
ANÁLISE SAZONAL DA OCORRÊNCIA DE FITOPLÂNCTON NO RESERVATÓRIO DE NOVA AVANHANDAVA COM BASE EM IMAGENS MODIS

REJANE ENNES¹
MONIQUE SACARDO FERREIRA¹
MARIA DE LOURDES BUENO TRINDADE GALO²

Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas^{1,2}
Departamento de Cartografia², Presidente Prudente - SP
rejane_e@yahoo.com.br, mosacardo@gmail.com, mlourdes@fct.unesp.br

RESUMO - A contaminação dos recursos hídricos por rejeitos oriundos das atividades humanas tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde humana. A eutrofização artificial é responsável por produzir mudanças na qualidade da água incluindo a redução de oxigênio dissolvido, da biodiversidade aquática, a morte extensiva de peixes, o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias. Nesse cenário, os dados de Sensoriamento Remoto, tem se apresentado como uma ferramenta eficaz para detecção de Componentes Opticamente Ativos (COAs) presentes no corpo d'água sobre grandes áreas da superfície terrestre permitindo um diagnóstico rápido e eficiente para tomadores de decisão. Ante o exposto, o presente trabalho examinou dados do sensor MODIS em uma análise sazonal da ocorrência de fitoplâncton no reservatório de Nova Avanhandava, localizado no estado de São Paulo. Essa análise fez-se necessária para a identificação de períodos de maior variação na atividade fitoplanctônica, que permita a adequação das campanhas de campo no reservatório para coleta de variáveis limnológicas e obtenção de imagens de satélite. O resultado mostrou que aparentemente o período de seca (março a junho) representou o período de menor atividade fitoplanctônica, enquanto que o período chuvoso (novembro a março) demonstrou ser período mais propício para o desenvolvimento do fitoplâncton em maior escala.

ABSTRACT - Contamination of water resources by waste from human activities has been one of the major risk factors for human health. Eutrophication is responsible for producing changes in water quality including the reduction of dissolved oxygen and aquatic biodiversity, extensive death of fishes, the increased incidence of blooms of algae, mainly cyanobacteria. In this sense, the remote sensing data has emerged as an effective tool for Optically Active Components (OACs) detection in the water body allowing to a rapid and efficient diagnosis to decision-makers. Thus, this study examined data from the MODIS sensor for an analysis of the seasonal occurrence of phytoplankton in the Nova Avanhandava reservoir, located in São Paulo state. This analysis was necessary to identify periods of higher variation in phytoplankton activity, which allows to adequate field campaigns to acquire limnological variables measurements and obtaining satellite images. The result showed that apparently the dry season (March-June) was the period of lowest phytoplankton activity, while the rainy season (November-March) proved be more conducive to the growth of phytoplankton in a larger scale.

1 INTRODUÇÃO

As ações produzidas pelas atividades humanas ao explorar os recursos hídricos foram se tornando complexas ao longo da história da humanidade. Tais atividades foram executadas com o intuito de expandir o desenvolvimento econômico e fazer frente às demandas industriais e agrícolas, à expansão e ao crescimento da população das áreas urbanas (TUNDISI, 2003).

Nesse contexto, o aumento e a diversificação dos usos múltiplos resultaram em uma variedade de impactos de diversas naturezas e magnitudes (TUNDISI, 2003), dentre os quais se cita a eutrofização.

A eutrofização causa o crescimento excessivo de vegetais no corpo d'água e, o grupo vegetal que responde primeiramente à eutrofização são as algas, ou fitoplâncton. A sensibilidade desses seres à carga de nutrientes decorre do fato de que possuem ciclos de vida menores se comparados às macrófitas aquáticas, portanto, qualquer alteração no corpo d'água é rapidamente assimilada pela comunidade fitoplanctônica. Assim, Tundisi (2003) considera que o

crescimento excessivo do fitoplâncton está ligado aos primeiros estágios de eutrofização de um ambiente aquático, enquanto que nos estágios avançados há o crescimento indiscriminado de macrófitas aquáticas.

A origem da palavra fitoplâncton é grega, na qual *phyto* significa 'planta', e plâncton, proveniente de *plagos*, 'vagando'. Esse termo designa um grupo heterogêneo, composto principalmente por algas fotossintetizantes, que se distribui por grande parte dos ambientes marinhos e aquáticos continentais do mundo. Nestes ambientes, é o principal responsável pela captação da energia eletromagnética e sua transformação em energia química - através do processo de fotossíntese - desempenhando, portanto, importante função no sistema. As moléculas que captam e transformam a energia são chamadas de pigmentos fotossintetizantes (ARRAUT et al., 2005).

