

## Derivada espectral como técnica de extração de informações de espectros de reflectância de corpo hídrico do baixo curso do Rio Subaé, Bahia

Erli Pinto dos Santos<sup>1</sup>  
Ayala de Souza Reis Carneiro<sup>1</sup>  
Taíse Bomfim de Jesus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/DEXA  
Caixa Postal 252 e 294 – 44036-900 – Av. Transnordestina, Feira de Santana – BA,  
Brasil  
{erlitec.agri, ayala.reis, taisebj} @hotmail.com

**Abstract:** The techniques of processing data of remote sensing have provide a best comprehension of structures ecosystems and your interaction with the electromagnetic radiation. But, there are methodological difficulties for the processing of high resolution hyperspectral data for insulation limnological variables relationship on radiometric data of detected reflectance by the sensors in field (in situ), directly influencing in choose of technique for use in mathematical modeling, it is difficult the analysis using only originals spectra. In this sense the technique of derivative analysis of the hyperspectral data, calculation attribute, was used with a goal of study the variation of optically active components (COAs) in water, through of data from field. The studied environment was the low course of river Subaé, Santo Amaro city, state of Bahia. The procedures of mathematical modeling adopted was the derivation by finite approximation of values of reflectance of filtrated originals spectra and first derived (for the second order) related the a finite band of wavelength. It was observed a relation between the behavior of spectrorradiometric originals curves, the obtained curves from the spectra derivate technique and chlorophyll-a concentrations. The first order derivative presented satisfactory results for features of chlorophyll-a. However the obtained graphics with application of second derivative, presented strong irregularity of values derived, its related to other COAs which were not included in the modeling. From the methodological procedure was possible to demonstrate the potential of successive derivation, corroborating with other authors.

**Palavras-chave:** espectrorradiometria de campo, derivação sucessiva, modelagem, rio Subaé.

### 1. Introdução

Estudos recentes mostram que o sensoriamento remoto é uma ferramenta eficaz para o monitoramento destes sistemas, pois permite a aquisição sistemática de dados, o recobrimento de áreas extensas e a coleta de informações em diferentes faixas do espectro eletromagnético permitindo inferir sobre os componentes da água (CHEN et al., 2007; GITELSON et al., 2007; NOVO, 2009). 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 COAs têm sido bastante estudados e discutidos pela literatura (Chen et al., 1992; Gitelson et al., 2007; Kirk, 1994).

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 comportamento 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. Conforme 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 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 (MÉLÉDER et al., 2003).

Dados gerados por sensores multiespectrais tem sido fontes valiosas de dados de sensoriamento remoto, e numerosos métodos efetivos tem sido desenvolvidos e aplicados com sucesso para análise destes dados espaciais ou espectrais, comumente derivados de métodos estabelecidos em estatísticas multivariadas (Duda and Hart, 1973; Richards, 1993; apud Tsai e Philpot, 1998). Entre técnicas que foram desenvolvidas na espectroscopia, a análise derivativa é particularmente promissora para uso com dados de sensoriamento remoto. Análise derivativa pode ser uma eficiente ferramenta para analisar dados hiperespectrais com diferentes ênfases do que os tradicionais algoritmos de sensoriamento remoto (TSAI e PHILPOT, 1998). Em espectroscopia no sensoriamento remoto, muitos estudos usando análise de derivada espectral apontaram para aplicações específicas, como concentração de constituintes de lagos de água doce (Dick e Miller, 1991; apud TSAI e PHILPOT, 1998).

A técnica de análise da derivada espectral apresenta a vantagem de reproduzir dados hiperespectrais menos sensíveis às componentes de variação que se comportam como constantes aditivas e espectralmente independentes ao longo de uma faixa espectral de alguns nanômetros (Tsai & Philpot, 1998; apud RUDORFF, 2007). Esta possibilidade é importante para estudos do meio aquático natural sujeito aos efeitos de misturas espectrais não-lineares e a condições ambientais de iluminação tão variáveis (Chen *et al.*, 1992; Curran & Novo, 1988; Han & Rundquist, 1997; Kondratyev & Pozdniakov, 1990; Novo *et al.*, 2004; apud RUDORFF, 2007). O modelo matemático, apresentado por Philpot (1991), usado na derivada por aproximação finita é estabelecida pela diferença na reflectância ( $ds$ ) em função do comprimento de onda ( $\Delta\lambda$ ).

Assim, o presente trabalho objetivou analisar as variáveis espectrais de dados radiométricos do corpo hídrico do rio Subaé, Santo Amaro, Bahia, com uso da derivada espectral como técnica de extração de informações, relacionado à concentração de clorofila-a como variável limnológica.

