



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Sensoriamento remoto hiperespectral no estudo do corpo hídrico do baixo curso do rio Subaé, Bahia, Brasil

Erli Pinto dos Santos<sup>1</sup>, Robson Argolo dos Santos<sup>2</sup>, Ayala de Souza Reis Carneiro<sup>3</sup>, Taíse Bomfim de Jesus<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, bolsista CNPq ([erlitec.agri@hotmail.com](mailto:erlitec.agri@hotmail.com)) (Autor Correspondente). <sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa ([argolo.agro@gmail.com](mailto:argolo.agro@gmail.com)). <sup>3</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, bolsista FAPESB, Universidade Estadual de Feira de Santana ([ayala.reis@hotmail.com](mailto:ayala.reis@hotmail.com)). <sup>4</sup> Doutora em Ecologia e Recursos Naturais, Professora Adjunta, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana ([taisebj@hotmail.com](mailto:taisebj@hotmail.com)).

Artigo recebido em 12/09/2018 e aceito em 20/12/2018

### RESUMO

O sensoriamento remoto da Terra tem fornecido a base para mapeamento de atividades humanas e naturais, mostrando-se eficaz no monitoramento de sistemas hídricos, pois, os dados recobrem extensas áreas e em diferentes faixas do espectro eletromagnético, fornecendo informações sobre composição de corpos hídricos. Desse modo o objetivo desse trabalho é analisar as variáveis espectrais de dados radiométricos obtidos *in situ* no corpo hídrico do rio Subaé, Santo Amaro – Bahia – Brasil, com aplicação de técnicas de extração informações de dados hiperespectrais relacionando à concentração de clorofila-a como variável limnológica. O período de amostragem seguiu meses chuvosos e secos. Os dados radiométricos foram coletados com uso de um espectrorradiômetro FieldSpec 4 Hi-Res e a água foi coletada para quantificação da clorofila-a: os dados foram interpretados aplicando técnicas de extração de informação sobre o espectro original na região entre 400 e 900 nm. Foram aplicadas a derivada espectral e a remoção do contínuo observando feições características da clorofila-a e a análise multivariada para correlação da variável limnológica com a variável espectral. As técnicas aplicadas foram eficientes na observação das feições características da clorofila-a, entretanto observou-se baixa correlação da clorofila-a com os dados espectrais, além de forte irregularidade nas curvas de 2ª derivada. A espectrorradiometria tem grande potencial em estudos de corpos hídricos pois confronta métodos químicos e fornece base para interpretação de imagens orbitais, contudo ficou evidenciado que o comportamento espectral da água é afetado por outros componentes opticamente ativos.

Palavras-chave: espectrorradiometria de campo, clorofila-a, derivada espectral, rio Subaé

## Hyperspectral remote sensing in the study of the body water of the low course of the Subaériver, Bahia, Brazil

### ABSTRACT

Earth remote sensing have provided the basis for mapping human and natural activities, being effective in monitoring water systems, for data overlying extensive areas and in different bands of the electromagnetic spectrum, providing information on the composition of water bodies. Thus the aim of this study is to analyze the spectral variables radiometric data obtained in situ in the water of the river body Subaé, Santo Amaro - Bahia - Brazil, with the hyperspectral data information extraction techniques relating to the concentration of chlorophyll-a as a variable limnological. The sampling period followed rainy and dry months. The radiometric data were collected using a FieldSpec 4 Hi-Res spectroradiometer and water was collected for chlorophyll-a quantification: the data that were interpreted by applying information extraction techniques on the original spectrum between 400 and 900 nm. The processing was carried out applying the spectral derivative and the continuum removal, observing features from chlorophyll, and the linear regression analysis was used to correlate the limnological variable with the spectral variable. The applied techniques were efficient in observing the characteristic features of chlorophyll-a, however, it was observed a low correlation of the chlorophyll-a with the spectral data, besides a strong irregularity in the 2nd derivative. Spectroradiometry has great potential in studies of water bodies

as it confronts chemical methods and provides a basis for interpretation of orbital images. However, it has been evidenced that the spectral behavior of water is affected by other optically active components.

Keywords: field spectroscopy, chlorophyll-a, spectral derivative, Subaé river

## Introdução

Observações de sensoriamento remoto da Terra a partir de sensores aéreos e espaciais, em sinergia com medições *in situ* e manuais, fornecem a base para o mapeamento de atividades humanas e naturais (Chen et al., 2016). A eficiência do sensoriamento remoto em estudos de sistemas hídricos tem sido frequentemente validada por meio de estudos, onde diversas técnicas permitem ampla aquisição de dados em diferentes faixas do espectro eletromagnético recobrando extensas áreas, permitindo inferir sobre os componentes da água (Gitelson et al., 2007; Novo, 2009; Ferreira et al., 2011). Sólidos totais em suspensão, fitoplânctons, substâncias orgânicas dissolvidas, sedimentos, detritos orgânicos, são agentes que condicionam a resposta espectral da água, alterando as características ópticas inerentes do líquido, e esses componentes são denominados constituintes opticamente ativos (COAs). Os efeitos dos COA's têm sido bastante estudados e discutidos pela literatura (Chen et al., 1992; Kirk, 1994; Gitelson et al., 2007).

