

Caracterização sazonal das propriedades ópticas inerentes nos reservatórios de Barra Bonita e Nova Avanhandava, São Paulo

Thanan Rodrigues¹

Enner Alcântara²

Fernanda Watanabe¹

Nariane Bernardo¹

Luiz Rotta¹

Nilton Imai¹

¹ Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista – Unesp/FCT
Rua Roberto Símonsens, 305 - 19060-900 - Presidente Prudente, SP, Brasil
{twalesza, fernandasyw, narianebernardo, luizhrotta}@gmail.com, nnimai@fct.unesp.br

² Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista – Unesp/ICT
Rod. Presidente Dutra, Km 137,8 - 12247-004 - São José dos Campos, SP, Brasil
enner.alcantara@ict.unesp.br

Abstract. In order to verify the effect of a cascade system in the water quality of two tropical reservoirs in Brazil, this work proposed to make use of the inherent optical properties (IOPs). From upstream to downstream, Barra Bonita (BB) is the first in a set of six reservoirs along Tietê River and Nova Avanhandava (Nav) is the fifth reservoir. BB is eutrophic whilst Nav is an oligo to mesotrophic environment. According to the IOP analysis, it was possible to observe that BB was organic matter dominated and Nav was inorganic matter dominated. The factors that control the nature of both water composition can be attributed to land use and land cover of the watershed as well as the type of operation system, type of soil, anthropogenic activities and so forth. These differences are noticeable in bio-optical modeling, therefore we must consider different approaches to retrieve water quality parameters in both sites, once, the models take into account the specific information about the IOP and their relation with the optically significant components (OSCs) concentration. In addition, the results of this research can provide comparable data to other water systems and improve the comprehension about the optical properties of complex water bodies.

Palavras-chave: remote sensing, water quality, inland water, optical properties, sensoriamento remoto, qualidade da água, águas interiores, propriedades ópticas.

1. Introdução

As propriedades ópticas da água são a base dos algoritmos voltados para a estimação dos constituintes da água. Variações dessas propriedades podem alterar os parâmetros dos modelos, assim como, as bandas espectrais ótimas e acurácia dos algoritmos. Visando melhorar a performance dos modelos bio-ópticos (abordagens semi-analíticas), a compreensão da variabilidade dos coeficientes de absorção (a , m^{-1}) e retroespalhamento (b_b , m^{-1}) é de fundamental importância. Esses coeficientes influenciam a magnitude e distribuição espectral da reflectância logo acima da superfície. As águas interiores tipicamente apresentam altas concentrações de material orgânico dissolvido colorido (CDOM), fitoplâncton e particulado inorgânico (Riddick et al. 2015). As propriedades ópticas inerentes (POIs) são consideradas fonte de incertezas na interpretação da reflectância logo acima da superfície e apresentam alta variabilidade em águas interiores.

Os reservatórios configurados no sistema de cascata geram modificações limnológicas que podem ser percebidas de montante a jusante com a redução da turbidez e aumento da transparência da água. Além disso, os fatores bióticos e abióticos da água se acumulam até o último reservatório, que recebe *inputs* de todos os reservatórios a montante (Barbosa et al. 1999). As POIs podem de alguma maneira ser moduladas pelo processo de filtragem biogeoquímica de montante a jusante. Estudos destacaram o melhoramento da qualidade da água nos reservatórios de montante a jusante (Smith et al. 2014), no entanto, até o momento

poucas pesquisas têm apresentado discussões acerca da variação das POIs em águas interiores tropicais configuradas em um sistema de cascata no Brasil. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade sazonal das POIs em dois reservatórios situados ao longo do sistema de cascata do rio Tietê, sendo um localizado a montante e outro a jusante. O resultado pode auxiliar pesquisas voltadas para a modelagem bio-óptica de ambientes opticamente e limnologicamente distintos.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

Os reservatórios de Barra Bonita (BB) e Nova Avanhandava (Nav) estão situados no médio e baixo curso do rio Tietê, respectivamente (Figura 1). O reservatório de BB, a montante do rio Tietê, é do tipo acumulação e entrou em operação em 1963. A área do reservatório é de 310 km², com comprimento da barragem de 480 m, tempo de residência de 90.3 dias (<http://www.aestiete.com.br/geracao/Paginas/nossas-usinas.aspx#conteudo>), sendo formada a partir do represamento dos rios Tietê e Piracicaba. O reservatório de Nav, a jusante do rio Tietê, é do tipo fio d'água e foi formado em 1982, inundando uma área de 210 km² (em sua cota máxima), volume útil de $3,8 \times 10^8$ m³, perímetro de 462 km, tempo médio de residência da água em torno de 46 dias e vazão média de 688 m³ s⁻¹ (Torloni et al. 1993).