## 2. Materiais e métodos

A pesquisa foi realizada no baixo curso do rio Subaé (figura 01), município de Santo Amaro-BA, e procedeu-se coletas de dados radiométricos durante os meses dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016. A determinação analítica da clorofila-a seguiu o método estabelecido pelo *Standart Methods for Examination of Water and Watercoast*. Os sensores utilizados para obtenção de dados radiométricos *in situ* foram os espectrorradiômetros FieldSpec 4 Hi-Res e FieldSpec 3 (ASD Inc. – A PANalytical Company®), ambos com faixa espectral de captação de sinal de 350 à 2.500 nm com 2.151 bandas do espectro eletromagnético, resolução de 3 nm até 700 nm e de 8 nm até 1.400/2.100 nm.

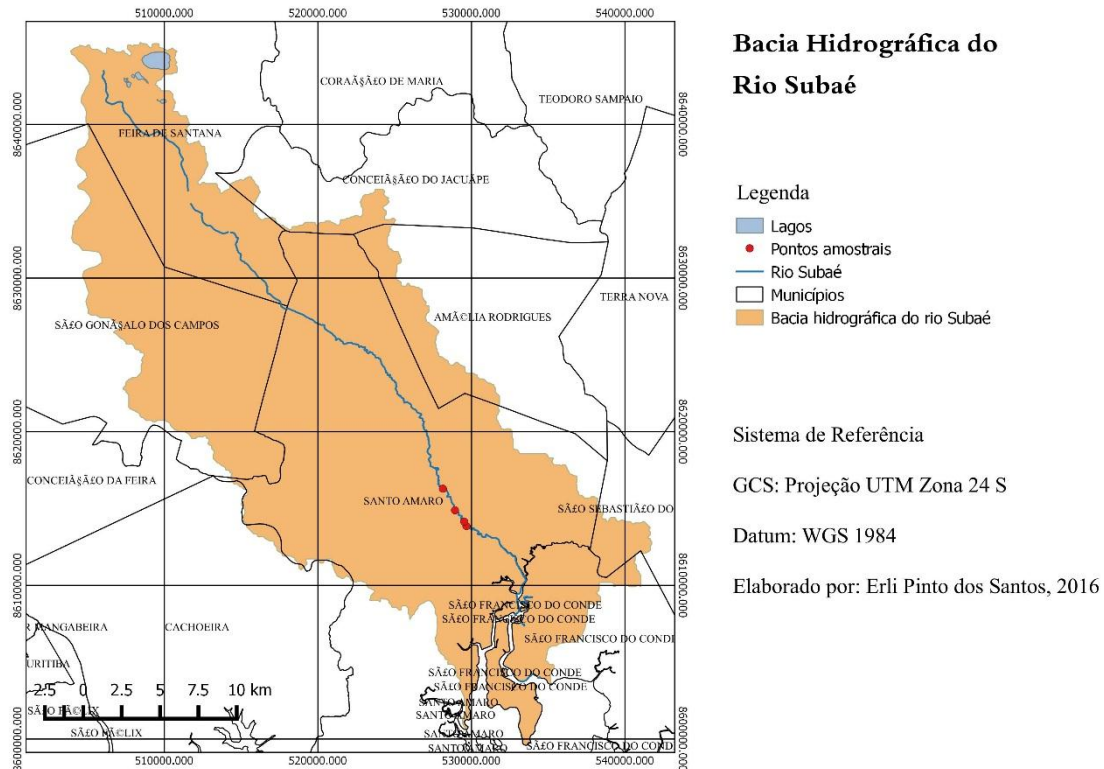


Figura 01: Mapa de delimitação da bacia hidrográfica do rio Subaé, mostrando os pontos amostrais no baixo curso do rio.

## 2.1. Tratamento de dados radiométricos

As curvas obtidas apresentaram ruídos, e fez-se necessária aplicação de filtro de suavização, um filtro de média móvel, usando média móvel de 5 pontos, como mostra a equação 01. O procedimento leva em consideração o valor de reflectância do primeiro comprimento de onda à ser filtrado e os próximos 4 subsequentes.

$$Fil5 = \frac{\sum \rho_1 + \dots + \rho_5}{n_\rho} \quad (01)$$

Em que  $\rho_1$  é o valor da reflectância do comprimento de onda escolhido à ser filtrado, até  $\rho_5$ ;  $n_\rho$  é o número de valores de reflectância ou número de média móvel, números envolvidos no somatório.