As características ópticas de corpos d'água tem origem na própria estrutura molecular da água, e suas relações com a radiação eletromagnética, juntamente com o efeito aditivo de estruturas orgânicas e inorgânicas dissolvidas ou em suspensão que são passíveis de serem detectadas por sistemas sensores e analisadas mediante obtenção de dados hiperespectrais. Segundo Novo e Ponzoni (2001) o estudo do comportamento espectral da água é usado como indicador do comportamento de um sistema muito mais complexo que é o sistema aquático. Portanto dada a complexidade há dificuldades metodológicas relacionadas à variável limnológica usada na modelagem, e qual metodologia empregada para permitir o estudo de feições características de um componente.

Este conhecimento científico aliado ao desenvolvimento de sensores, capazes de registrar

com maior detalhe as propriedades espectrais dos alvos da superfície terrestre, e de métodos de análise, que permitem a extração de informações cada vez mais específicas e precisas, tem aperfeiçoado o estudo da composição da água por meio de técnicas de sensoriamento remoto (Mélédér et al., 2003).

Assim este estudo objetivou analisar as variáveis espectrais de dados radiométricos (obtidos *in-situ*) do corpo hídrico do rio Subaé, Santo Amaro - Bahia, com aplicação de técnicas de extração de informações relacionando à concentração de clorofila-a como variável limnológica.

## Material e métodos

### Área de estudo

O estudo foi realizado em corpos aquáticos do baixo curso do Rio Subaé, Bahia-Brasil (Figura 01). A extensão territorial da Bacia Hidrográfica do rio Subaé envolve zonas rurais, urbanas e industriais e abriga uma população de 745.091 habitantes segundo o censo do IBGE de 2010. O rio Subaé nasce na cidade de Feira de Santana, Bahia-Brasil e tem sua foz na Baía de Todos os Santos.

As coletas foram realizadas durante os meses de dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016, em 4 pontos de coleta. A escolha dos pontos ao longo do rio Subaé dependia da profundidade da coluna d'água, que deve ser suficiente para realizar as coletas de dados com o espectroradiômetro. Para a avaliação da profundidade utilizou-se um disco de Secchi, e os pontos que apresentaram a coluna d'água acima de 0,5 m eram escolhidos. Essa profundidade é necessária para que o sensor captasse apenas reflectância de superfície e a volumétrica, e não também a reflectância de fundo.



*Remoção do contínuo*

Foi empregada a técnica da remoção do contínuo, que objetiva isolar bandas de absorção particulares dos espectros de reflectância. Foi proposta por Clark e Roush (1984). A formulação matemática para a remoção do contínuo dos espectros de reflectância é dada pela equação 4.

$$\rho_{CR\lambda} = \left( \frac{\rho_{Original\lambda}}{\rho_{Contínuo\lambda}} \right) \quad (4)$$

Em  $\rho_{CR\lambda}$  é o fator de reflectância com o contínuo removido,  $\rho_{Original\lambda}$  é o fator de reflectância original, e  $\rho_{Contínuo\lambda}$  é o espectro do contínuo.

Mediante a isto, os pontos de máxima reflectância de um espectro são ligados por uma reta, a qual define o contínuo espectral para cada feição. A sua remoção é feita dividindo-se o espectro original pela curva do contínuo, para normalizar as bandas de absorção, colocando-as em uma referência comum (Londe, 2005). Para se obter a profundidade de banda (*Band deph*), utiliza-se a equação 5 (Kokaly e Clark, 1999; Noomem et al., 2005) A profundidade da banda de absorção apresentada por Clark e Roush (1984) está associada à quantidade de energia absorvida (Breunig et al., 2007; Santos et al., 2018). Esse procedimento foi realizado no software ENVI 4.5.

$$Bd = (1 - \rho_{CR\lambda}) \quad (5)$$

*Análise multivariada*

Um modelo de regressão linear clássico afirma que a variável dependente Y é composta por uma média, que depende de  $z_i$ 's variáveis explicativas e um erro radômico  $\varepsilon$ , que considera o erro das medidas e o efeito de outras variáveis não explicitadas no modelo. Dessa forma, um modelo de regressão linear com apenas uma resposta é explicada pela equação 6 (Watanabe, 2012).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 z_1 + \dots + \beta_r z_r + \varepsilon \quad (6)$$

Onde z é o número de variáveis independentes. A partir disso, nota-se que o

objetivo da análise de regressão é desenvolver uma equação que permita determinar o valor da variável resposta, dado os valores das variáveis explicativas. Uma técnica que permite ajustar esse modelo é a estimação por mínimos quadrados (Johnson e Wichern, 2007). A estimação dos parâmetros foi aplicada pelo método dos mínimos quadrados, que objetiva tornar mínima a soma dos quadrados dos desvios (erros). Considerando a equação linear de primeiro grau (equação 7), os parâmetros foram estimados de acordo com as equações 8 e 9, sendo o erro  $e_i$  calculado igualando a equação 7.

$$Y_i = A + BX_i + e_i \quad (7)$$

$$\hat{B} = \frac{\Sigma X_i Y_i - \left(\frac{1}{N}\right) (\Sigma X_i) (\Sigma Y_i)}{\Sigma X_i^2 - \left(\frac{1}{N}\right) (\Sigma X_i)^2} \quad (8)$$

$$\hat{A} + \hat{B} \frac{\Sigma X_i}{N} = \frac{\Sigma Y_i}{N} \quad (9)$$

Em que N é o número de observações dentro das variáveis,  $\Sigma X_i$  corresponde à variável Clorofila-a; e  $\Sigma Y_i$  a variável radiométrica. A análise de regressão linear implementada em software R.

