



## COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS ÁGUAS DO AÇUDE ORÓS, NO ESTADO DO CEARÁ

L. C. G. Chaves<sup>1</sup>, F. B. Lopes<sup>2</sup>, E. M. de Andrade<sup>3</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se com este trabalho avaliar a resposta espectral da água do Açude Orós, inserido na região semiárida do estado do Ceará. Utilizou-se dados de reflectância da água e de amostras de água coletados *in situ*, em sete pontos amostrais, distribuídos ao longo do reservatório, entre novembro de 2011 e dezembro de 2013. Foi analisado o comportamento das curvas de reflectância das águas do Açude, dividindo-as entre períodos seco e chuvoso, relacionando-as com os Componentes Opticamente Ativos (COAs). As formas das curvas espectrais das águas do Orós foram semelhantes para todos os pontos amostrais em cada coleta, e mostraram que a Clorofila-*a* é um dos principais COAs presentes nas águas desse açude, nos dois períodos e ao longo do seu espelho d'água. Entretanto, os maiores valores de reflectância espectral foram observados na zona fluvial do Orós, onde se situa a afluição do Rio Jaguaribe, indicando ser nesta área a concentração de material em suspensão mais elevada em relação às zonas de transição e lacustre do reservatório, onde foram observados os menores valores de reflectância. Portanto, as respostas espectrais mostraram serem as águas do Orós ricas em Clorofila-*a* nos períodos seco e chuvoso e em toda a sua extensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Clorofila-*a*, curvas espectrais, região semiárida.

## SPECTRAL BEHAVIOR OF WATER IN THE ORÓS RESERVOIR, LOCATED IN THE STATE OF CEARÁ, BRAZIL

**SUMMARY:** The main goal of this work was to evaluate the spectral behavior of the water in the Orós Reservoir. It is located in the semi-arid region of the State of Ceará, Brazil. Water reflectance data and water samples collected *in situ*, in seven sampling points distributed along the surface reservoir were used. This research was carried out from November 2011 to December 2013. The behavior of the reflectance curves of the water were analyzed. The spectral

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, UFC – Fortaleza, Ceará. Professor do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, FATENE, Caucaia, Ceará. Email: luizcarlosguerreiro@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, UFC – Fortaleza, Ceará. Professor Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza, Ceará. Email: lopesfb@ufc.br.

<sup>3</sup> Professora Ph.D, Depto. de Engenharia Agrícola, Pesquisadora do INCTSal, CCA/UFC, Fortaleza, Ceará. Email: eandrade@ufc.br.

curves were classified in dry and rainy seasons and they were related to Optically Active Components (OACs). The shapes of the spectral curves in the water of Orós reservoir were similar for all sample points in each of the data and water collection. This spectral responses showed that the Chlorophyll-*a* is the main OAC in the water of the Orós reservoir to dry and rainy season and along of its surface water. However, the highest spectral reflectance values were observed in the Orós river zone, in which is the Jaguaribe River. There the reflectance curves showed a highest suspended material in relation to the transition and lacustrine zones of the reservoir, where the lowest reflectance values were observed. Therefore, the spectral behavior showed that the waters of the Orós Reservoir have a high concentration of Chlorophyll-*a* in to dry and rainy seasons and along the its surface water.

**KEYWORDS:** Chlorophyll-*a*, spectral curves, semi-arid region.

## INTRODUÇÃO

Na região Semiárida do Brasil, onde os longos períodos de estiagem são considerados uma certeza, os reservatórios superficiais (conhecidos como açudes) têm vital importância no armazenamento da água. Porém, não só o volume de água acumulado nos açudes deve ser levado em consideração, bem como a potabilidade do líquido. A contaminação das águas naturais representa um dos principais riscos à saúde pública e à redução da disponibilidade do recurso em situação de escassez.