A filtragem objetiva suavizar as feições de ruídos de alta frequência do sinal registrado sem que haja perda das feições características diagnósticas dos componentes opticamente ativos, no caso a clorofila-a (Chl-a).

## 2.2. Análise derivativa

A técnica da derivada espectral foi aplicada usando o método de aproximação finita. Tsai e Philpot (1998) mostraram que a aproximação finita pode ser usada para estimar derivadas por um plano apropriado de diferença em concordância com uma finita banda de resolução ( $\Delta\lambda$ ). A primeira derivada é estimada pela equação 02, a segunda derivada pela equação 03.

$$\frac{ds}{d\lambda} \Big|_i \approx \frac{s(\lambda_i) - s(\lambda_j)}{\Delta\lambda} \quad (02)$$

Em que  $\Delta\lambda$  é a separação entre as bandas adjacentes;  $\lambda_j > \lambda_i$  é o intervalo entre as bandas constante;  $s(\lambda_i), s(\lambda_j), s(\lambda_k)$ , são valores do espectro na faixa dos comprimentos de ondas  $\lambda_i > \lambda_j$ , respectivamente.

$$\frac{d^2s}{d\lambda^2} \Big|_j = \frac{d}{d\lambda} \left( \frac{ds}{d\lambda} \right) \Big|_j \approx \frac{s(\lambda_i) - 2s(\lambda_j) + s(\lambda_k)}{(\Delta\lambda)^2} \quad (03)$$

Em que  $\Delta\lambda = \lambda_k - \lambda_j = \lambda_j - \lambda_i, \lambda_k > \lambda_j > \lambda_i$ .

A partir daí, derivadas de outras ordens são calculadas iterativamente e qualquer ordem de derivada é possível, com o uso da aproximação finita. No presente trabalho, esse procedimento foi efetuado no software Excel®.

### 3. Resultados e discussão

Para os meses abril e maio de 2016 não há dados referentes ao ponto 03 em decorrência das condições de campo. Na tabela 01 encontram-se as concentrações de clorofila-a obtidas em cada ponto e em cada mês em estudo.

Tabela 01. Concentrações de clorofila-a encontradas nos pontos de coleta do rio Subaé nos referidos meses.

Clorofila-a (µg/L)				
Local	Dez./2015	Abr./2016	Mai./2016	Jun./2016
Ponto 01	51,43	29,80	6,89	28,88
Ponto 02	29,23	54,03	37,49	56,84
Ponto 03	38,66	-	-	39,94
Ponto 04	28,92	50,79	16,32	9,22

A figura 02 exhibe as curvas espectrais dos pontos e meses em estudo. De modo geral, os espectros de reflectância apresentaram curvas com assinaturas semelhantes, porém maior albedo em curvas foram registradas no ponto 02 de abr./2016 e no ponto 04 de 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 absorvância. Rundquist et al., (1996) obteve picos de absorvância na região do vermelho (em 665 nm), este pico foi observado também por Gitelson (1992), estando presente em todos espectros analisados. 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 em estudos Arraut et al., 2005 e Chen et al., 1992 (GUIMARÃES, 2015). 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).