*Determinação da clorofila-a*

A determinação da clorofila-a seguiu o método estabelecido pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. As amostras foram coletadas e armazenadas em recipientes plásticos forrados externamente com papel adesivo preto. A estimativa da concentração de clorofila a partir da fluorescência é calculada através de uma regressão linear simples. Através da equação da reta obtida, a conversão dos demais valores de fluorescência é realizada de maneira sistemática. As leituras foram realizadas nos comprimentos de onda de 630, 647, 664 e 750 nm, sendo os três primeiros pela característica óptica da molécula de picos de absorção nessa região, e no comprimento de onda de 750 nm é determinada a turbidez da amostra.

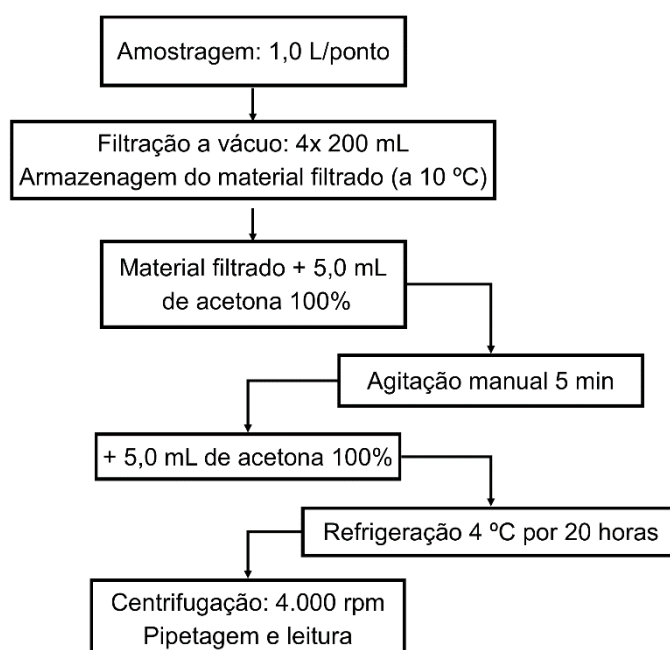


Figura 2. Fluxograma, etapas da análise química de quantificação da concentração de clorofila-a.

## Resultados e discussão

Não houve análise da concentração de clorofila nos meses de abril e maio/2016 para o ponto de coleta 3 em decorrência das condições de campo. Na tabela 01 encontram-se os valores das concentrações de clorofila-a obtidas em cada ponto, e em cada mês em estudo.

A figura 02 exhibe as curvas espectrais dos pontos analisados nos diferentes meses em estudo.

Maior albedo nas curvas de reflectância foram registradas no ponto 02, em abr./2016, e no ponto 04, em maio e junho/2016. Observou-se picos de reflectância em 586 nm (região do amarelo), deslocado do valor relatado por Gitelson (1992) em 550 nm que é a região do verde, relacionando à baixa absorbância. Rundquist et al., (1996) obteve picos de absorbância na região do vermelho (em 665 nm). Este pico foi observado também por Gitelson (1992), se apresentando em todos os espectros analisados, deslocado para entorno de 675 nm.

Tabela 1. Concentrações de clorofila-a encontradas nos pontos de coleta do rio Subaé nos referidos meses.

| Local/Data      | Clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ) |           |           |           |
|-----------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                 | Dez./2015                       | Abr./2016 | Mai./2016 | Jun./2016 |
| <b>Ponto 01</b> | 51,43                           | 29,80     | 6,89      | 28,88     |
| <b>Ponto 02</b> | 29,23                           | 54,03     | 37,49     | 56,84     |
| <b>Ponto 03</b> | 38,66                           | -         | -         | 39,94     |
| <b>Ponto 04</b> | 28,92                           | 50,79     | 16,32     | 9,22      |

