected and geo-referenced. A water mask was built using band TM5 to create a comparable reference among the dates and applied to all scenes. A series of filters were tested and applied to images in order to reduce stripe. After noise removal TM4/TM3 ratio was computed and the $TSI_{RTM4/TM3}$ look up table developed for the 2005 image was applied to all dates. The area occupied for each trophic state class was then computed. The results showed that the Ibitinga reservoir since 1985 can be classified as super-hypereutrophic. These findings are corroborated by data available in the literature showing that the $TSI_{RTM4/TM3}$ can be used as a semi-quantitative tool for assessing the degree of water eutrophication.

**Palavras-chave:** remote sensing, trophic state index, reservoir, sensoriamento remoto, índice de estado trófico, reservatórios.

## 1. Introdução

Os primeiros esforços de aplicação de sensoriamento remoto ao monitoramento da eutrofização datam da década de 1970, mas os sensores então disponíveis não eram adequados à complexidade das águas interiores. Mesmo assim, houve grande esforço em pesquisa básica sobre a interação da radiação eletromagnética com seus componentes oticamente ativos (COA) (Gitelson et al. 1993, 1994; George e Malthus, 2001;).

Vários autores (Gitelson e Kondratyev, 1991; Gons et al. 2002; Daal'Olmo et al. 2003; Daal'Olmo e Gitelson, 2005; Gilerson et al. 2010; Yakobi et al. 2011) testaram algoritmos empíricos e semi-empíricos para estimar a concentração de clorofila-$\alpha$ em águas costeiras e continentais com base em medidas radiométricas obtidas *in situ* ou em simulações de laboratório e com o uso de imagens de sensores orbitais e aerotransportados. Esses vários autores sugerem que a região espectral compreendida entre o vermelho e o infravermelho próximo é particularmente útil para a estimativa da concentração de clorofila em ambientes eutróficos onde a concentração de matéria orgânica dissolvida (colored dissolved organic matter - CDOM) é abundante.

Um estudo realizado no lago Chagan (Nordeste da China) demonstrou a eficiência da razão de bandas TM4/TM3 para estimar a concentração de clorofila - α (Duan et al. 2007). Essa razão inclui o máximo de absorção da clorofila- α no vermelho e o máximo do espalhamento pelas células fitoplanctônicas na região em torno de 700 nm, sendo por isso, sensível às variações de concentração de clorofila principalmente em condições em que o fitoplâncton se mantém em subsuperfície. Segundo os autores o uso dessa razão tem a vantagem adicional de reduzir os efeitos da refletividade da superfície da água e da variação da atmosfera sobre as medidas extraídas de sensores remotos orbitais. A eficiência dessas razões foi corroborada por Londe (2008) em experimento realizado no reservatório da UHE Ibitinga no qual foram utilizadas medidas radiométricas de campo adquiridas simultaneamente a amostras de água para a determinação de clorofila-α.

Os dados de Londe (2008) foram utilizados por Novo et al. (2012) para desenvolver um Indicador de Estado Trófico (IET) a partir da razão das bandas simuladas TM4_sim e TM3_sim ($IET_{_RTM4_sim/TM3_sim}$). O modelo selecionado via simulação Monte Carlo

. $$Log_{10}\ Chl = 2{,}1171 + 1{,}68\ Log_{10}\ (TM4_sim/TM3_sim)$$

Onde Chl é a concentração de clorofila-a foi aplicado e invertido para identificar os intervalos de concentração de clorofila-α, sendo os seis primeiros definidos pela classificação trófica proposta pela CETESB (2012) e os demais intervalos adaptados à amplitude de variação da concentração de clorofila observada em Londe (2008). Esses intervalos foram associados razão de banda TM4/TM3 admitindo-se que uma vez que as imagens encontravam-se transformadas em reflectância da superfície d'água, os coeficientes calibrados para os dados radiométricos poderiam ser aplicados à imagem. A Tabela 1 mostra os intervalos de concentração de clorofila e o correspondente $IET_{R\ TM4/TM3.}$