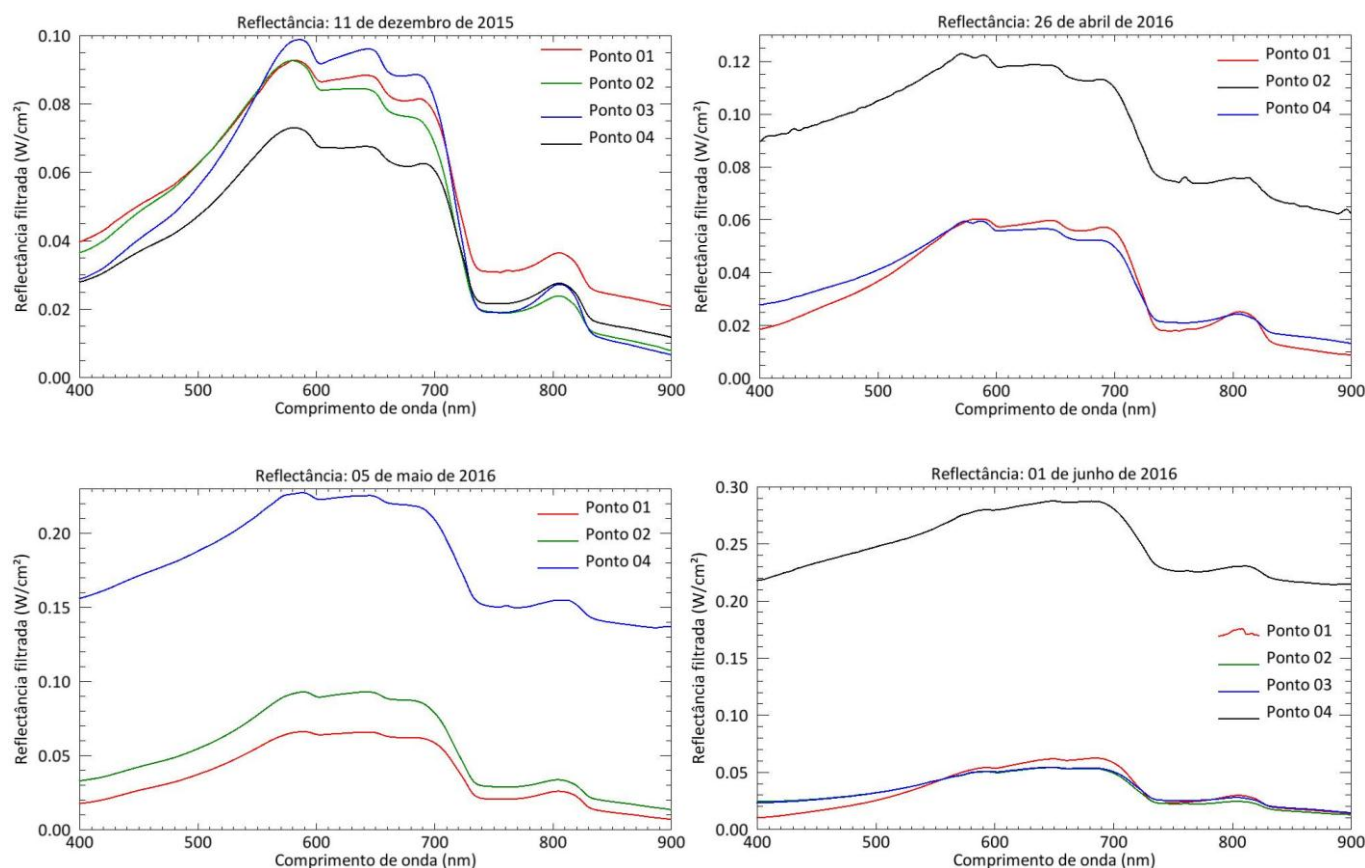


Figura 02: Espectros de reflectância do rio Subaé – Bahia: dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016.