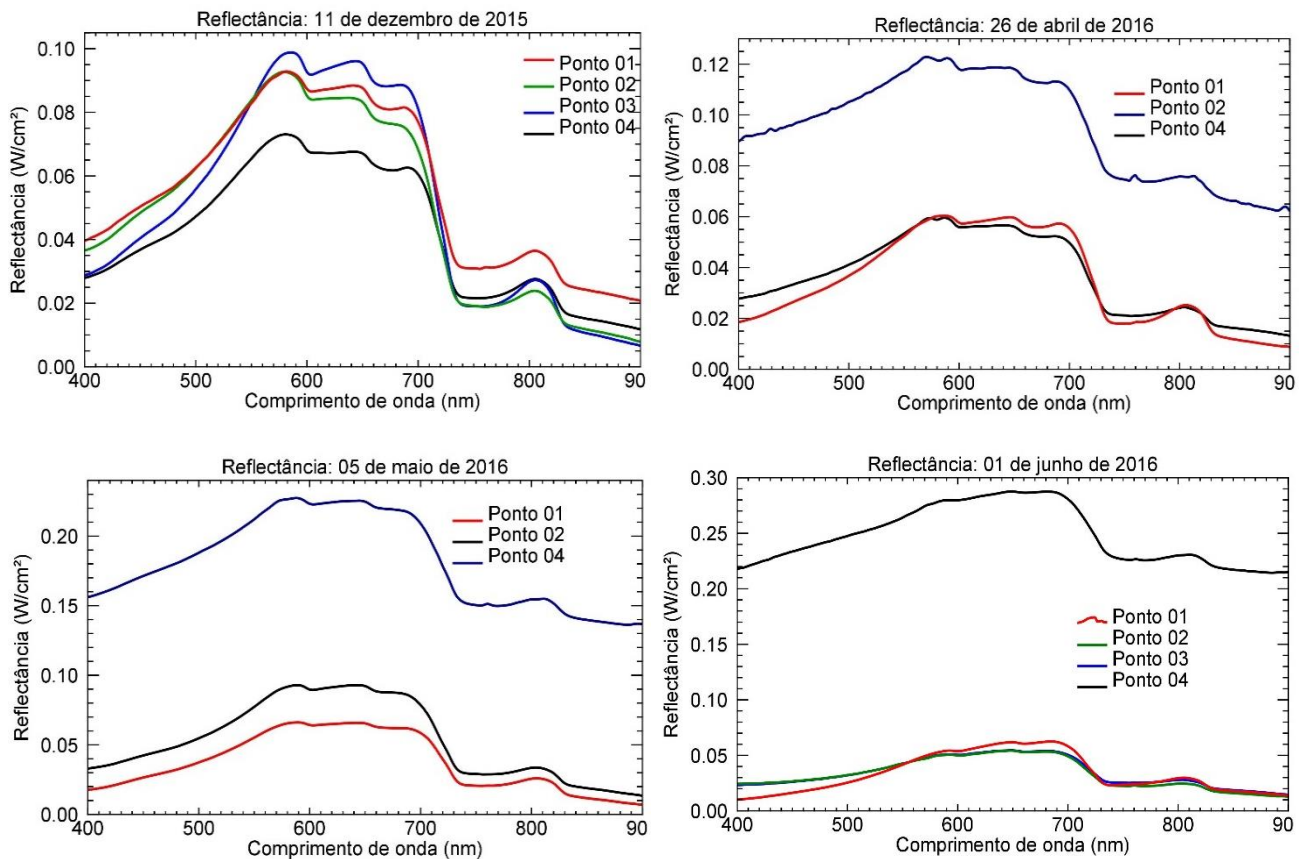


Figura 3. Espectros de reflectância do rio Subaé – Bahia: dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016.

Foi notória uma queda brusca da reflectância entre a região do vermelho para o infravermelho próximo, que é outra característica da presença da clorofila-a, no entanto este decréscimo tende a ser mais acentuado quando se verifica baixas concentrações desse pigmento, como observado por Chen et al. (1992), Arraut et al. (2005) e Guimarães (2015) em seus estudos. As feições apresentadas são características da presença de clorofila-a, pois este pigmento tende a diminuir a energia refletida nos comprimentos de onda no azul (Jensen, 2009), e aumentar na região do verde devido decorrente do espalhamento interno das células dos organismos fitoplânctons (Gitelson et al., 1993).

#### Análise da derivada espectral

Conceitualmente, a aplicação de uma operação de derivada sobre uma função, representa uma forma de quantificar a taxa de variação de uma determinada variável em relação à outra. No caso de um espectro, representa a taxa de variação de reflectância espectral do alvo em relação à variação do comprimento de onda da energia incidente (Barbosa, 2005). Na análise derivativa, a reflectância espectral de um corpo d'água pode ser entendida como um sinal composto, representando a soma ponderada de três componentes: água, total de sólidos em

suspensão (TSS) e clorofila. Cada componente tem um padrão ou assinatura espectral distintos, e a mistura desses padrões produz uma assinatura espectral do corpo d'água. Assim, pela diferenciação sucessiva da assinatura espectral original, podem-se remover sistematicamente os efeitos dos componentes de menor ordem (Goodin et al., 1993).

A primeira derivada permite avaliar com acurácia os espectros de reflectância, por possibilitar a identificação de comprimentos de onda com maior variação de reflectância, removendo os efeitos da água, e deixando as influências dos COAs. De modo geral observa-se valores próximos a 0 entre as regiões do azul e verde (pouca variação). A partir daí começam a surgir inflexões positivas e negativas em todo o espectro analisado. As feições de inflexões positivas foram observadas próximas a 555 nm (verde) e 674 á 684 nm (vermelho), estando associadas presença da clorofila-a. Han e Rundquist (1997) encontraram uma maior correlação entre a derivada espectral e a clorofila em 690,7 nm, quando a sua correlação com a turbidez é fraca. Apresentando, portanto, a primeira derivada como uma alternativa satisfatória para estimativa da concentração de clorofila-a com a presença de sedimentos em suspensão. Chen et al. (1992) aplicaram a técnica

da derivada espectral, usando a derivada de primeira ordem, para estimar a concentração de

sedimentos suspensos, comparando medidas de laboratório e de campo.