Tabela 1 - Intervalos de concentração de clorofila - α e respectivos valores de $IET_{R\ TM4/TM3.}$ (Fonte: Novo et al. 2012).

| Clorofila - a (CL) ($\mu g.L^{-1}$) | $IET_{R\ TM4/TM3.}$ |
|---|---|
| CL ≤ 1,17 | TM4/TM3 ≤ 0,0614 |
| 1,17< CL ≤ 3,24 | 0,0614< TM4/TM3 ≤ 0,1119 |
| 3,24 < CL ≤ 11,03 | 0,1119< TM4/TM3 ≤ 0,2300 |
| 11,03 < CL≤ 30,55 | 0,2300< TM4/TM3 ≤ 0,4223 |
| 30,55 < CL≤ 69,05 | 0,4223< TM4/TM3 ≤0,6845 |
| 69,05 < CL ≤ 125 | 0,6845< TM4/TM3≤0,9741 |
| 125 < CL ≤ 165 | 0,9741 < TM4/TM3≤1,1492 |
| 165< CL ≤ 199 | 1,1492< TM4/TM3≤1,2849 |
| 199< CL≤ 500 | 1,2849< TM4/TM3≤2,2126 |
| 500< CL≤ 1000 | 2,2126< TM4/TM3≤3,33450 |
| 1000 < CL | 3,33451<TM4/TM3 |

Segundo Novo et al. (2012) a aplicação do $IET_{R\ TM4/TM3}$ permitiu constatar que 75 % da superfície do reservatório da UHE Ibitinga em outubro de 2005 correspondiam a massas de água super e hipereutróficas, resultados estes corroborados pelas medidas de clorofila-α "in situ" publicadas em Londe (2008) para o mesmo mês.

Nesse contexto, objetivo desse trabalho é apresentar os resultados preliminares de um estudo realizado para avaliar a viabilidade de se aplicar o $IET_{R\ TM4/TM3.}$calibrado para a cena de outubro

de 2005 a uma série histórica de imagens TM/Landsat para as quais não existem dados *in situ*. O pressuposto é que a razão TM4/TM3 é sensível à concentração de clorofila porque está intrinsicamente ligada às propriedades ópticas inerentes desse componente opticamente ativo da água (Kirk, 2011). Assim sendo, se a reflectância de superfície da água puder ser estimada com para toda a série histórica de imagens, então o modelo gerado para 2005 poderá ser aplicado às outras datas com sucesso de modo a se obter uma avaliação semi-quantitativa da distribuição de estado trófico no reservatório estudado.

## 2.Materiais e Métodos

A área de estudo selecionada foi o reservatório da UHE Ibitinga, localizado na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da bacia do Tietê/Jacaré (UGRHi 13). Esse reservatório foi escolhido (Figura1) por se tratar de um corpo d´água já bastante estudado, em várias épocas ao longo do período compreendido pela série temporal de imagens TM/Landsat disponível (Guimarães Jr. et al. ,1998; Vieira et al. 2002; Tundisi et al. 1991, Tundisi et al. 2008; Londe, 2008; Luzia, 2009, Oliveira, 2010). Os dados contidos nesses estudos são importantes para a validação do método proposto.

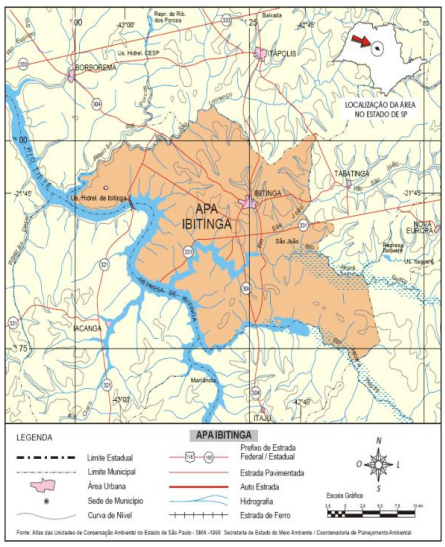



Figura 1- Localização do Reservatório da UHE Ibitinga. Fonte: Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo – Secretaria de Estado do Meio Ambiente

No desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizados dados de vazão efluente, disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) no site www.ons.org.br e imagens do sensor Thematic Mapper, do satélite Landsat-5 - (TM-Landsat), disponibilizadas no site www.dgi.inpe.br/CDSR, referentes à órbita 221/75 que recobre o reservatório da UHE Ibitinga.

O primeiro passo do trabalho foi determinar o tempo de residência hidráulica na UHE Ibitinga referente à data da imagem (outubro de 2005) para a qual o ($IET_{_RTM4\ /TM3}$) foi calibrado. Esse cuidado foi adotado partindo-se do pressuposto que as condições tróficas do reservatório estariam mais próximas à da imagem calibrada em condições similares de residência hidráulica. O tempo de residência hidráulica foi então determinado para toda a série histórica, tendo sido pesquisada a disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens em datas que preenchessem, na medida do possível, aos seguintes critérios: i) condições hidrodinâmicas do reservatório semelhantes à da data utilizada para a calibração do modelo; ii) geometria de aquisição da imagem (ângulo zenital e azimutal da imagem) semelhantes à data utilizada para a calibração; iii) imagens sem nuvens ou sombra de nuvens.

A Tabela 2 apresenta a lista das imagens selecionadas em função do ângulo de elevação e do tempo de residência hidráulica. Foram obtidas 15 cenas que atendiam aos critérios de residência hidráulica superior a 20 dias e ângulo de elevação solar superior a 40$^o$ (Kirk, 2011).

Tabela 2- Imagens disponíveis para a análise segundo os critérios estabelecidos.

| Data da Passagem | Tempo de residência hidráulica (dia) | Ângulo Azimutal do Sol (grau) | Ângulo de Elevação do Sol (grau) |
|---|---|---|---|
| 18/09/1985 | 41,20 | 60,55 | 47,68 |
| 21/09/1986 | 58,40 | 63,50 | 46,67 |
| 10/10/1987 | 22,61 | 70.75 | 53.21 |
| 16/09/1990 | 20,76 | 61,74 | 45,06 |
| 21/09/1992 | 22,49 | 63,43 | 47,13 |
| 13/10/1994 | 64,62 | 74,38 | 51,36 |
| 03/09/1997 | 39,29 | 54,71 | 43,73 |
| 25/09/1999 | 42,01 | 61,56 | 51,17 |
| 11/09/2000 | 27,67 | 56,16 | 47,35 |
| 20/09/2003 | 46,97 | 59,36 | 49,81 |
| 06/09/2004 | 50,32 | 53,13 | 46,88 |
| 11/10/2005 | 35,96 | 67,01 | 58,05 |
| 12/09/2006 | 44,36 | 52,43 | 50,51 |
| 15/09/2007 | 56,83 | 53,51 | 51,33 |
| 01/09/2008 | 58,67 | 51,08 | 45,73 |

As imagens selecionadas foram então submetidas ao processamento descrito no fluxograma da Figura 2 visando à conversão das medidas de níveis digitais brutos em medidas de reflectância de superfície. Para isso, as imagens originais foram submetidas à calibração radiométrica utilizando-se os parâmetros fornecidos por Chander et al. (2009) e informações disponíveis no cabeçalho da imagem (ângulo de elevação solar e data de aquisição da cena). Após esta calibração, as imagens foram submetidas à correção atmosférica com o aplicativo Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH). Esse aplicativo permite que seja calculada a radiância da atmosfera para cada banda a partir dos cálculos realizados pelo modelo de correção atmosférica MODTRAN (Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmitance Algorithm and computer model). O MODTRAN utiliza como entrada parâmetros da aquisição da imagem como coordenada central, horário de passagem (obtidos no cabeçalho da imagem) e a elevação média da cena, bem como informações do sensor (altitude de órbita e tamanho do pixel). Além disso, o modelo também requer alguns pressupostos para definir o tipo de modelo atmosférico (de vários disponíveis), o tipo de partículas da atmosfera (tipo de aerossol) e a visibilidade. Muitos dos dados necessários para o modelo não são disponíveis e não podem ser estimados a partir de canais específicos que permitem medir propriedades da atmosfera. Esta é uma limitação dos sistemas sensores mais antigos, como é o caso do sensor Thematic Mapper.