Devido à propriedade de seus constituintes de interagir com a radiação eletromagnética (REM), provocando diferentes padrões de absorção e espalhamento, o fitoplâncton é considerado um componente opticamente ativo (COA) e, sendo assim, é possível correlacionar sua presença à medidas de reflectância obtidas a partir de bandas espectrais de imagens de sensoriamento remoto. Entretanto, para que isso aconteça é necessário um sensor adequado à aplicação pretendida, que possua bandas espectrais em regiões de conhecida resposta espectral do fitoplâncton e com resolução espacial adequada ao ambiente de estudo. Ainda, se o intuito é um estudo sazonal do comportamento do fitoplâncton na área, o tempo de revisita do sensor sobre o ambiente estudado também deve ser planejado.

Dentre os diversos sensores existentes, cita-se o sensor MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer), instalado a bordo das plataformas TERRA e AQUA, que possui 36 bandas localizadas em faixas espectrais que possibilitam estudos em diversas áreas. Segundo Rudorff et al. (2007), o significativo avanço na área de sensoriamento remoto proporcionado pelo MODIS se deve não apenas à forma inovadora na qual foi concebido o sensor, mas também ao conceito de política de distribuição gratuita das imagens e produtos de alta qualidade. Embora o sensor MODIS não tenha sido especificado para atender aplicações ligadas ao estudo dos sistemas aquáticos continentais, ele possui características que o tornam de grande utilidade para alguns tipos de usos, dentre os quais, destaca-se o monitoramento da abundância de fitoplâncton.

O produto MOD09 tem sido bastante utilizado no estudo de ambientes aquáticos devido ao fato de se tratar de dados de reflectância de superfície, ou seja, são produtos corrigidos radiometricamente cujas características são menos dependentes das condições atmosféricas e geometria de iluminação. O produto MOD09 é computado a partir do nível 1A nas bandas de 1 a 7 com comprimentos de onda centrados em 0,648 μm , 0,858 μm , 0,470 μm , 0,555 μm , 1,240 μm , 1,640 μm e 2,130 μm , respectivamente, com resolução espacial de 250m ou 500m e, dentre essas, quatro estão situadas em regiões do espectro de interesse para detecção de componentes da água, sendo que a banda 4 (545-565 nm) é sensível ao espalhamento pelas células fitoplanctônicas (NOVO et al, 2007).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é utilizar dados de reflectância de superfície obtidos no produto MOD09 para uma análise sazonal preliminar da ocorrência de fitoplâncton no reservatório de Nova Avanhandava, localizado no estado de São Paulo e pertencente à cascata de reservatórios do Rio Tietê. Essa análise faz-se necessária para a identificação de períodos sazonais de maior variação na atividade fitoplanctônica, que permita a adequação das campanhas de campo no reservatório para coleta de variáveis limnológicas e obtenção de imagens de sensoriamento remoto.

2. AREA DE ESTUDOS

A área de estudo está inserida no contexto do reservatório da usina hidrelétrica de Nova Avanhandava, localizado no médio curso do Rio Tietê no município de Buritama-SP. A usina entrou em operação em 1982, com área de cobertura do reservatório de 210 km² e volume de 2.830 x 10⁶ m³ (EAS TIETÊ, 2011). A Figura 1 apresenta a localização do reservatório.

