

ANÁLISE DO POTENCIAL DE USO DOS DADOS ESPECTRAIS DO SENSOR LANDSAT 8 PARA ESTIMATIVAS DAS CONCENTRAÇÕES DE CLOROFILA-A

Fernando Bezerra Lopes¹, Nicole Sarah Carvalho Ponte², Valéria Severo de Noronha³,
Julyanne Braga Cruz Amaral⁴, Eunice Maia de Andrade⁵

⁽¹⁾ Professor, Universidade Federal do Ceará (UFC), lopesfb@ufc.br;

⁽²⁾ Estudante de Agronomia, Universidade Federal do Ceará (UFC), nicolle.ncsp@hotmail.com;

⁽³⁾ Estudante de Agronomia, Universidade Federal do Ceará (UFC), eeepdv.valeriasevero@gmail.com;

⁽⁴⁾ Mestranda, Universidade Federal do Ceará (UFC), julyanne_braga@hotmail.com;

⁽⁵⁾ Professora, Universidade Federal do Ceará (UFC), eandrade.ufc@gmail.com.

RESUMO: O monitoramento da água é essencial para a sustentabilidade e gestão eficiente dos recursos hídricos. O uso de dados de sensoriamento remoto é importante para avaliar problemas dinâmicos em sistemas aquáticos, como a eutrofização e sedimentos suspenso. Portanto, objetivou-se simular as respostas espectrais das bandas do sensor orbital Landsat 8 e avaliar o desempenho de modelos para estimar das concentrações de clorofila-a. A área de estudo corresponde ao açude Orós, Ceará. As amostras de água para análise da clorofila-a e as medições da radiância espectral do sistema aquático foram coletadas em 20 pontos em agosto de 2011. As medidas de radiância foram realizadas utilizando um espectrorradiômetro. As bandas simuladas do sensor LANDSAT apresentaram feições características do comportamento espectral de águas onde o constituinte opticamente ativo presente no sistema aquático é a Clorofila-a. O modelo usando a razão de bandas (3 e 4) do sensor LANDSAT 8 apresentou coeficiente de determinação de 0,71. O modelo desenvolvido usando dados simulados do sensor orbital LANDSAT 8 para o atributo clorofila-a tem grande potencial, indicando que esta variável pode ser quantificada remotamente.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, simulação de bandas espectrais, águas continentais

ANALYSIS OF THE POTENTIAL FOR USE OF LANDSAT 8 SENSOR SPECIAL DATA FOR ESTIMATES OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATIONS

ABSTRACT: Water monitoring is essential for the sustainability and efficient management of water resources. The use of remote sensing data is important to evaluate dynamic problems in aquatic systems such as eutrophication and suspended sediment. Therefore, we aimed to simulate the spectral responses of the Landsat 8 orbital sensor bands and to evaluate the performance of models to estimate chlorophyll-a concentrations. The study area corresponds to the Orós reservoir, Ceará. Water samples for chlorophyll-a analysis and measurements of the spectral radiance of the aquatic system were collected at 20 points in August 2011. Radiance measurements were performed using a spectroradiometer. The simulated bands of the LANDSAT sensor presented characteristic features of the spectral behavior of waters where the optically active constituent present in the aquatic system is Chlorophyll-a. The model using the band ratio (3 and 4) of the LANDSAT 8 sensor presented coefficient of determination of 0.71. The model developed using simulated data from the LANDSAT 8

orbital sensor for the chlorophyll-a attribute has great potential, indicating that this variable can be quantified remotely.

KEYWORDS: Remote sensing, simulation of spectral bands, continental Waters.

INTRODUÇÃO

A água é a substância de maior importância na natureza, pois dela depende a existência de todas as formas de vida de que se tem conhecimento. Na medida em que cresce a demanda de recursos hídricos no mundo, diminui a probabilidade do fornecimento de água doce. Como agravante, nas últimas décadas a qualidade da água vem sendo rapidamente deteriorada o que inviabiliza a utilização de importantes reservatórios (ALEXANDRE et al., 2010; PALÁCIO et al., 2011; LI et al., 2011; GUEDES et al., 2012).

Em regiões áridas e semiáridas de baixas latitudes, as barragens e a perenização artificial de rios constituem a principal fonte de água para uso doméstico, industrial e agrícola (ANDRADE et al., 2007). Com isso, o monitoramento da água nos dias atuais é essencial para a sustentabilidade e melhor gestão dos recursos hídricos. O uso de dados de sensoriamento remoto pode torná-lo mais bem sucedido e apresenta a grande potencialidade de monitoramento em diferentes escalas espaciais e temporais (LOPES et al., 2014).