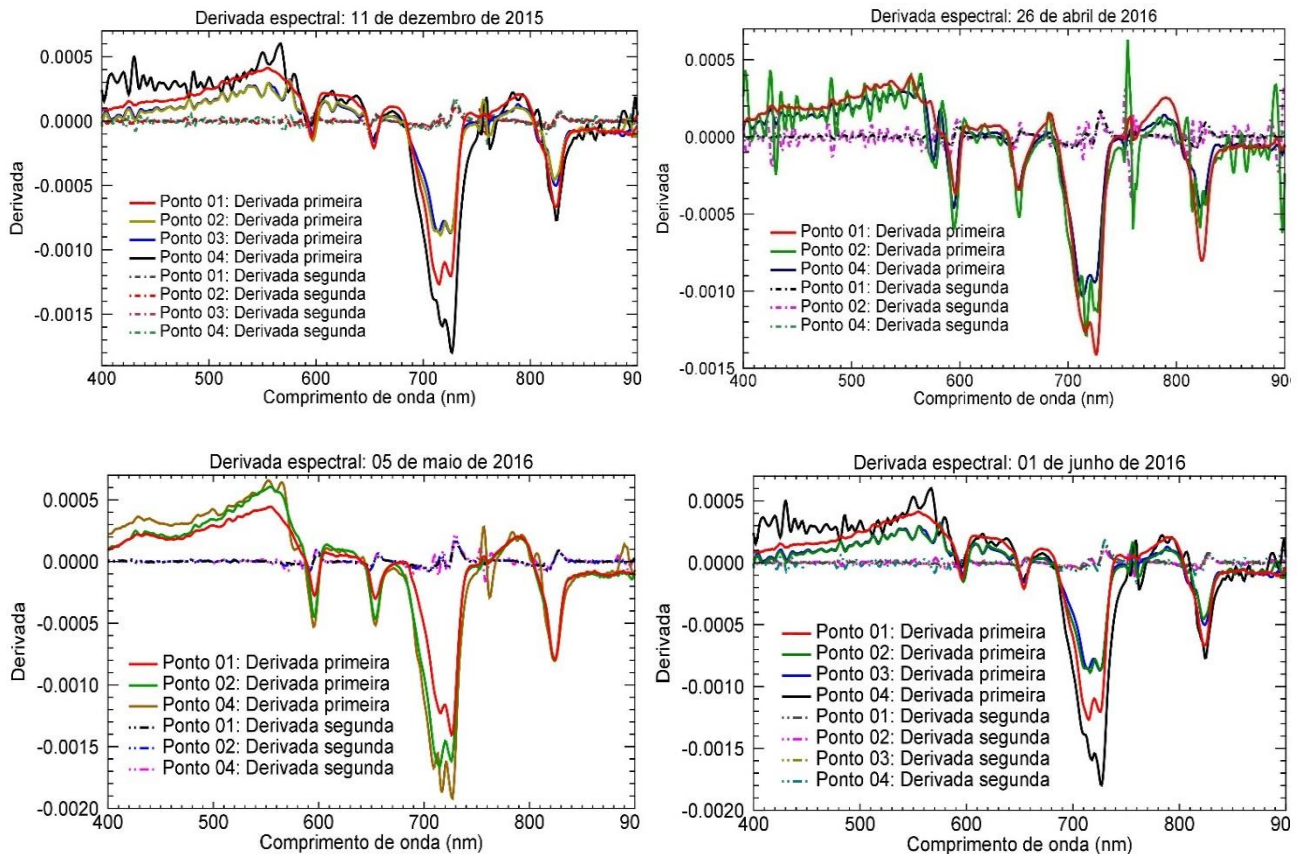


Figura 4. Curvas das derivadas espectrais de primeira e segunda ordem: dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016.

Corazza (2010), encontrou em espectros de água contendo sedimentos em suspensão e clorofila-a apresentaram uma feição em 685 nm na 1ª derivada (inflexão positiva), e no mesmo comprimento de onda numa 2ª derivada, e caracterizou os efeitos causados pela clorofila como de 2ª ordem. Arraut et al. (2005) encontraram correlação entre a derivada de segunda ordem e a concentração de clorofila-a na faixa compreendida entre 664 e 687 nm. Contudo, nos espectros em análise as curvas geradas pela segunda derivada apresentam forte irregularidade, corroborando com Arraut et al. (2005), que relacionaram com ampla dominância espectral provocada pelos sólidos totais em suspensão, dificultando a observação a relação da derivada segunda com a clorofila-a. Em águas complexas aonde os sedimentos em suspensão se misturam

com o fitoplâncton, a reflectância dos sedimentos inorgânicos em suspensão domina o comportamento espectral da água e por isso em geral, se observa uma forte relação entre a reflectância e a turbidez, porém fraca relação entre a reflectância e a concentração de Chl-a. Portanto a derivação sucessiva é um atributo do cálculo que permite trabalhar com corpos hídricos no meio ambiente, em decorrência da grande quantidade de partículas orgânicas ou inorgânicas dissolvidas ou não no conteúdo líquido (Rudorff, 2006).

#### Remoção do contínuo

A Figura 05 exhibe as curvas de reflectância normalizada obtidas após processamento. A técnica de remoção do contínuo permite acentuar feições, reduzir os efeitos externos e identificar elementos.