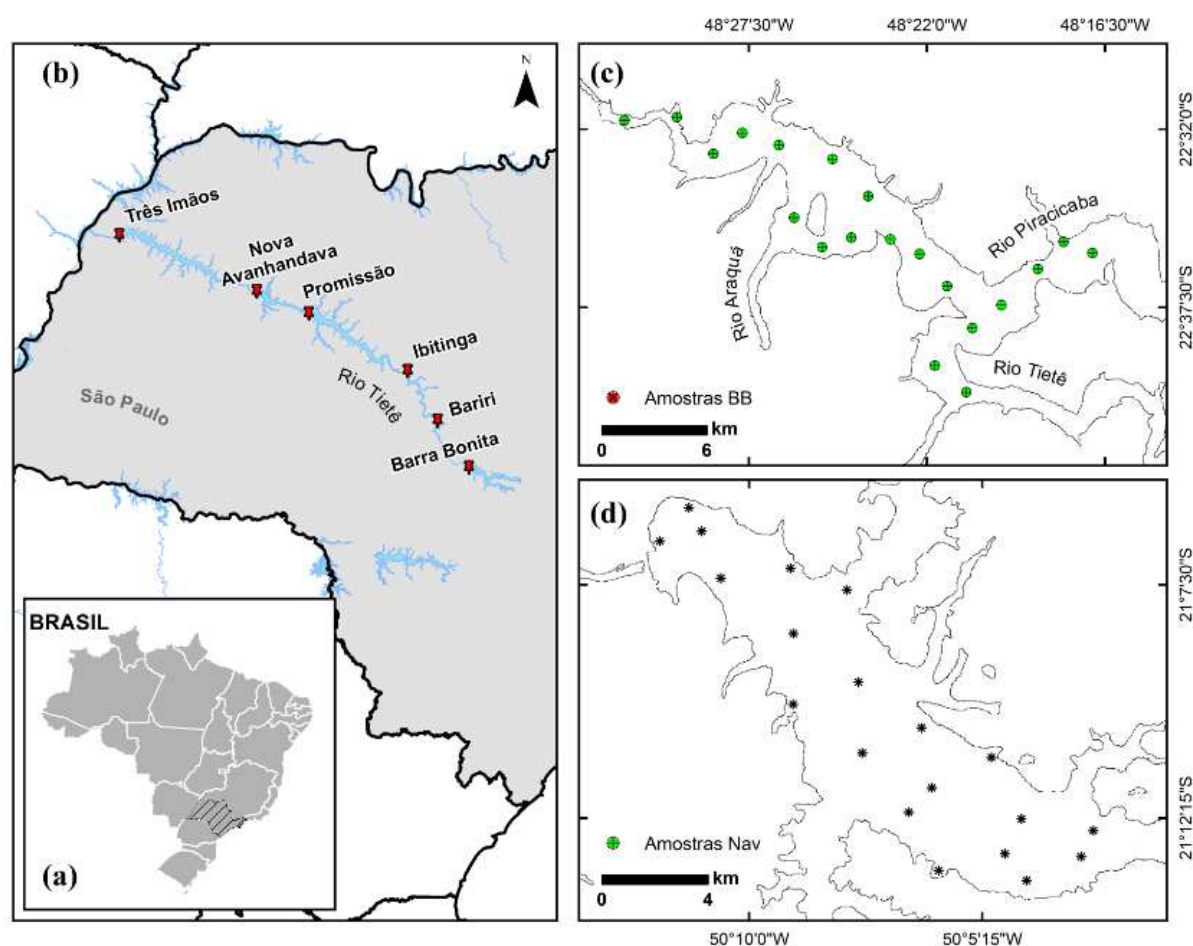


Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo. (a) localização do Estado de São Paulo no contexto brasileiro, (b) ênfase do sistema de reservatórios em cascata de montante a jusante (Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos), (c) amostras coletadas no reservatório de Nova Avanhandava e (d) reservatório de Barra Bonita.