### 3.1. 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 & 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.

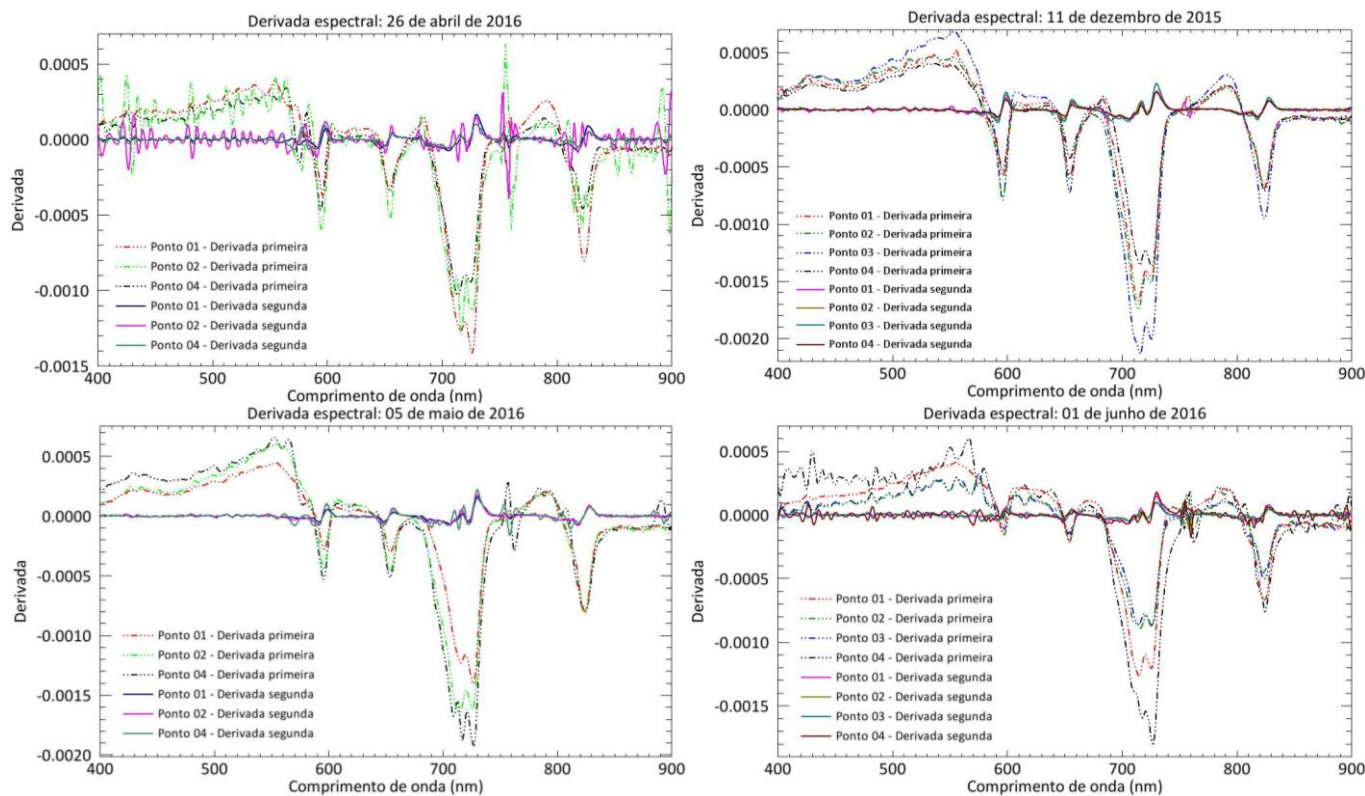


Figura 03: Curvas das derivadas espectrais de primeira e segunda ordem: dezembro de 2015, abril, maio e junho de 2016.

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).

#### 4. 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, as curvas obtidas a partir da técnica da derivada espectral e as concentrações de clorofila encontradas na água após a análise química, ressaltando a importância das técnicas na análise dos espectros.

A derivação sucessiva mostrou-se sensível às concentrações de clorofila-a analisadas, especialmente na primeira derivada, tão quanto a presença de outros componentes, que na segunda derivada o que não permitiram uma análise da clorofila-a, sugerindo a inserção de outras variáveis limnológicas na modelagem em trabalhos futuros.

## 5. Agradecimentos

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pela concessão da bolsa de iniciação científica que viabilizou esse trabalho. Ao PPGM/UEFS – Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Ciências da Terra – pela infraestrutura necessária oferecida.

## 6. Referências bibliográficas

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 de seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO

BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuí/rio Amazonas. 2005. 258p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos.

CHEN, Zhimin; CURRAN, Paul J; HANSOM, Jim D. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 40, n. 1, p.67-77, abr. 1992. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90127-6](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(92)90127-6).

CORAZZA, Rosana. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica Dona Francisca-RS**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências - Mestrado em Geografia, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GITELSON, A. A.; SCHALLES, J. F.; HLADIK, C. M. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 109, n. 4, p.464-472, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.016>.

GITELSON, A. 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**. 1992. v.13, n.17, p. 3367 – 3373.

GITELSON, A.; GARBUZOV, G.; SZILAGYI, F.; MITTENZWEY, K. H.; KARNIELI, A.; KAISER, A. Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring of inland waters quality. **International Journal of Remote Sensing**. v. 14, n. 7, p. 1269 – 1295, 1993.

GOODIN, D. G., *et al.* A. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution reflectance spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, n. 4, p. 505-510, 1993.

GUIMARÃES, T. L. de B. **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 de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana: Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente. Feira de Santana, BA. 2015.

HAN, Luoheng; RUNDQUIST, Donald C.. 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**, New York, v. 62, n. 3, p.253-261, dez. 1997.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 509 p.

MÉLÉDER, V. et al. Spectrometric constraint in analysis of benthic diatom biomass using monospecific cultures. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 88, n. 4, p.386-400, dez. 2003. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.08.009>.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Ed. Blucher. 2009.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2001.

PHILPOT, W. D.. The derivative ratio algorithm: avoiding atmospheric effects in remote sensing. **IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.350-357, maio 1991. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/36.79425>

REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 2447-2456.

RUDORFF, Conrado de Moraes. **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.** 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

RUDORFF, Conrado M et al. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p.269-280, jun. 2007.

RUNDQUIST, D. C.; HAN, L.; SCHALLES, J. F.; PEAKE, J. S. Remote Measurement of Algal Chlorophyll in Surface Waters: The Case for the First Derivative of Reflectance Near 690 nm. In: **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, vol 62, no. 2, 1996, p. 195-200.

TSAI, Fuan; PHILPOT, William. Derivative Analysis of Hyperspectral Data. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 66, n. 1, p.41-51, out. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(98\)00032-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(98)00032-7).