Devido às limitações de dados para a correção atmosférica e também às limitações do sensor foram feitos vários testes para se definir, entre os dados de entrada, os mais adequados para o conjunto de imagens da área de estudo. No caso específico da região de estudo que se encontra localizada em torno da Latitude de 20$^o$ N, o modelo atmosférico a ser utilizado pode ser o Tropical (T) ou o Mid Latitude Summer (MLS), ou modelo de verão das latitudes

médias. Uma vez definido o modelo, ele prevê os dados de entrada no tocante à temperatura do ar e concentração de vapor de água. O modelo de aerossol adotado na correção atmosférica das imagens de Ibitinga foi o modelo Rural, porque embora seja uma região com cidades, essas áreas não são afetadas intensamente por partículas de origem industrial. O aplicativo de correção atmosfera também possui um método para estimar a visibilidade da atmosfera com base na identificação automática de pixels escuros na cena (Kaufman et al., 1997). Este método pode ser utilizado, quando na ausência de outras informações, como uma forma de padronização na obtenção da visibilidade em estudos envolvendo imagens multitemporais.

Após a conversão das imagens para Reflectância de Superfície as mesmas foram registradas utilizando como base uma imagem do catálogo GeoCover (Tucker et al., 2004), orto-retificada e com acurácia posicional de 50m, disponível em ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/Landsat/. Em cada processo de registro imagem a imagem foram selecionados pelo menos 25 pontos de controle, com erro quadrático médio inferior a 0,5 (15m).

*

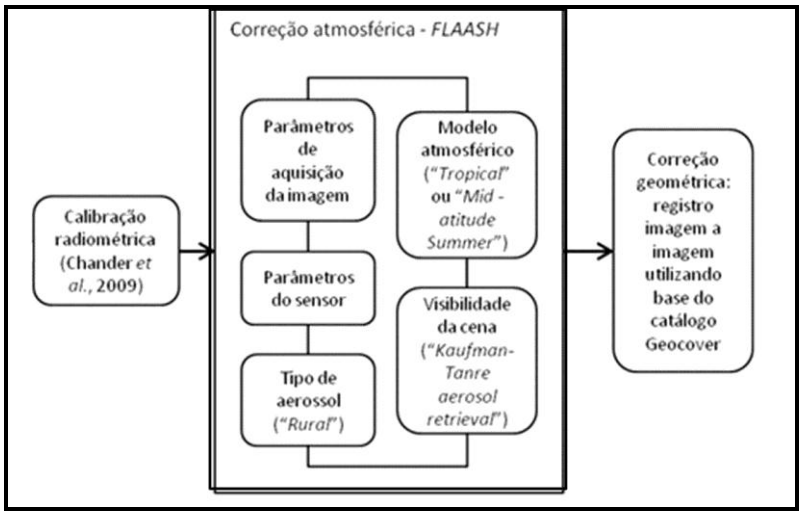



Figura 2 – Principais etapas do processamento das imagens selecionadas para o estudo.