2.2 Dados de Campo e Estratégia de Amostragem

As amostras de água foram coletadas em quatro campanhas de campo. Para Nav, as coletas foram realizadas durante o outono austral (28 de Abril – 2 de Maio/2014) e primavera austral (23 a 26 de setembro/2014). Para BB, os campos foram realizados no outono austral (5 – 9 de Maio/2014) e primavera austral (13 – 16 de Outubro/2014). Ambas estações apresentam taxa de precipitação intermediária entre o verão (período úmido) e inverno (período seco). Vale ressaltar que os períodos compreendidos pelos anos de 2013/2014 e 2014/2015, foram marcados por dois eventos de seca (Coelho et al. 2015). Eventos extremos como este podem afetar o abastecimento de água, assim como sua disponibilidade para agricultura, geração de energia e uso público durante o verão austral (dezembro – março) (Khan et al. 2015). Os locais de amostragem foram definidos conforme metodologia de Rodrigues et al. (2016a). Parâmetros de qualidade da água tais como: transparência da água medida pelo disco de Secchi (Z_{SD}), turbidez, oxigênio dissolvido (OD), clorofila-*a* (Chl-*a*) e totais sólidos suspensos (TSS) foram coletados. A quantidade de água coletada para ambos os reservatórios foi definida conforme concentração de material particulado contido no filtro. Para BB foi necessário 2.5 L de água enquanto que para Nav, foi coletado 5 L por ponto amostral. O material foi então refrigerado para análises laboratoriais e as concentrações de TSS e Chl-*a* foram determinadas conforme metodologia de APHA (1998) e Golterman et al. (1978), respectivamente.

2.3. Determinação das POIs

A soma dos coeficientes de absorção do particulado não-algal, $a_{NAP}(\lambda)$, fitoplâncton, $a_{\phi}(\lambda)$, CDOM, $a_{CDOM}(\lambda)$, e água pura, $a_w(\lambda)$, constituem o coeficiente total de absorção, $a(\lambda)$. Os valores de $a_w(\lambda)$ foram baseados em Pope e Fry (1997). A determinação do coeficiente de absorção do particulado total ($a_p = a_{NAP} + a_{\phi}$) contou com o módulo da esfera integradora presente no espectrofotômetro de duplo feixe da Shimadzu UV-2600 UV-Vis (Shimadzu, Japão), com amostragem espectral de 1 nm em um intervalo de 280 nm a 800 nm. A estimativa de a_p foi definida conforme método de Transmitância-Reflectância (Tassan e Ferrari 1995, 1998). Nesta etapa, o filtro de fibra de vidro Whatman GF/F de 0.7 μ m de porosidade foi adotado para filtrar um volume pré-determinado de água referente a cada reservatório em estudo, sendo 250 a 500 mL para BB e 1 L para Nav. Um filtro branco, umedecido com água ultrapura foi utilizado como referência, enquanto que o filtro contendo o material particulado foi posicionado na esfera integradora para que fosse mensurado sua densidade óptica (DO). Para obtenção de a_{NAP} , o filtro foi submetido a despigmentação por meio da oxidação por hipoclorito de sódio (NaClO) a 10%, garantindo assim, a diminuição da interferência de pigmentos, e por meio de relações empíricas descritas por Tassan e Ferrari (1995, 1998), foi determinado o respectivo coeficiente, sendo que para obtenção de a_{ϕ} utilizou-se a equação 1:

$$a_{\phi} = a_p(\lambda) - a_{NAP}(\lambda) \quad (1)$$

Para a estimativa de $a_{CDOM}(\lambda)$, o mesmo volume de água empregado anteriormente foi inicialmente filtrado através de um filtro Whatman GF/F com porosidade de 0.7 μ m e em seguida refiltrado a baixa pressão utilizando filtro de membrana de nylon com porosidade de 0.2 μ m (Tilstone et al. 2002). As leituras foram realizadas por meio do espectrofotômetro Shimadzu UV-2600 UV-Vis no modo absorvância, no qual as amostras foram colocadas em cubetas de quartzo com 10 cm, sendo que para cada conjunto de medidas, realizou-se a leitura da referência contendo água Milli-Q. Para cada amostra lida ($DO_{amostra}$), foi subtraído o valor de absorvância da referência (DO_{branco}). As densidades ópticas medidas ($DO_{amostra}$) foram convertidas em coeficiente de absorção através da multiplicação por 2.303 e dividido pelo

caminho óptico ($l = 0.1$ m para uma cubeta de 10 cm). Portanto, $a_{CDOM}(\lambda)$ foi estimado através da equação 2:

$$a_{CDOM}(\lambda) = 2,303 \frac{DO_{amostra}}{l} = 2,303 \frac{DO_{amostra}}{0,1} \quad (2)$$

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização Geral da Qualidade da Água e das Propriedades Ópticas

Os parâmetros de qualidade da água apresentaram valores médios distintos (p -valor $< 0,05$) considerando cada um dos reservatórios (Tabela 1). A concentração média de Chl-*a* em BB foi maior em outubro/2014 ($428,7 \text{ mg m}^{-3}$) do que em maio/2014 ($120,4 \text{ mg m}^{-3}$) comparado a Nav, cuja média não excedeu $9,0 \text{ mg m}^{-3}$ em ambas as estações.