Foi a partir do final do século 19 e início do século 20 que a qualidade da água passou a se tornar uma questão de interesse para a saúde pública (FREITAS & FREITAS, 2005). De acordo com dados do IBGE (2011), o sistema de esgotamento sanitário no Brasil ainda é incipiente – apenas 29% dos municípios têm sistemas de coleta e tratamento de esgotos que aliado à ocupação densa e desordenada nas bacias hidrográficas resulta na degradação dos elementos naturais e, principalmente dos recursos hídricos superficiais (BIAS *et al.*, 2012). Conseqüentemente, os mananciais que recebem essa carga passam a apresentar um desbalanço no seu metabolismo (RESENDE, 2002) e, a produtividade algal passa a predominar sobre o processo de consumo (CETESB, 2014).

O monitoramento da qualidade das águas superficiais deve ser realizado de forma contínua, pois se trata de um recurso sujeito às mudanças contínuas em escalas temporais e espaciais muito elevadas. Em grandes massas de água, o monitoramento da qualidade de forma convencional vem sendo considerado ineficiente em função de ser uma tarefa que por vezes

torna-se onerosa, além de demandar até oito meses entre a coleta realizada e o lançamento e disponibilização total dos resultados. As técnicas de sensoriamento remoto aliadas às práticas convencionais de avaliação da qualidade das águas superficiais funcionam como ferramentas que podem auxiliar neste monitoramento. O sensoriamento remoto permite a aquisição de dados de forma sintética de grandes extensões, integrando as informações dos corpos hídricos à sua área de drenagem (NOVO et al., 2007). O mais importante passo na integração do sensoriamento remoto à qualidade de água é conhecer as propriedades ópticas e da massa de água que se deseja analisar espectralmente (TRENTIN, 2009).

Desta forma, este trabalho objetivou avaliar a resposta espectral da água do Açude Orós, na região semiárida do estado do Ceará.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foi o Açude Orós (Juscelino Kubistchek de Oliveira), considerado como o segundo maior reservatório superficial do estado do Ceará, com capacidade total de 1.940 hm<sup>3</sup>, vazão regularizada de 22,15 m<sup>3</sup> e espelho d'água total de 18.772,97 hectares (FUNCEME, 2009). Construído, na porção sudoeste do estado, no curso do rio Jaguaribe em 1961, abrange os municípios de Iguatu, Quixelô e Orós, sendo considerado como importante fonte hídrica para a região, além de abastecer a Região Metropolitana de Fortaleza. A piscicultura é uma das atividades que tem sido bastante praticada no Açude, chegando a uma produção mensal de tilápia de 10 a 20 toneladas em 2011 (KUBITZA, 2011).

Os dados foram coletados em sete pontos ao longo do reservatório, nas seguintes datas: novembro/2011, fevereiro/2012, maio/2012, dezembro/2012, abril/2013, outubro/2013 e dezembro/2013. Conforme a Figura 1 os pontos P01, P02 e P03, encontram-se localizados na zona fluvial do reservatório, P04 e P05 na zona de transição e P06 e P07 na zona lacustre, sendo este último à montante da barragem.

**Figura 1.** Localização dos pontos de coleta no açude Orós, no estado do Ceará

Em cada ponto amostral foram realizadas medidas das variáveis físico-químicas pH, condutividade elétrica da água (dS m<sup>-1</sup>), turbidez (NTU) e transparência de Secchi (m) e, amostras de água foram coletadas a 30 cm, em garrafas de plástico opaco (para clorofila-*a*) e, de vidro âmbar contendo solução de lugol acético (para fitoplâncton), previamente identificadas e acondicionadas corretamente. No laboratório, as amostras em garrafas de plástico opaco

foram preparadas para a análise quantitativa e qualitativa do fitoplâncton, segundo APHA *et al.* (2005).