Após o registro das imagens, o próximo passo foi criar uma máscara para delimitar a superfície de água aberta do reservatório. Para isso, foi utilizada a imagem da banda TM5 de modo a criar uma área padrão de comparação ao longo da série temporal. A máscara resultante foi editada manualmente para remover eventuais erros de classificação decorrentes da presença de bancos de plantas aquáticas flutuantes e outros ruídos que comprometessem sua continuidade espacial. A máscara foi então aplicada a todas as imagens das bandas TM3 e TM4. A inspeção das imagens mostrou que em algumas datas ocorriam ruídos em faixas (striping) em alguns setores do reservatório. Foram então testados e aplicados filtros para a remoção dos ruídos. O tamanho das janelas e o tipo de filtro que apresentaram o melhor desempenho variaram cena a cena, e o filtro aplicado foi selecionado a partir do balanço entre a remoção das faixas e a manutenção das bordas do reservatório. Após a remoção do ruído, as bandas TM4 e TM3 foram submetidas à operação de razão de bandas disponível no aplicativo ENVI.

Tendo em vista o grau de incerteza associado ao procedimento de extrapolação de um modelo empírico a uma série histórica, não obstante os pressupostos adotados na sua aplicação, a estratégia adotada para minimizar a incerteza da extrapolação, foi agrupar os intervalos de classes de concentração de clorofila propostos na Tabela 1 em apenas quatro classes mais amplas de estado trófico, conforme descritas na Tabela 3 e adaptadas da CETESB (2012).

A área de cada classe de nível trófico foi calculada para se avaliar as mudanças ocorridas no reservatório em períodos de residência hidráulica superior a 20 dias, conforme os critérios definidos na seleção das imagens. Para a aplicação da tabela 3 à razão de banda foi utilizado um procedimento de fatiamento disponível no aplicativo ENVI 4.8.

Tabela 3 – Classes de nível trófico utilizadas para a análise variação temporal do estado trófico do reservatório da UHE Ibitinga.

| Estado Trófico | Concentração de clorofila-α - CL ($\mu g.L^{-1}$) | $IET_{RTM4/TM3}$ |
|---|---|---|
| Ultra+Oligotrofico | $CL \leq 3,24$ | $TM4/TM3 \leq 0,1119$ |
| Mesotrofico | $3,24 < CL \leq 11,03$ | $0,1119 < TM4/TM3 \leq 0,2300$ |
| Eutrófico | $11,03 < CL \leq 30,55$ | $0,2300 < TM4/TM3 \leq 0,4223$ |
| Super+Hipereutrófico | $30,55 < CL$ | $0,4223 < TM4/TM3$ |

## 3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra a variação temporal entre 1985 e 2008 da porcentagem da área ocupada pelas classes de estado trófico, identificadas pelo $IET_{RTM4/TM3}$.

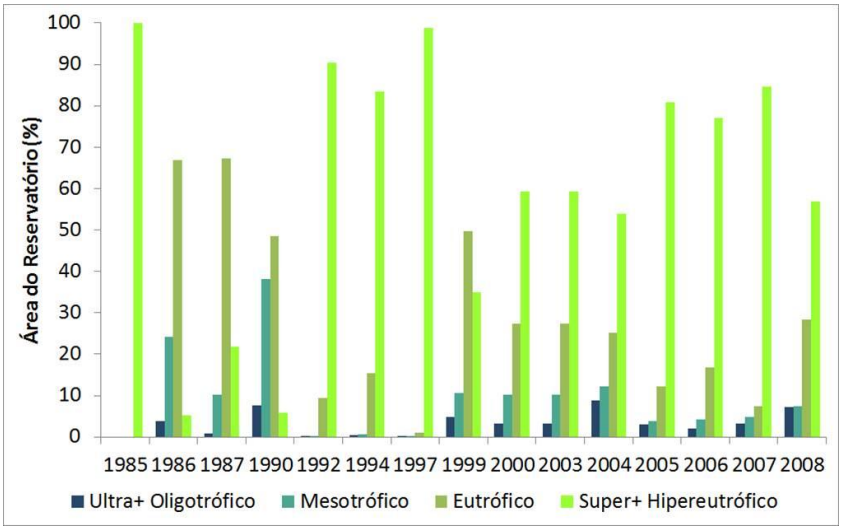



Figura 3 – Porcentagem da área do reservatório da UHE Ibitinga ocupada por diferentes classes de estado trófico entre 1985 e 2008.