Tabela 1. Estatística descritiva referente aos campos realizados em Nav e BB (as notações da tabela se referem a: Med: média, DP: desvio padrão, Min-Max: mínimo-máximo).

		Nav 1 (<i>n</i> = 20)	Nav 2 (<i>n</i> = 19)	BB 1 (<i>n</i> = 20)	BB 2 (<i>n</i> = 20)
TSS (mg l^{-1})	Med $\pm$ DP	$1.0 \pm 0.6^*$	1.0 ± 0.6	7.2 ± 3.9	22.0 ± 7.0
	Min-Max	$0.1 - 2.6^*$	$0.5 - 2.8$	$3.6 - 16.3$	$10.8 - 44.0$
Chl- <i>a</i> (mg m^{-3})	Med $\pm$ DP	6.2 ± 2.5	9.0 ± 4.2	120.4 ± 68.5	428.7 ± 154.5
	Min-Max	$2.5 - 12.6$	$4.5 - 20.5$	$17.8 - 279.9$	$263.2 - 797.8$
Turbidity (NTU)	Med $\pm$ DP	1.6 ± 0.4	1.7 ± 0.4	5.8 ± 2.4	18.6 ± 5.3
	Min-Max	$1.0 - 2.5$	$1.0 - 2.6$	$1.7 - 12.5$	$11.6 - 33.2$
Z_{SD} (m)	Med $\pm$ DP	3.2 ± 0.6	3.4 ± 0.6	1.5 ± 0.4	0.6 ± 0.1
	Min-Max	$2.3 - 4.8$	$2.5 - 4.7$	$0.8 - 2.3$	$0.4 - 0.8$

* $n = 17$

O aumento da concentração de Chl-*a* em outubro foi relacionado aos efeitos resultantes da seca ocorrida no período anterior à coleta das amostras (Watanabe et al. 2016a). A turbidez em BB foi considerada estatisticamente diferente em ambas as estações, enquanto que Nav não apresentou diferenças estatísticas (p -valor $< 0,05$). Em relação à concentração de TSS, Nav apresentou valores médios aproximadamente iguais a $1,0 \text{ mg l}^{-1}$ comparado a BB, que mostrou variabilidade sazonal significativa com média de $7,2 \text{ mg l}^{-1}$ em maio e $22,0 \text{ mg l}^{-1}$ em outubro.

Comparando os dois reservatórios, observa-se claramente que BB é mais turbido devido a elevada contribuição de fitoplâncton, principalmente no campo de outubro, cujo valor máximo alcançado para Chl-*a* foi de $797,8 \text{ mg m}^{-3}$ próximo a barragem. No entanto, Nav apresentou baixas concentrações de Chl-*a* e TSS levando a uma melhor qualidade da água. Z_{SD} apresentou valores altos para Nav, com máximo de 4,8 m e mínimo de 2,3 m, ambos observados no primeiro campo. A máxima Z_{SD} de 2,3 m foi observada em BB referente ao primeiro campo, enquanto que a mínima profundidade de 0,4 m foi vista no segundo campo. A variação da qualidade da água esteve altamente vinculada com as condições de precipitação e posição dos reservatórios no sistema de cascata. A análise desses parâmetros com base apenas nos reservatórios, pode não fornecer uma ampla visão da dinâmica da qualidade da água, uma vez que o tipo de estrutura em cascata gera descontinuidade das características físicas e biológicas (Barbosa et al. 1999).

Parâmetros da qualidade da água, tais como: TSS e Chl-*a*, assim como as POIs em 443 nm, foram plotadas umas contra as outras de modo que suas relações pudessem auxiliar na caracterização da constituição da água em ambos os reservatórios (Figura 2). Nenhuma relação foi estatisticamente observada (p -valor $> 0,05$) entre TSS e Chl-*a* para Nav (Nav 1: $R = 0,44$, Nav 2: $R = -0,18$), indicando que Nav não é dominada por fitoplânctons. No entanto, para BB,

foi observada relação linear estatisticamente significativa (p -valor $< 0,001$) para as duas campanhas (BB 1: $R = 0,75$, BB 2: $R = 0,60$), evidenciando que o fitoplâncton foi o principal constituinte do TSS. A relação entre $a_\phi(443)$ e Chl- a não apresentou correlação (p -valor $> 0,05$) para Nav (Nav 1: $R = 0,42$, Nav 2: $R = -0,22$), possivelmente devido a absorção não somente da Chl- a , mas também por outros pigmentos acessórios como os carotenóides (Wu et al. 2011).