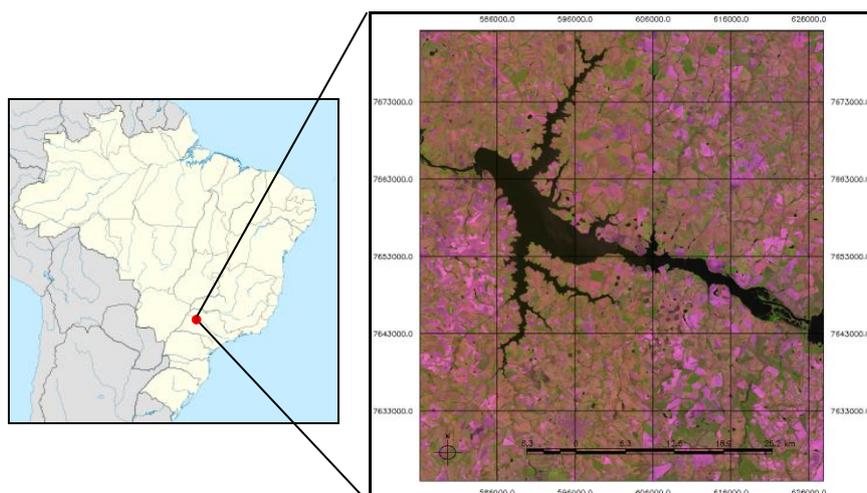


Figura 1 - Ilustração do Reservatório de Nova avanhandava, Baixo Rio Tiête/SP (Imagem: Landsat - Composição colorida: 5R3G 2B).

Segundo Margarete et al. (2008) o reservatório possui muitos tanques-rede para piscicultura. Além disso, visualizando a imagem de satélite, é possível observar a presença predominante de agricultura e pecuária extensiva na região circundante ao reservatório.

3. MATERIAL E MÉTODO

Na realização do trabalho, foi utilizado o produto MOD 09, obtida pela plataforma TERRA, a qual se trata de um mosaico de imagens tomadas durante 8 dias da área de estudo, forma pelo qual os produtos MOD09 são disponibilizados pela USGS (United States Geological Survey). Foram obtidas imagens dos anos de 2010 e 2011 em períodos distintos, com um intervalo de 2 meses a cada aquisição, conforme mostra Tabela 1.

Tabela 1 - Datas de referência dos produtos MOD09A utilizados

2010	2011
02/02/2010	18/02/2011
15/04/2010	15/04/2011
02/06/2010	02/06/2011
05/08/2010	29/08/2011
26/10/2010	24/10/2011
03/12/2010	01/11/2011

Utilizando o aplicativo ENVI 4.4, foi feita uma composição colorida nas bandas 1, 2 e 7 (RGB) para a identificação do reservatório e leitura da reflectância de superfície na imagem. Para coleta dos pixels representativos do reservatório para as épocas selecionadas, optou-se por extrair informações espectrais da imagem considerando uma janela de 3x3 pixels. Este processo foi necessário em virtude de alguns pixels apresentarem comportamento aleatório indicando a presença de ruídos. A região selecionada foi na extremidade inferior do reservatório, considerando o fluxo d'água na direção de leste para oeste.

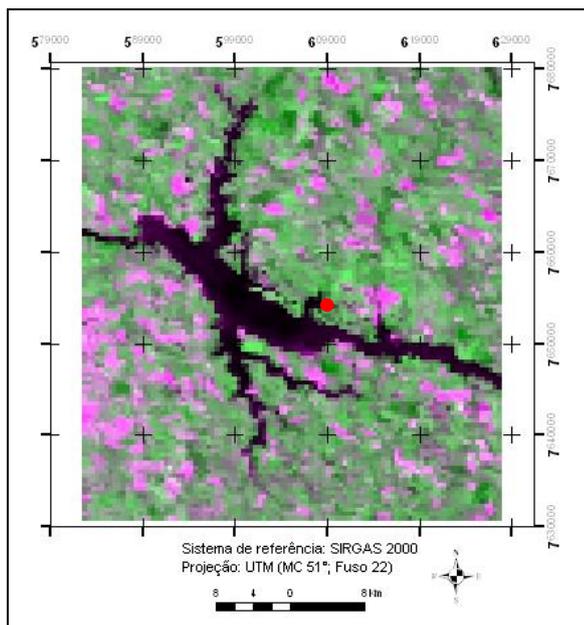


Figura 2 – Composição colorida nas bandas 1, 2 e 7 (RGB) do produto MOD09 do sensor MODIS sobre o reservatório de Nova Avanhandava, com a localização de ponto para extração de informação espectral. -

As bandas selecionadas para coleta de informações espectrais foram as que abrangem a região espectral em que a água e seus componentes interagem com a energia eletromagnética, ou seja, de 400 a 800 nm (KIRK, 1993). A Tabela 2 apresenta as bandas espectrais comumente utilizadas em sistemas aquáticos continentais do produto MOD09, segundo Novo et al, 2007.

Tabela 2 - Bandas espectrais utilizadas em sistemas aquáticos continentais do produto MOD09.