A análise da Figura 3 mostra que para situações em que o tempo de residência hidráulica na data de passagem do satélite foi superior a 20 dias, a classe de estado trófico dominante em cerca de 70 % das datas foi a "Super+Hipereutrófico" o que caracteriza um elevado grau de degradação da qualidade da água. A porcentagem de área do reservatório ocupada por tais massas de água variou entre um máximo de 98 % em 1985 com o tempo de residência hidráulica em torno de 40 dias a um mínimo de 53 % em 2004 com um tempo de residência hidráulica em torno de 50 dias. Em termos de qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ibitinga, os resultados mostram que o ano de 1990 foi o último da série em que mais da metade da área do reservatório apresentou massas de água com características adequadas (Ultra+Oligotróficas e Mesotróficas), o que pode estar associado ao fato de que a imagem utilizada na estimativa do $IET_{RTM4/TM3}$ neste ano correspondeu ao menor período de residência hidráulica da série analisada (20 dias). O cotejo desses resultados com as informações

sobre o estado das águas nesse reservatório mostram que o $IET_R_{TM4\ /TM3}$ parece ser uma ferramenta adequada para avaliar as condições tróficas da água.

## 4. Conclusão

Embora preliminares, os resultados alcançados parecem sugerir que o índice de estado trófico baseado na razão de banda TM4/TM3 ($IET_R_{TM4\ /TM3}$) pode-se constituir numa ferramenta útil para a avaliação semi-quantitativa da qualidade das águas de sistemas aquáticos continentais que apresentem condições ambientais similares ao do reservatório da UHE Ibitinga. Os resultados mostram que a aplicação do modelo deve ser precedida por alguns cuidados tais como a seleção de imagens que minimizem o efeito das condições de iluminação sobre as interações entre a radiação eletromagnética e os componentes opticamente ativos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Projeto 2008/56252-0).

## Referências

CETESB Índice de Qualidade das Águas. Disponível *online* em http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas, 2012.

Chandler, G.; Markham, B.L. ; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113, p. 893-903, 2009.

Dall'Olmo, G.; Gitelson, A.; Rundquist, D. C. Towards a unified approach for remote estimation of chlorophyll-a in both terrestrial vegetation and turbid productive waters **Geophysical Research Letters**, v. 30 n. 18 doi:10.1029/2003GL018065, 2003.

Dall'Olmo, G.; Gitelson, A. Effect of bio-optical parameter variability on the remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters: experimental results. **Applied Optics** v. 44, n.20, p. 412-422, 2005

Duan, H. ; Zhang, Y. ; Zhang, B. ; Song, K.; Wang, Z. Assessment of Chlorophyll-a Concentration and Trophic State for Lake Chagan Using Landsat TM and Field Spectral Data. **Environ Monit Assess** v.129, p.295–308, 2007

George, D.G. ; Malthus , T.J. Using a compact airborne spectrographic imager to monitor phytoplankton biomass in a series of lakes in north Wales. **The Science of the Total Environment** v. 268, p. 215-226, 2001.

Gitelson, A.; Szilagyi, F.; Mittenzwey, K.H. Improving quantitative remote sensing for monitoring of inland water quality. **Water Resources**, v.27.n.7, p.1185-1194, 1993.

Gitelson, A.; Mayo, M.; Yacobi, Y.Z.; Parparov, A.; Berman, T. The use of high-spectral-resolution radiometer data for detection of low chlorophyll concentrations in Lake Kinneret. **Journal of Plankton Research** v16(8): 993-1002

Gilerson, A. A.; Gitelson, A. A. ; Zhou, J. ; Gurlin, D.; Moses, W. Ioannou, I. ; Ahmed, S.A. Algorithms for remote estimation of chlorophyll-a in coastal and inland waters using red and near infrared bands, **Opt. Express** v.18, p. 24109-24125 ,2010.