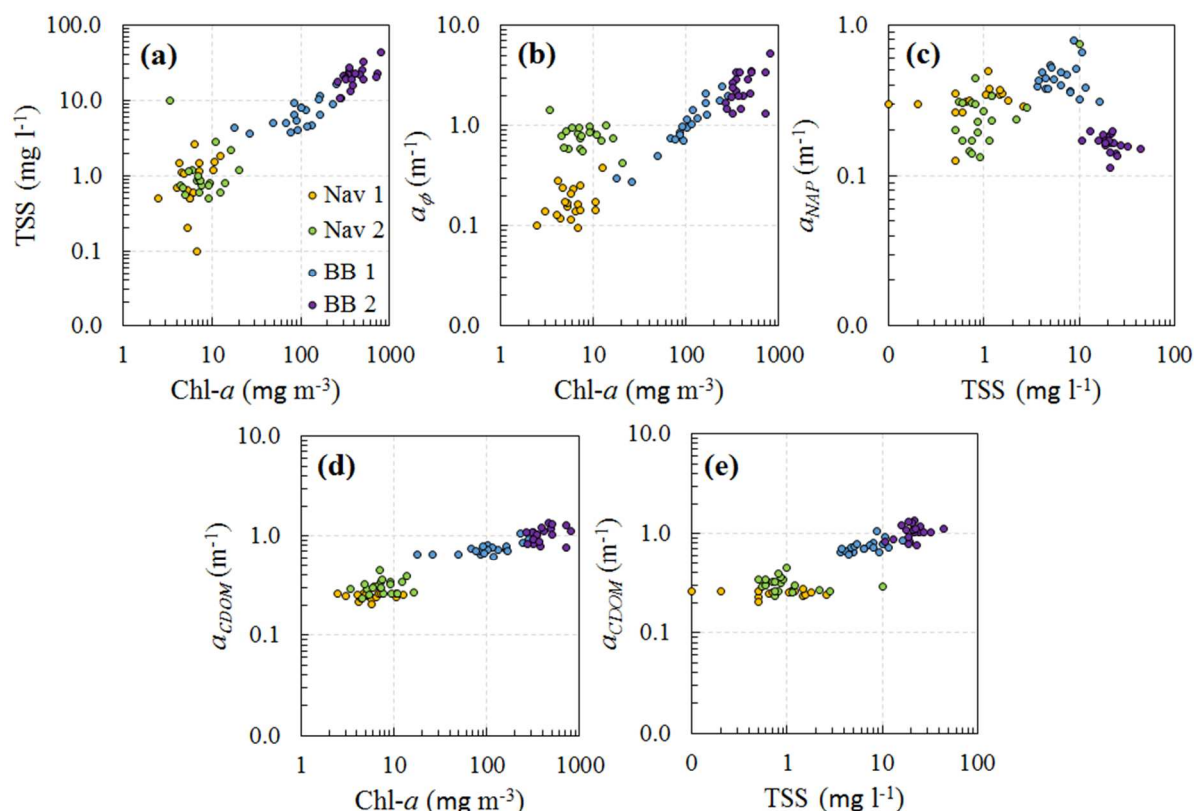


Figura 2. Relações entre as propriedades ópticas e a qualidade da água nos reservatórios de BB e Nav: (a) TSS versus Chl- a ; (b) $a_\phi(443)$ versus Chl- a ; (c) $a_{NAP}(443)$ versus TSS; (d) $a_{CDOM}(443)$ versus Chl- a ; e (e) $a_{CDOM}(443)$ versus TSS.

Em contrapartida, para BB, a correlação foi estatisticamente significativa (BB1: $R = 0,92$, BB 2: $R = 0,52$, p -valor $< 0,05$). Le et al. (2015) também observou a forte correlação entre $a_\phi(443)$ e Chl- a , atribuindo o resultado às altas cargas de nutrientes despejadas no sistema aquático estimulando a produção primária. A relação entre $a_{NAP}(443)$ e TSS não se mostrou significativa para Nav e BB (p -valor $> 0,05$). Considerando $a_{CDOM}(443)$ e Chl- a , Nav novamente não apresentou correlação (p -valor $> 0,05$), contudo, BB obteve alta (BB1: $R = 0,77$, p -valor $< 0,001$) e nenhuma (BB 2: $R = 0,25$, p -valor $> 0,05$) correlações. A respeito da relação entre $a_{CDOM}(443)$ e TSS, Nav não obteve correlação (p -valor $> 0,05$), no entanto, BB apresentou moderada (BB 1: $R = 0,53$, p -valor $< 0,05$) e nenhuma (BB 1: $R = 0,19$, p -valor $> 0,05$) correlações. A não correlação combinada com a baixa concentração de Chl- a em Nav pode indicar que o TSS e CDOM foram possivelmente originados por fontes terrígenas e não pela degradação do fitoplâncton.