Para as leituras radiométricas da superfície da água foi utilizado o aparelho espectrorradiômetro *ASD FieldSpec®3 Hi-Res*, com campo de visada de 25°, resolução espectral de 1 nm, utilizando-se os comprimentos de onda no intervalo entre 400 nm e 900 nm. Na análise dos dados radiométricos utilizou-se o “fator de reflectância” obtido pela média das medidas realizadas em cada ponto amostral entre 10 e 14 h. Para obtenção do fator de reflectância bidirecional (FRB) utilizou-se uma “placa de referência” (Spectralon) em que, os valores de reflectância espectral adquiridos através do espectrorradiômetro foram convertidos em FRB através da equação 1:

$$FRB_{\lambda} = \frac{L_{a,\lambda}}{L_{r,\lambda}} \quad (1)$$

onde:  $FRB_{\lambda}$  é o fator de reflectância bidirecional (adimensional);  $L_{a,\lambda}$  é a radiância espectral do alvo ( $W\ cm^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) e,  $L_{r,\lambda}$  é a radiância espectral da placa de referência ( $W\ cm^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ).

Simultaneamente às leituras espectrais amostras de água para análise foram coletadas em cada ponto amostral, além de observadas as condições ambientais, e realizadas anotações de campo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das curvas de reflectância das águas do Orós são semelhantes em cada coleta, com absorção da região do azul, reflectância maior no verde e no vermelho, voltando a apresentar alta absorção no infravermelho (Figura 2). Os picos próximo a 550 nm e 720 nm e a baixa reflectância entre 400 e 450 nm demonstram que a clorofila-*a* é um dos componentes presentes na coluna d'água do Orós e, que está influenciando no processo de espalhamento das massas de água do Açude, conforme já constatado em estudos anteriores neste reservatório por Lopes (2013).

**Figura 2.** Espectros de fator de reflectância bidirecional para o Açude Orós, Ceará, para as coletas de novembro/2011 (a), fevereiro/2012 (b), maio/2012 (c), dezembro/2012 (d), abril/2013 (e), outubro/2013 (f) e dezembro/2013 (g)

Isto acontece porque com o aumento da concentração de clorofila-*a* na água, há um decréscimo na quantidade de energia refletida no azul e no vermelho e, um aumento na reflectância na faixa da luz verde. Já o pico acentuado em 650 nm observado nas curvas

espectrais do Orós reflete o pigmento da ficocianina, comum nas cianofíceas ou algas azuis (LONDE, 2008; KUTSER, 2004), e o pequeno ponto de inflexão em torno de 580 e 630 nm, decorre da absorção causada por pigmentos acessórios e até mesmo pelas cianofíceas e diatomáceas (GITELSON, 1992; RANDOLPH, 2008).

Mesmo todos os dados não apresentando valor de reflectância máxima superior a 0,14, os valores mais elevados foram verificados em toda a faixa do P02, em seis das sete amostras; este ponto amostral está situado na zona fluvial do reservatório (Figura 1), onde se encontra o Rio Jaguaribe, o mais importante afluente na contribuição do acúmulo de água do Açude, sendo a concentração de material em suspensão mais elevada em relação às zonas de transição e lacustre (KIMMEL; LIND; PAULSON, 1990). Com a concentração de material em suspensão, a reflectância se eleva em todos os comprimentos de onda, principalmente nas faixas de 500 e 700 nm (BARBOSA, 2005; JENSEN, 2009).

Em contrapartida, observa-se que os menores valores são encontrados para os pontos amostrais P06 e P07 (zona lacustre do reservatório). Nesta zona, os Componentes Opticamente Ativos (COAs) geralmente encontram-se diluídos, e a resposta espectral tende a ser representada por valores mais baixos, do que nas demais zonas, as águas do Orós mostrando que mesmo nessa zona, a faixa espectral registrada ainda apresenta picos (reflectância) ou vales (absorbância) acentuados, significando a presença de COAs específicos também nessa parte do Açude. Lopes et al. (2014) ao classificar as águas do Orós em 3 Grupos, constataram que as águas situadas nessa parte mais alta do reservatório diferiam das demais, justamente em função dos parâmetros físicos como cor aparente, turbidez e transparência.