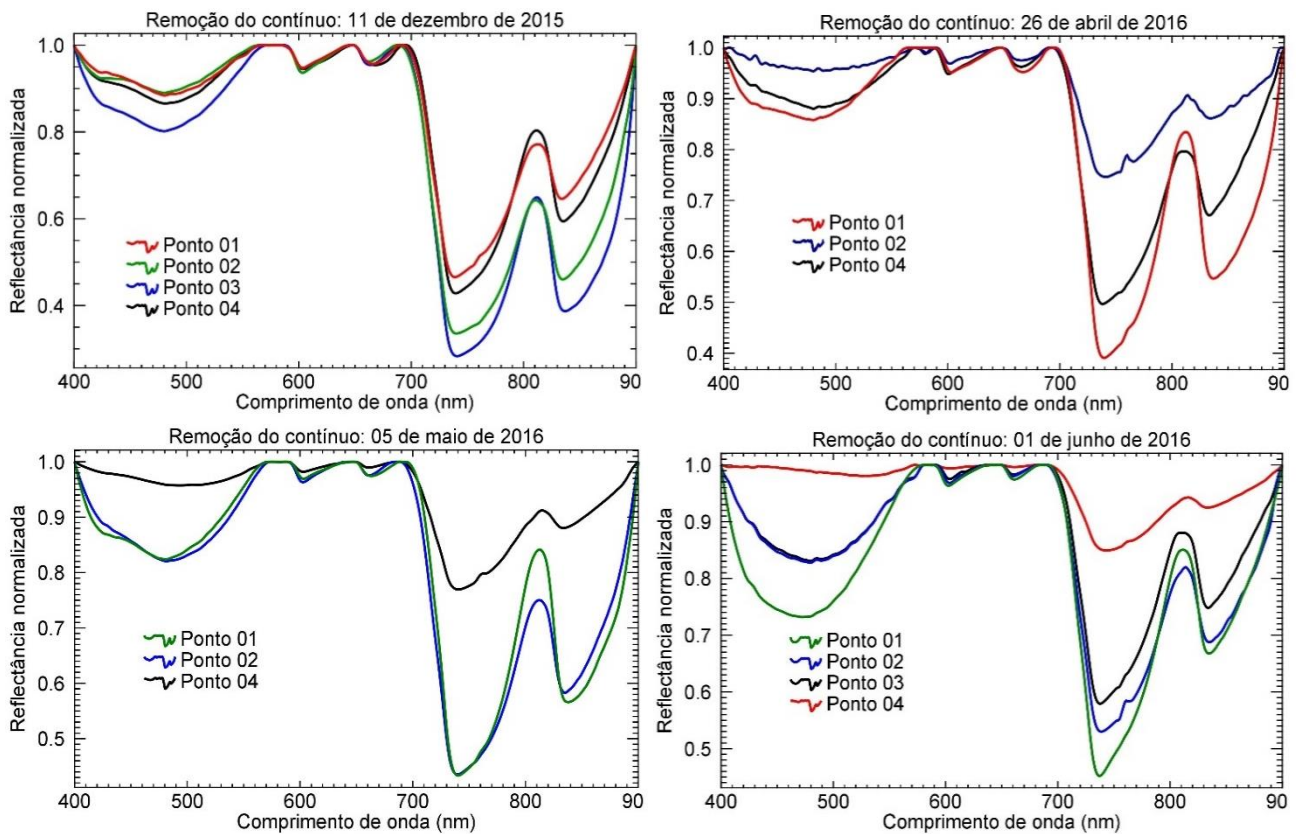


Figura 5. Gráficos de reflectância normalizada dos espectros originais: dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016.

Os resultados da remoção do contínuo condizem com os espectros originais, pois verifica-se feições de absorção nas regiões do azul, verde e vermelho relacionadas à concentrações de clorofila-a, observadas nos gráficos de reflectância da Figura 02. Em alguns estudos para clorofila-a, tais como Curran et al. (2001), Schmidt e Skidmore (2003), Galvão et al. (2005), Breunig et al. (2007) e Santos et al. (2018), utiliza-se como limite inferior o 550 nm e 720 nm como limite superior, tomando como referência o comprimento de onda de 665 nm, que representa região de absorção da clorofila-a. A clorofila-a atua como centro de reação fotossintética e possui dois picos de absorção, um no azul, em 433 nm,

chamado “Soret” e outro no vermelho, em 686 nm, chamado “alpha” (Kirk, 1994). Novo e Ponzoni (2001) relatam a ocorrência de picos de absorbância em torno de 430 e 665 nm, semelhante aos resultados encontrados por Rundquist et al. (1996), que obteve picos de absorbância em 450 e 670 nm. Na região do azul, os dados apresentaram picos em 480 (exceto o ponto 04 do mês de junho/2016), podendo estar relacionado a baixas concentrações do pigmento. Há um padrão de absorbância em todos os espectros analisados próximo de 665 nm (região do vermelho) caracterizando absorbância pela clorofila-a.