Nesse contexto, o uso de sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta importante para o monitoramento de sistemas aquáticos continentais e sua bacia hidrográfica porque proporciona uma visão sinótica do ambiente, permitindo identificar as regiões críticas de poluição na bacia hidrográfica e de entrada de nutrientes nos reservatórios superficiais (LOPES et al., 2018). Portanto, objetivou-se simular as respostas espectrais das bandas do sensor orbital Landsat 8 e avaliar o desempenho de modelos para estimar as concentrações de clorofila-a em reservatório da região semiárida do Brasil usando dos dados simulados.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde ao açude Orós, o principal reservatório da bacia do Alto Jaguaribe, região Centro Sul do Estado do Ceará (Figura 1). A barragem do reservatório foi concluída, em 1961, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, com a finalidade de perenizar o rio Jaguaribe visando o abastecimento da população (regiões do Jaguaribe e metropolitana de Fortaleza, capital do Estado do Ceará), o desenvolvimento da agricultura irrigada, da piscicultura e do turismo. O açude Orós (Figura 1) tem capacidade de armazenamento na cota de sangria de 1,94 bilhões de m³ e espelho de água de aproximadamente 190 km². Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo BSw'h', semiárido quente com precipitações máximas de outono, e temperatura média mensal sempre superior a 18 °C; com precipitação pluviométrica média anual (1974 a 2011) de 998 ± 321 mm

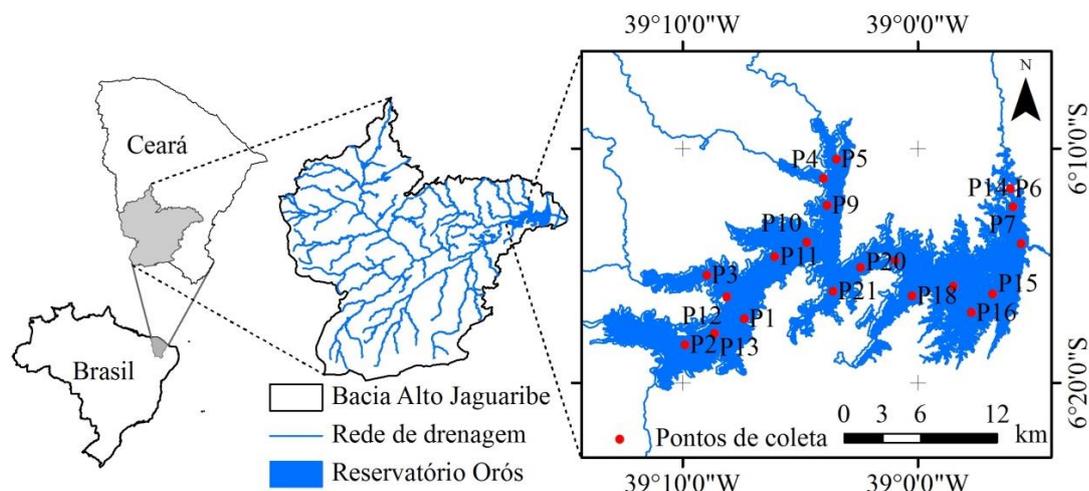


Figura 1. Localização do reservatório Orós, Ceará, com os pontos de coleta.

As amostras de águas foram coletadas a profundidade 30 cm da superfície, em seguida acondicionadas em isopor com gelo e enviadas ao laboratório para análise da clorofila-a. Simultaneamente as coletas das amostras de águas foram realizadas as medições da radiância espectral do sistema aquático utilizando o espectrorradiômetro. Os dados foram coletados em 20 pontos (Figura 1) nos mês agosto de 2011. As medições da radiância espectral do sistema aquático foram realizadas utilizando o espectrorradiômetro ASD FieldSpec®3 Hi-Res com campo de visada de 25°, resolução espectral de 1,4 nm, e que abrange a faixa espectral de 350 a 2500 nm. Também foi utilizada uma placa de referência de Spectralon, representando uma superfície lambertiana. As medições foram realizadas entre 10 e 14 horas, no período de menor ângulo de inclinação solar, maior fluxo de energia radainte e condições meteorológicas adequadas, com pouco vento e céu predominantemente livre de nuvens.

As medidas radiométricas foram coletadas seguindo os procedimentos da metodologia proposta por Milton (1987), ou seja, preservou ao máximo a igualdade de condições de iluminação e de superfície de água. O espectrorradiômetro foi posicionado em cada ponto amostral com eixo de visada de 40° de inclinação em relação à vertical e de 90° de azimute em relação à posição do Sol, minimizando a reflectância especular da água. A altura do sensor em relação à superfície da água foi de 1 m e o tamanho aproximado da área imageada foi de 0,7 m².