Apenas em maio/2012 (Figura 2c) todos os pontos apresentaram os picos de maior reflectância exatamente em 550 nm, sendo que nos demais períodos todos deslocaram-se ligeiramente para os maiores comprimentos de onda (aproximadamente 560 nm). Segundo Jensen (2009) o deslocamento dos picos de reflectância para maiores comprimentos de onda na faixa do visível, é indicativo de águas com acréscimos nas concentrações de sólidos em suspensão, inferindo que as águas do Orós apresentaram decréscimo na sua qualidade em maio de 2012.

Dos valores médios dos parâmetros limnológicos obtidos no Açude Orós, nos períodos seco e chuvoso (Tabela 1) destacam-se na variação sazonal os elevados valores de turbidez no período seco ( $p < 0,05$ ); espacialmente, também foram constatados maiores valores de turbidez para o P02, tanto no período seco (68,33 NTU) quanto chuvoso (47,33 NTU), em contraposição aos valores menores identificados no P07 – 3,47 NTU no período seco e 3,43 NTU no período chuvoso. A turbidez da água é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão,

diminuindo a claridade da mesma e reduzindo a transmitância da luz no meio líquido (GUIMARÃES, 2010) e, dadas as devidas variações dos componentes dos sólidos em suspensão, estes podem ser estimados com base na turbidez. Quanto aos parâmetros químicos - CE e pH, os mesmos não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os períodos seco e chuvoso, podendo se afirmar que a qualidade das águas do Orós possui maiores reflexos de suas características físicas do que químicas.

**Tabela 2.** Parâmetros limnológicos obtidos no Açude Orós, para as campanhas de coletas nos períodos seco (PS) e chuvoso (PC)

## CONCLUSÕES

As curvas espectrais do Açude Orós são típicas de águas com presença de clorofila-*a*, principalmente cianobactérias, tanto no período seco quanto chuvoso. Espacialmente, os maiores valores de reflectância estão na zona fluvial do Açude, onde é mais elevada a concentração de materiais em suspensão. A qualidade das águas do Orós é um reflexo mais significativo de suas características físicas do que químicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - American Public Health Association; Awwa - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p.

BARBOSA, J. E. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II; trópico semi-árido nordestino**. 2002. 201f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

BIAS, E. S. *et al.* Análise da eficiência da vegetação no controle do esgotamento superficial: uma aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF. **Geociências**, v. 31, n. 3, p. 411-429, 2012.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Alterações físico químicas**. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/mortandade/causas\\_materia.php](http://www.cetesb.sp.gov.br/mortandade/causas_materia.php)>. Acesso em: 21 nov. 2014.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, n. 04, p. 993-1004, 2005.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil**. Fortaleza, 2008.

GITELSON, A. A. et al. Comparative reflectance properties of algal cultures with manipulated densities. **Journal of Applied Phycology**, v. 11, p. 345-354, 1999.

GUIMARÃES, J. C. R. **Medidas de concentração de sedimentos e turbidez na Bacia Hidrográfica do Lajeado Grande, São Martinho da Serra (RS)**. 2010. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento 2011**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm)>. Acesso em: 13 set 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphânio (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

KIMMEL, B. L.; LIND, O. T.; PAULSON, L. J. Reservoir primary production. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F. E. (ed.). **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 133-193.

KUBITZA, F. Açude de Orós: tilapicultura consolida desenvolvimento Econômico e social, mas piscicultores ainda lutam por licenciamento. **Panorama da aquíicultura**, julho, agosto, 2011, 21p.

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

LONDE, L. R. **Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado – Ibitinga (SP)**. 2008. 223f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

LOPES, F. B. et al. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437-445, 2014.

NOVO, E. M. L. M.; BRABOSA, C. C. F.; FREITAS, R. M. Sistemas Aquáticos Continentais. In: RUDORFF, F. T. B.; SHIMABUKURU, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007. cap. 19, p. 265-275.