3.2 Variação Sazonal das POIs

A Figura 3 apresenta as curvas espectrais referentes às POIs analisadas para os dois períodos estudados, tanto para Nav quanto para BB. Observa-se, portanto, que entre os campos realizados em Nav não houve uma mudança considerável na magnitude das curvas espectrais,

sendo notório apenas que Nav 2 obteve valores suavemente superiores a Nav 1, que pode estar vinculado não só a questão sazonal, mas também a característica de operação do reservatório que é fio-d'água, cujo volume do reservatório se mantém constante ao longo do ano, sem ganhos ou perdas consideráveis. Por outro lado, BB apresentou mudanças consideravelmente maiores de BB 2 em relação a BB 1, principalmente no que se refere a contribuição de fitoplâncton. Analisando gráficos ternários referentes à Nav e BB, Rodrigues et al. (2016b) observaram que o fitoplâncton dominou o espectro de absorção compreendido pelas bandas em 440, 550 e 675 nm, enquanto que em Nav, o NAP foi dominante apenas em 440 e 550 nm. Esse resultado sugere fortemente que a produtividade de BB é função do alto recebimento de nutrientes oriundos de áreas urbana, agrícola e industrial (Smith et al. 2014).

As feições de a_ϕ localizadas em 443 nm estão fortemente associadas à absorção pelo fitoplâncton, enquanto que em 412 nm, os detritos apresentam maior absorção (Carder et al. 1999). A feição característica no vermelho (650 – 700 nm) é consistente com outros trabalhos (Wu et al. 2011) e são também diagnósticos dos fitoplânctons. O pico em 620 nm no espectro de a_ϕ pode estar associado à absorção por ficocianina (Simis et al. 2005) e em BB essa feição encontra-se marcante em ambos os campos (Watanabe et al. 2016b). Os espectros de a_{NAP} apresentaram feições padrão com um decaimento exponencial de 400 a 800 nm. O mesmo padrão pode ser observado para a_{CDOM} , no entanto, o decaimento foi mais acentuado na região do azul.