*Análise multivariada*

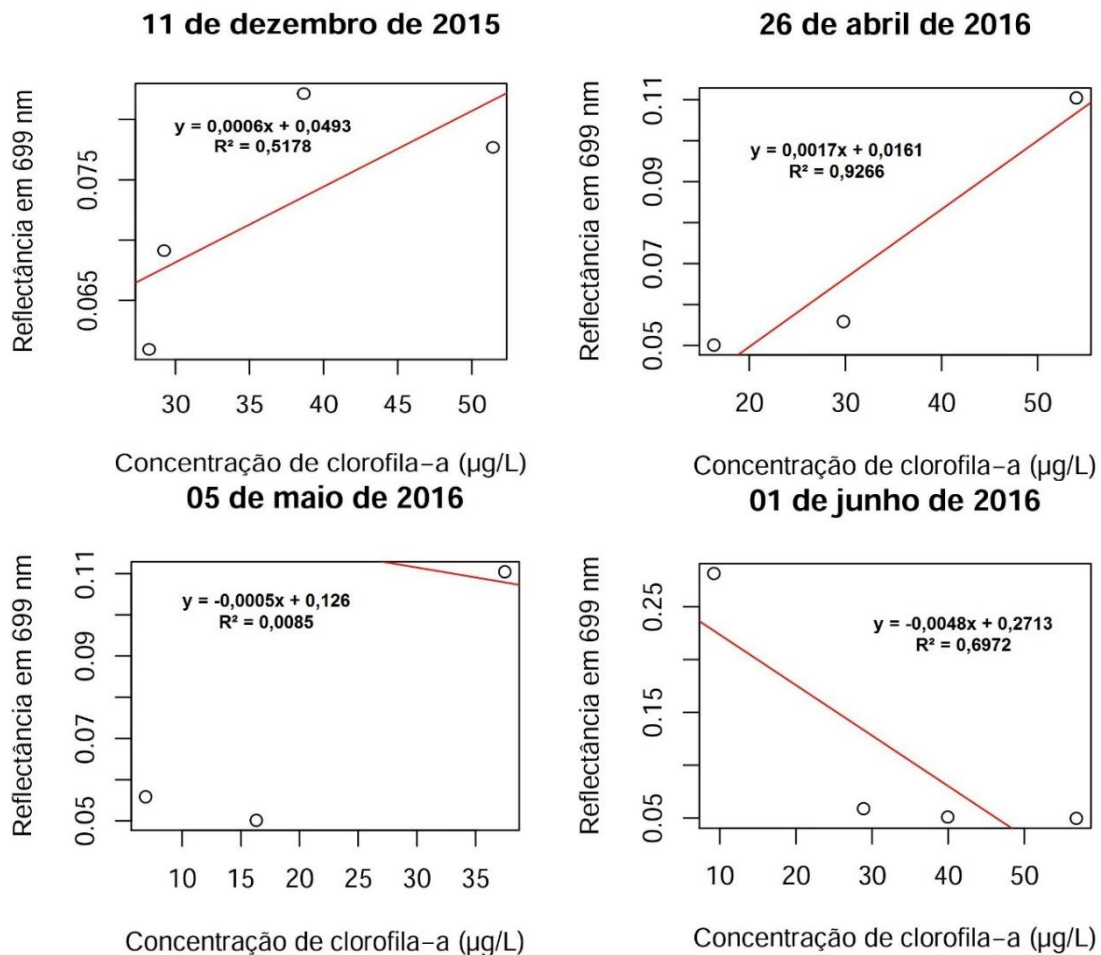


Figura 6. Gráficos de análise de regressão linear para os meses em estudo, correlacionando concentração de clorofila-a e reflectância em 699 nm.

A análise foi feita correlacionando a reflectância nos comprimentos de onda de 665, 675 e 685 nm, que conforme literatura correspondem a picos de absorção da clorofila-a, entretanto, os maiores coeficientes de correlação foram encontrados na análise com 699 nm, corroborando com Rundquist et al. (1996). Porém conforme esse mesmo autor quanto maior for o pico está associado à maiores concentrações de clorofila, e não foi observado nos gráficos dos meses de maio e junho.

## Conclusões

A espectrorradiometria de campo ainda é uma técnica pouco difundida na limnologia, porém estudos como este demonstram a capacidade analítica da técnica, ao confrontar com os dados químicos.

Neste trabalho observou-se a relação entre o comportamento das curvas espectrorradiométricas originais e os demais produtos resultantes da aplicação de técnicas de processamento de dados hiperespectrais com as

concentrações de clorofila encontradas no corpo hídrico.

A partir das técnicas de processamento ficou evidenciado que o comportamento espectral é afetado por outros COA's com efeito aditivo, carecendo em trabalhos futuros a inclusão de outras variáveis limnológicas para melhor caracterização e análise dos dados radiométricos.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica que permitiu o desenvolvimento deste trabalho, e ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM-UEFS) pela infraestrutura oferecida.