RANDOLPH, K. et al. Hyperspectral remote sensing of cyanobacteria in turbid productive water using optically active pigments, chlorophyll a and phycocyanin. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 4009-4019, 2008.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Embrapa Cerrados, 2002. 29p.

TRENTIN, A. B. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no Reservatório Passo Real – RS**. 2009. 97f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009,

Figura 1

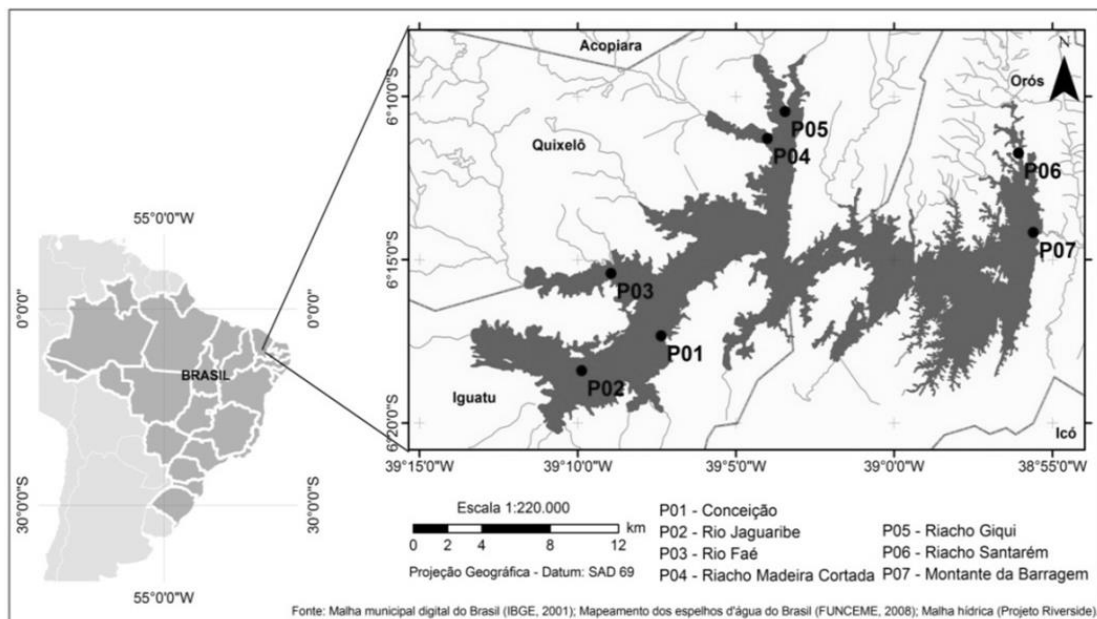
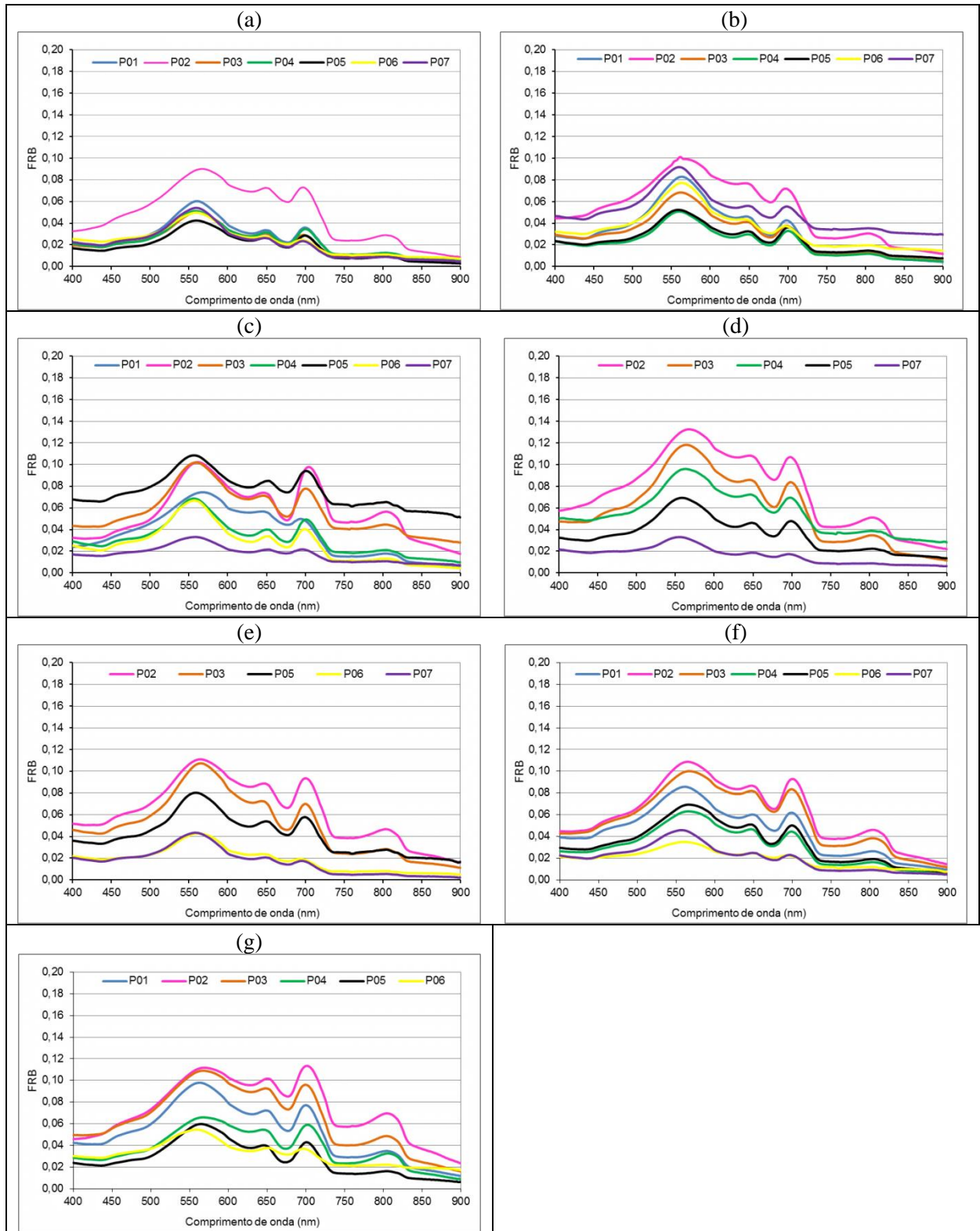




Figura 2



**Tabela 1**

Ponto	CE (dS m <sup>-1</sup> )		pH		Turbidez (NTU)		Transparência (m)	
	PS	PC	PS	PC	PS	PC	PS	PC
P01	0,329	0,294	8,45	8,51	34,40	16,70	0,38	0,72
P02	0,284	0,312	8,47	8,58	68,33	47,33	0,24	0,43
P03	0,300	0,285	8,52	8,56	35,67	11,97	0,35	0,70
P04	0,288	0,300	8,50	8,46	17,43	11,63	0,40	0,65
P05	0,288	0,303	8,21	8,00	16,77	9,07	0,47	0,68
P06	0,259	0,296	8,16	7,93	2,91	3,63	1,04	1,10
P07	0,269	0,302	8,15	7,98	3,46	3,43	1,05	1,31
Média	0,288	0,299	8,35	8,29	25,57	14,82	0,56	0,80
DP	0,021	0,008	0,16	0,28	21,22	14,82	0,31	0,28
CV	0,072	0,026	0,02	0,03	0,83	0,94	0,56	0,35

Período seco: novembro/2011, dezembro/2012, outubro/2013 e dezembro/2013; Período chuvoso: fevereiro/2012, maio/2012 e abril/2013.