Banda	Largura das Bandas (nm)	Aplicações em ambientes aquáticos continentais
1	620 nm – 670 nm	Sensível a variações na concentração de partículas inorgânicas em suspensão
2	841 nm – 876 nm	Permite delimitar a superfície de água livre dos lagos e auxilia mapear o limite entre água e vegetação
3	459 nm – 479 nm	Sensível à presença de matéria orgânica dissolvida na água
4	545 nm – 565 nm	Sensível ao espalhamento pelas células fitoplânctônicas

Como o interesse da pesquisa é a resposta espectral de COAs presentes no corpo d'água, a banda 2 não foi utilizada. Ainda, além da banda 4, que é peculiar a presença de células fitoplânctônicas, também selecionou-se as Bandas 1 e 3, em decorrência dessas regiões espectrais também estarem relacionadas a resposta espectral de células fitoplânctônicas, de acordo com Dekker (1993), Kutser et al. (2006) e Kirk (1993). Assim as curvas espectrais geradas foram compostas por três bandas espectrais: 1, 3 e 4.

Com a definição das bandas espectrais, gerou-se um arquivo ASCII para cada imagem com nove curvas espectrais (pixel central e oito pixels vizinhos), e calculou-se a média para a definição de uma nova curva espectral para o ponto. Com as informações espectrais obtidas para cada época, foi efetuada uma análise estatística, que buscou avaliar a época de maior variação na atividade fitoplanctônica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de reflectância de superfície das bandas 1, 3 e 4 para cada época dos anos analisados seguem nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Valores de reflectância de superfície para as Bandas 3, 4 e 1 do Produto MOD 09 em 2010

Datas	B3	B4	B1
fev/10	0,02855	0,05735	0,042588
abr/10	0,024638	0,05035	0,030575
jun/10	0,018875	0,0376	0,020975
ago/10	0,027925	0,040688	0,029113
out/10	0,028388	0,052375	0,030588
dez/10	0,024271	0,048271	0,0249

Tabela 4 - Valores de reflectância de superfície para as Bandas 3, 4 e 1 do Produto MOD 09 em 2011

Datas	B3	B4	B1
fev/11	0,022289	0,050778	0,028189
abr/11	0,022189	0,043011	0,027256
jun/11	0,019111	0,0351	0,020967
ago/11	0,017111	0,0309	0,020167
out/11	0,032888	0,0538	0,029275
nov/11	0,0504	0,06425	0,054363

Os Gráficos 3 e 4 apresentam o comportamento das bandas espectrais para os anos de 2010 e 2011, respectivamente.

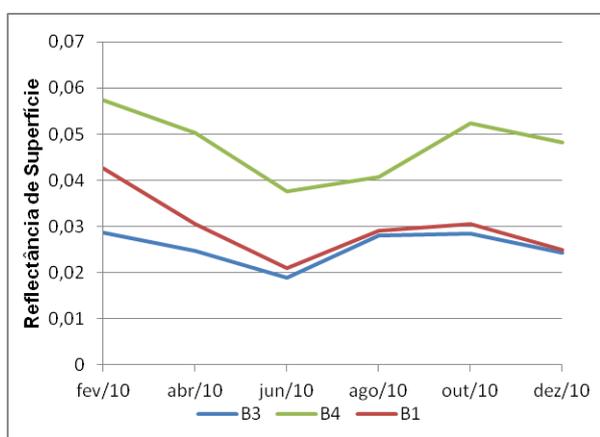


Figura 3 - Comportamento espectral das Bandas 3, 4 e 1 para o ano de 2010.

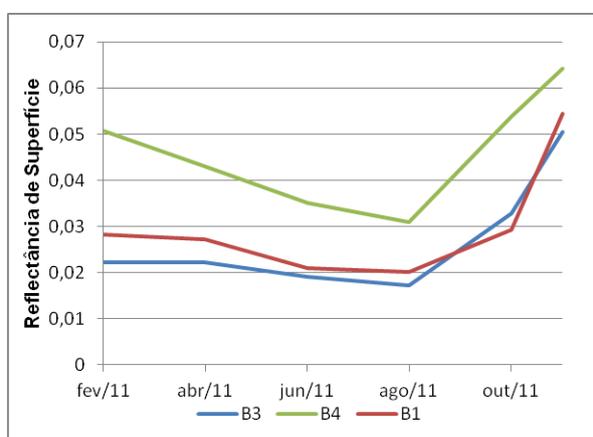


Figura 4 - Comportamento espectral das Bandas 3, 4 e 1 para o ano de 2011.