## Referências

Arraut, E.M., Rudorff, C.M., Barbosa, C.C.F., Carvalho, J.C., Pereira Filho, W., Novo, E.M.L.M., 2005. 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. Disponível: <http://urlib.net/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.18.48?ibiurl.language=pt-BR>. Acesso: 08 ago 2017.
- Barbosa, C.C.F., 2005. Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curai/rio Amazonas. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Breunig, F.M., Camargo, F.F., Adami, M., Mantelli, L.R., Costa, M.C., Ponzoni, F. J., Freitas, J.G., 2007. Aplicação da técnica de remoção do contínuo para a discriminação espectral de diferentes dosagens de Nitrogênio aplicadas ao trigo (*Triticumaestivum*, L. - IAC-370). Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.11.32/doc/91-98.pdf>. Acesso: 13 jul. 2017.
- Chen, J., Dowman, I., Li, S., Li, Z., Madden, M., Miils, J., Paparoditis, N., Rottensteiner, F., Sester, M., Toth, C., Trinder, J., Heipke, C., 2016. Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 115, 3-21.
- Chen, Z., Curran, P. J., Hansom, J.D., 1992. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. Remote Sensing of Environment [online] 40. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90127-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90127-6). Acesso: 09 mar 2017.
- Clark, R.N., Roush, T.L., 1984. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. Journal of Geophysical Research 89, 6329-6340.
- Corazza, R., 2010. Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica Dona Francisca-RS. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, UFSM.
- Curran, P.J., Dungan, J.L., Peterson, D.L., 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: testing the Kokaly and Clark methodologies. Remote Sensing of Environment 76, 349-359.
- Ferreira, R.D., Leão, J.A.D., Barbosa, C.C.F., Novo, E.M.L.M., 2011. Quantificação da concentração de clorofila em ambientes aquáticos continentais através da utilização de um fluorômetro de campo. Disponível: [http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.07.18.21/doc/ferreira\\_et\\_al\\_2011.pdf](http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.07.18.21/doc/ferreira_et_al_2011.pdf). Acesso: 18 ago. 2017.
- Galvão, L.S., Formaggio, A.R., Tisot, D.A., 2005. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor hyperion/EO-1. Revista Brasileira de Cartografia 1, 7-14.
- Gitelson, A.A., Schalles, J.F., Hladik, C.M., 2007. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. Remote Sensing Of Environment [online] 109. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.016>. Acesso: 31 mai, 2016.
- Gitelson, A., 1992. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. International Journal of Remote Sensing 13, 3367-3373.
- Gitelson, A., Garbuzov, G., Szilagyi, F., Mittenzwey, K.H., Karnieli, A., Kaiser, A., 1993. Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring of inland waters quality. International Journal of Remote Sensing 14, 1269-1295.
- Goodin, D.G., Han, L., Fraser, R.N., Rundquist, D.C., Stebbins, W. A., 1993. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution reflectance spectra. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 59, 505-510.
- Guimarães, T.L.B., 2015. Avaliação da qualidade da água no baixo curso do rio Subaé a partir de parâmetros físico-químicos e de componentes opticamente ativos: Chl-a e TSS. Dissertação (Mestrado). Feira de Santana, UFS.
- Han, L., Rundquist, D.C., 1997. Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: a case study in a turbid reservoir. Remote Sensing of Environment 62, 253-261.
- Jensen, J.R., 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais. Parêntese, São José dos Campos.
- Johnson, R.A., Wichern, D.W., 2007. Applied multivariate statistical analysis, 6 ed. Pearson Education, Delhi.
- Kirk, J.T.O., 1994. Light & photosynthesis in aquatic ecosystems, 2 ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kokaly, R.F., Clark, R.N., 1999. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features

- and stepwise multiple linear regression. *Remote Sensing of Environment* 67, 267-287.
- Londe, L.R., Novo, E.M.L.M., Calijuri, M.C., 2005. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. Disponível: <http://mar.te.dpi.inpe.br/rep/ltid.inpe.br/sb/sr/2004/11.19.18.09.49?languagebutton=en&searchsite=mtc-m21.sid.inpe.br:80>. Acesso: 12 jul. 2017.
- Méléder, V., Barrilé, L., Launeau, P., Carrère, V., Rincé, Y., 2003. Spectrometric constraint in analysis of benthic diatom biomass using monospecific cultures. *Remote Sensing Of Environment* [online] 88. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.08.009>. Acesso: 28 mai 2017.
- Noomem, M.F., Meer, F.D., Skidmore, A.K., 2005. Hyperspectral remote sensing for detecting the effects of three hydrocarbon gases on maize reflectance. Disponível: [http://www.cpnt.ru/userfiles/Nooman\\_Hyperspectral\\_remote\\_sensing\\_for\\_detecting\\_three\\_HC\\_gases.pdf](http://www.cpnt.ru/userfiles/Nooman_Hyperspectral_remote_sensing_for_detecting_three_HC_gases.pdf). Acesso: 15 jun 2017.
- Novo, E.M.L.M., 2009. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações, 3 ed. Editora Blucher, São Paulo.
- Novo, E.M.L.M., Ponzoni, F. J., 2009. Introdução ao Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos.
- Rudorff, C.M., 2006. Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE.
- Rundquist, D.C., Han, L., Schalles, J.F., Peake, J. S., 1996. Remote Measurement of Algal Chlorophyll in Surface Waters: The Case for the First Derivative of Reflectance Near 690 nm. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62, 195-200.
- Santos, E.P., Jesus, T.B., Carneiro, A.S.R., Santos, R.L., Santos, R.A., 2018. Imagens Sentinel-2A e espectrorradiometria aplicada a estudo de pastagens degradadas. *Anuário do Instituto de Geociências* [online] 41. Disponível: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_2\\_141\\_151](http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_141_151). Acesso: 23 ago. 2018.
- Schmidt, K.S., Skidmore, A.K., 2003. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing of Environment* 85, 92-108.
- Tsai, F., Philpot, W., 1998. Derivative Analysis of Hyperspectral Data. *Remote Sensing of Environment* [online] 66. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00032-7). Acesso: 21 jul 2015.
- Watanabe, F.S.Y., 2012. Estudo da influência da coluna d'água na resposta espectral da vegetação aquática submersa em condições controladas. Dissertação (Mestrado). Presidente Prudente, UNESP.