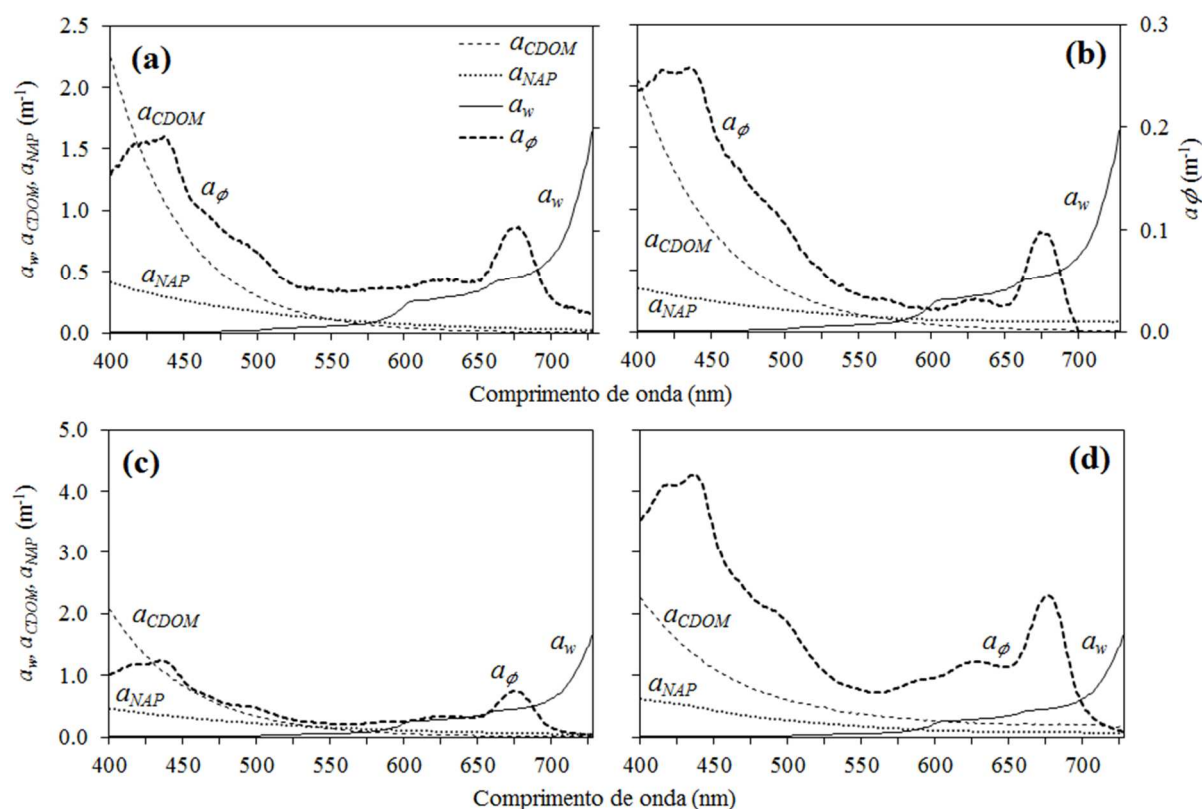


Figura 3. IOPs médios referentes às campanhas: (a) Nav 1, (b) Nav 2, (c) BB 1 e (d) BB 2.

3.3 Implicação no Gerenciamento dos Recursos Hídricos por Meio de Sensoriamento Remoto

Há muito se sabe que as propriedades da qualidade da água no sistema de reservatórios em cascata do rio Tietê sofre uma espécie de melhoramento de montante a jusante (Barbosa et al. 1999, Cavenaghi et al. 2003, Luzia 2004) e as principais forçantes dessas propriedades podem

ser atribuídas a precipitação, vento, taxa de fluxo e tempo de retenção (Luzia 2004). Desse modo, com a alteração da composição da água, ocorre também alterações nas POIs.

Atualmente o sistema de monitoramento dos recursos hídricos em muitos países é obtido por meio de coletas *in situ*, no entanto, esse sistema é oneroso, pois mobiliza recursos humanos para obtenção de amostras e análise de dados. Além disso, o método tradicional apresenta baixa representação espacial e temporal. Dessa forma, o sensoriamento remoto, por meio de modelos bio-ópticos que utilizam as POIs como dados de entrada, podem ser ferramentas robustas para o mapeamento dos recursos hídricos. Abordagens empíricas, considerando ambientes altamente distintos, podem não apresentar resultados satisfatórios, uma vez que esses modelos são dependentes do local e composição da água no momento de coleta. Por outro lado, modelos baseados nas POIs utilizando abordagem semi-analítica apresentaram resultados interessantes em ambientes opticamente distintos (Lee et al. 2016), podendo ser uma boa alternativa para o gerenciamento dos recursos hídricos em reservatórios delineados em sistema de cascata.

4. Considerações Finais

Com base nos resultados apresentados, os reservatórios de BB e Nav se mostraram opticamente e limnologicamente distintos. Nav apresentou características de uma ambiente com predominância de material inorgânico, enquanto BB, um ambiente dominado por fitoplâncton. Essa constatação pode trazer limitações para a modelagem bio-óptica voltada para a estimativa dos constituintes da água, que considera as características locais do ambiente. Em contrapartida, a compreensão das POIs pode auxiliar na modelagem semi-analítica que utiliza como dado de entrada os coeficientes de absorção.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Pesquisa de São Paulo – FAPESP (projetos 2012/19821-1 e 2015/21586-9) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (projetos 400881/2013-6 e 472131/2012-5) pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

- APHA/AWWA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC, 1998.
- Barbosa, F.A.R., Padisák, J., Espíndola, E.L.G., Borics, G., Rocha, O. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the River Tietê-basin, São Paulo State, Brazil. In: Tundisi JG, Straskraba M (eds) **Theoretical reservoir ecology and its applications**. International Institute of Ecology, Academy of Sciences and Backhuys Publishers, São Carlos, 1999. p 425–437.
- Carder, K.L., Chen, F.R., Lee, ZP., Hawes, S.K., Kamykowski, D. Semianalytic Moderate-Resolution Imaging Spectrometer algorithms for chlorophyll a and absorption with bio-optical domains based on nitrate-depletion temperatures. **Journal of Geophysical Research-Oceans**, v. 104, n. C3, p. 5403-5421, 1999.
- Cavenaghi, A.L., Velini, E.D., Galo, M.L.B.T., Carvalho, F.T., Negrisoli, E., Trindade, M.L.B., Simionato, J.L.A. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. **Planta Daninha**, v. 21, p. 43 – 52, 2003.
- Coelho, C.A.S., Denis, H.F.C., Firpo, M.A.F. Precipitation Diagnostics of an Exceptionally Dry Event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1–16, 2015.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S., Ohnstad, M.A.M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213 p.
- Khan, S. J., Deere, D., Leusch, F.D., Humpage, A., Jenkins, M., Cunliffe, D. Extreme weather events: Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles?, **Water research**, v. 85, p. 124–136, 2015.
- Le, C., Lehrter, J.C., Hu, C., Schaeffer, B., MacIntyre, H., Hagy, J. D., Beddick, D.L. Relation between inherent optical properties and land use and land cover across Gulf Coast estuaries. **Limnology and Oceanography**, v. 60, n. 3, p. 920-933, 2015.