Gitelson, A. A.; Dall'Olmo; G. Moses, W.; Rundquist, D. C. ; Barrow, T. ; Fisher, T. R. ; Gurlin, D.; Holz, J. A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation **Remote Sensing of Environment** v.112,n.9, p. 3582-3593, 2008.

Gitelson, A. A., and K. Y. Kondratyev, Optical models of mesotrophic and eutrophic water bodies, **International J. Remote Sensing**, v. 12,p. 373–385,1991.

Gons, H. J.; Rijkeboer.; M.; Ruddick, K. G. A chlorophyll-retrieval algorithm for satellite imagery (Medium Resolution Imaging Spectrometer) of inland and coastal waters **J. Plankton Res.** v.24,n.9,p. 947-951, 2002.

Gons, H.J.; Rijkeboer, M.;Ruddick, K.G. Effect of a waveband shift on chlorophyll retrieval from MERIS imagery of inland and coastal waters **J. Plankton Res**. v.27,n.1,p. 125-127, 2005.

Guimarães Jr., C. ; Leopoldo, R.R.; Curz, J.A.; Fontana, S.C. Aspectos Limnológicos do Reservatório de Ibitinga-SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3,n.1,p. 89-103, 1998.

Kaufman, Y. J.; Tanri, D;Remer, L. A.; Vermote, E. F.; Chu, A.; Holben, B. N. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. Journal of Geophysical Research, v. 102, n.D14, p.17.051-17.067, 1997.

Kirk, J. T. O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 3.ed. Cambridge, England: Cambridge University, p.509, 2011.

Londe, L. R. Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado – ibitinga (sp). versão: 2008-09-16. 223 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/08.18.12.14>. Acesso em: 10 maio 2012.

Luzia, A.P. Estrutura organizacional do fitoplâncton nos sistemas lóticos e lênticos da bacia do Tietê- Jacaté (UGRHI-Tietê-Jacaré) em relação à qualidade da água e estado trófico. Tese de Doutorado em Ciências(Ciências Biológicas). Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Centro de Ciências Biológicas e Saúde. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. 169 p.

Oliveira, L. L. D. Estudo da estrutura da comunidade zooplanctônica e sua relação com as cianobactérias em três reservatórios do médio Rio Tietê- SP. Dissertação. Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 2010.

Novo, E. M. L.M; Londe, L. R; Barbosa, C. C F; Araujo, C. A.S. de; Rennó, C. D. Desenvolvimento e teste de um indicador de estado trófico a partir de imagens do sensor TM/Landsat. Submetido à revista **Geografia** (Impresso-Rio Claro), 2012.

Tucker, J.; Grant, D.M. ; Dykstra, J.D. NASA's global orthorectified Landsat data set. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.70,n.3 p. 313-322, 2004.

Tundisi, J.G. ; Matsumura-Tundisi, T.; Calijuri, M.C.; Novo, E.M.L. Comparative limnology of five reservoirs in the middle Tietê River, S. Paulo State. **Verh. Internat.Verein. Limnol.**, v.24, p. 1489-1496, 1991

Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; Pareschi, D. C.; Luzia, A. P.; Von Haeling, P.H; Frolini, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos Avançados** v.22, n.63,p. 159-172, 2008.

Vieira, M. S.; Ferreira , J.R. P. ;Castro, M.G. ; Rocha, A. A. Aspectos da química da água e do sedimento do Reservatório de Ibitinga (São Paulo- Brasil - 21° 45' S e 48° 50' W). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 28, n.1 p. 77-91, 2002.

Yacobi, Y. Z. ; Moses, W. J.; Kaganovsky, S. Sulimani, B.; Leavitt, B. C. Gitelson, A. A. NIR-red reflectance-based algorithms for chlorophyll-a estimation in mesotrophic inland and coastal waters: Lake Kinneret case study, **Water Research**, v.45,n.7,p.2428-2436,2011.