Primeiramente, os valores entre as três bandas espectrais mostram-se altamente correlacionados (coeficientes de correlação superiores a 0,8). De acordo com os dados apresentados, a época de menor atividade fitoplanctônica corresponde aos meses de seca, de abril à junho. No ano de 2010, o mês de agosto representou aumento no valor de reflectância, porém em 2011 esse valor ainda permaneceu baixo. Também é verificado que a partir de outubro os valores aumentaram nos dois anos, representando o período chuvoso. No ano de 2010 o mês de dezembro representou um declínio nos valores, no entanto, em 2011 a análise só pode ser feita até início de novembro, no qual os valores representam aumento contínuo no valor de reflectância desde agosto para todas as bandas. O mês de fevereiro mostrou valores altos para 2010 e intermediários para 2011.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), o fitoplâncton normalmente se reproduz dependendo das condições fisiológicas das células, dos mecanismos hidrodinâmicos, da temperatura da água, do suprimento de nutrientes, da circulação vertical, dos efeitos dos ventos, da precipitação na turbulência e principalmente da qualidade e quantidade de luz, as quais variam em função do clima de radiação e das características das massas de água. No ecossistema analisado, aparentemente, a principal função de força que atua sobre a comunidade fitoplanctônica é a precipitação durante o período de verão (novembro a março). Essa situação pode promover o enriquecimento de nutrientes, em especial nitrogênio e fósforo, pelo carreamento de tais substâncias do entorno do reservatório levadas pela chuva. Ainda, no período mais seco do ano (abril a outubro) as hidrelétricas tendem a fechar algumas comportas para manter o nível d'água das represas, causando um aumento no tempo de retenção da água e conseqüente elevação das taxas de sedimentação dos nutrientes.

Como cita Esteves (1998), lagos de regiões tropicais possuem uma periodicidade não uniforme e existem poucas evidências para ocorrência de flutuações ligadas às estações do ano (flutuações sazonais). Assim, a variação da composição específica ou da densidade do fitoplâncton, nesses lagos, está associada mais a fatores locais do que a

fatores sazonais. Além disso, as represas apresentam tempos de residência (volume/vazão da água) muito distintos nas diferentes épocas do ano.

4. CONCLUSÃO

Ante o exposto, o sensor MODIS mostrou-se uma ferramenta adequada à detecção de variações na reflectância de superfície no ambiente considerado. O resultado mostrou que aparentemente o período de seca (março a junho) representou o período de menor atividade fitoplanctônica, enquanto que o período chuvoso (novembro a março) demonstrou período mais propício para desenvolvimento em maior escala do fitoplâncton. Porém, para corroborar os dados é necessário fazer uma análise mais criteriosa com aquisição de dados adicionais, tais como, variáveis limnológicas, circulação dos ventos, precipitação para correlacionar e validar os dados obtidos por Sensoriamento Remoto.

Deve-se considerar ainda, que o produto MOD09A1 trata-se de uma composição de cenas de 8 dias, o qual pode prejudicar a avaliação do recurso hídrico devido à característica de dinâmica do corpo d'água que é sensível à defasagem temporal. Ainda, por ser tratar de uma área extensa, recomenda-se uma análise temporal maior para validação do padrão de comportamento espectral.

REFERÊNCIAS

ARRAUT, E. M.; et al. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do lago grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII, 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 2447-2456.

EASTIETE Nova Avanhandava: EASTIÊTE, 2011. Apresenta informações sobre o reservatório. Disponível em: <<http://www.aestiete.com.br/usinas/Paginas/NovaAvanhandava.aspx>>. Acesso em 06 de Novembro de 2011.

MARGARETE, M. et al. Produção de peixes em tanques-rede e a qualidade de água. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, São José do Rio Preto, Jun. 2008. p. 47.

KIRK, J.T.O. **Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems**, London, Cambridge University Press, 1994, v. 2, p. 507.

RUDORFF, F. T. et al. **O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: A. Silva Vieira. Ed., 2007.

NOVO, E. M. L. M. et al. Sistemas Aquáticos Continentais. In: RUDORFF, F. T. et al. **O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: A. Silva Vieira. Ed., 2007.

DEKKER, A G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. 1993. 211 f. Tese (PhD theses) Free University, Amsterdam.

KUTSER T. Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. **Limnol. Oceanogr.** v. 49, n. 6, p. 2179–2189, 2004.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, Ite, 2003. 248p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia, São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 631.