Lee, ZP, Shang, S., Qi, L., Yan, J., Lin, G.A. Semi-Analytical Scheme to Estimate Secchi-Disk Depth from Landsat-8 Measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 177, p. 101–106, 2016.

Luzia, A.P. **Limnologia e grau de trofia dos reservatórios em cascata do rio Tietê (médio e baixo Tietê, São Paulo)**. 2004. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

Pope, R.M.; Fry, E.S. Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements, **Applied optics**, v. 36, n. 33, p. 8710-8723, 1997.

Riddick, C.A.L., Hunter, P.D., Tyler, A.N., Vicente, V.M., Horváth, H., Kovács, A.W., Preston, L.V.T., Presing, M. Spatial Variability of Absorption Coefficients over a Biogeochemical Gradient in a Large and Optically Complex Shallow Lake. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 120, n. 10, p. 7040–66, 2015.

Rodrigues, T.W.P., Guimarães, U.S., Rotta, L.H.S., Watanabe, F.S.Y., Alcântara, E., Imai, N.N. Delineamento amostral em reservatórios utilizando imagens landsat-8/oli: um estudo de caso no reservatório de Nova Avanhandava (Estado de São Paulo, Brasil), **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 2, p. 303 – 323, 2016a.

Rodrigues, T., Alcântara, E., Watanabe, F., Bernardo, N., Rotta, L., Imai, N. Spatial and temporal variations of the inherent optical properties in a tropical cascading reservoir system, **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 2, n. 2, p. 1-9, 2016b.

Simis, S.G., Peters, S.W., Gons, H.J. Remote sensing of the cyanobacterial pigment phycocyanin in turbid inland water. **Limnology and Oceanography**, v. 50, n. 1, p. 237-245, 2005.

Smith W.S., Espíndola, E.L.G., Rocha, O. Environmental gradient in reservoirs of the medium and low Tietê River: limnological differences through the habitat sequence. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 73–88, 2014.

Tassan, S.; Ferrari, G.M. An alternative approach to absorption measurements of aquatic particles retained on filters. **Limnology and Oceanography**, v. 40, n. 8, p. 1358-1368, 1995.

Tassan, S.; Ferrari, G.M. Measurement of light absorption by aquatic particles retained on filters: determination of the optical pathlength amplification by the ‘transmittance-reflectance’ method. **Journal of Plankton Research**, v. 20, n. 9, p. 1699-1709, 1998.

Tilstone, G., Moore, G.F., Sorensen, K., Doerffer, R., Rottgers, R., Ruddick, K.G., Pasterkamp, R., Jorgensen, P.V. **REVAMP, Regional Validation of MERIS Chlorophyll products in North Sea coastal waters, protocols**. European Union FPV: EVG1 CT 2001 00049, 2002. 68 p.

Torloni, C.E.C., Corrêa, A.R.A., Carvalho Jr., A.A., Santos, J.J., Gonçalves, J.L., Gereto, E.J., Cruz, J.A., Moreira, J.A., Silva, D.C., Deus, E.F., Ferreira, A.S. **Produção pesqueira e composição das capturas em reservatórios sob concessão da CESP nos rios Tietê, Paraná e Grande, no período de 1986 a 1991**. São Paulo: CESP, 1993. 73 p.

Watanabe, F., Rodrigues, T., Bernardo, N., Alcântara, E., Imai, N. Drought can cause phytoplankton growth intensification in Barra Bonita reservoir. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 2, n. 134, p. 1 – 7, 2016a.

Watanabe, F., Mishra, D. R., Astuti, I., Rodrigues, T., Alcântara, E., Imai, N. N., Barbosa, C. Parametrization and calibration of a quasi-analytical algorithm for tropical eutrophic waters. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 121, p. 28-47, 2016b.

Wu, G., Cui, L., Duan, H., Fei, T., Liu, Y. Absorption and backscattering coefficients and their relations to water constituents of Poyang Lake, China, **Applied Optics**, v. 50, n. 34, p. 6358-6368, 2011.