Para cada ponto foram realizadas 10 medidas de radiância da água, para que posteriormente fossem eliminadas as medidas não representativas e calculada a média para as restantes. Os valores de radiância espectral foram convertidos em fator de reflectância bidirecional conforme a expressão:

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

em que: FRB_{λ} = Fator de reflectância bidirecional (adimensional); $L_{a,\lambda}$ = Radiância espectral do alvo (W/ cm².sr.µm); $L_{r,\lambda}$ = Radiância espectral da placa de referência (W/ cm².sr.µm).

Para verificar a eficácia das estimativas dos constituintes opticamente ativos nos corpos d'água usando imagens de sensores orbitais, foram simulados a largura e o número de bandas

espectrais do sensor orbital OLI – Operational Land Imager abordo do satélite Landsat 8 a partir das curvas espectrais obtidas por radiômetros de campo.

A simulação de uma banda espectral a partir de outras bandas espectrais é possível somente se existir uma considerável sobreposição espectral entre a banda que se deseja simular e as bandas usadas para realizar a simulação (MASCARENHAS *et al.*, 1991). O método utiliza as curvas espectrais dos sensores como entrada e o procedimento consiste basicamente na soma ponderada destas curvas, onde os pesos da ponderação definem a contribuição de cada banda.

Generalizando, considera-se a banda larga (i) do sensor orbital, construída a partir de n bandas estreitas do espectrorradiômetro ASD FieldSpec®3 Hi-Res que variam de x a y, onde x e y são as bandas do primeiro e último canais, respectivamente, que contribuem para a banda (i) do sensor orbital.

A radiância da banda simulada (L(i)) é formada pela soma do produto da função de resposta espectral ponderada (FREP(c)) e a radiância do espectrorradiômetro (L(c)) para cada canal que participa na formação da banda, equação 2.

$$L_{(i)} = \sum_x^y FREP_{(c)} * L_{(c)} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 2 algumas feições características do comportamento espectral de águas ricas em Clorofila-a (RUNDQUIST, *et al.* 1996; GITELSON, 1992; DALL'OLMO; GITELSON, 2005; LOPES *et al.*, 2011; LE *et al.*, 2013). Verifica-se principalmente a baixa reflectância de 400 a 500 nm, devido à absorção destes pigmentos e pela absorção de substâncias orgânica dissolvidas na água nesta região (MANTOVANI, 1993; MOBLEY, 2004). Apresenta um vale em 438 nm, absorção pela clorofila-a; máximo de reflectância na região do verde, em torno de 550 nm, devido a menor absorção pelos pigmentos; mínimo de reflectância na região do vermelho, por volta de 668 nm, devido à absorção da Clorofila-a; e pico de reflectância em torno de 700 nm, atribuído a ambos, alto espalhamento e absorção mínima por todos os componentes opticamente ativos, incluindo a água pura (GITELSON, 1992; DALL'OLMO; GITELSON, 2005; LE *et al.*, 2013).

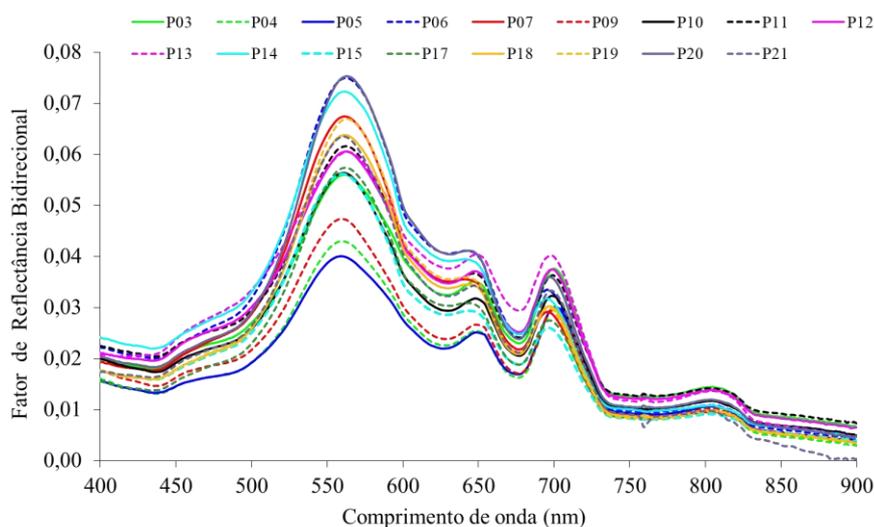


Figura 2. Fator de reflectância do sistema aquático do reservatório Orós, para campanha de campo realizada em agosto de 2011.

Foram simuladas as bandas do sensor Land Remote Sensing Satellite - LANDSAT 8 a partir dos dados radiométricos *in situ* de agosto de 2011 (Figura 2), com o objetivo de verificar a eficácia espectral para classificar corpos d'água. Após a simulação das bandas, foi ajustado o modelo de regressão entre as concentrações de clorofila-a e os dados espectrais das bandas simuladas (Figura 3).

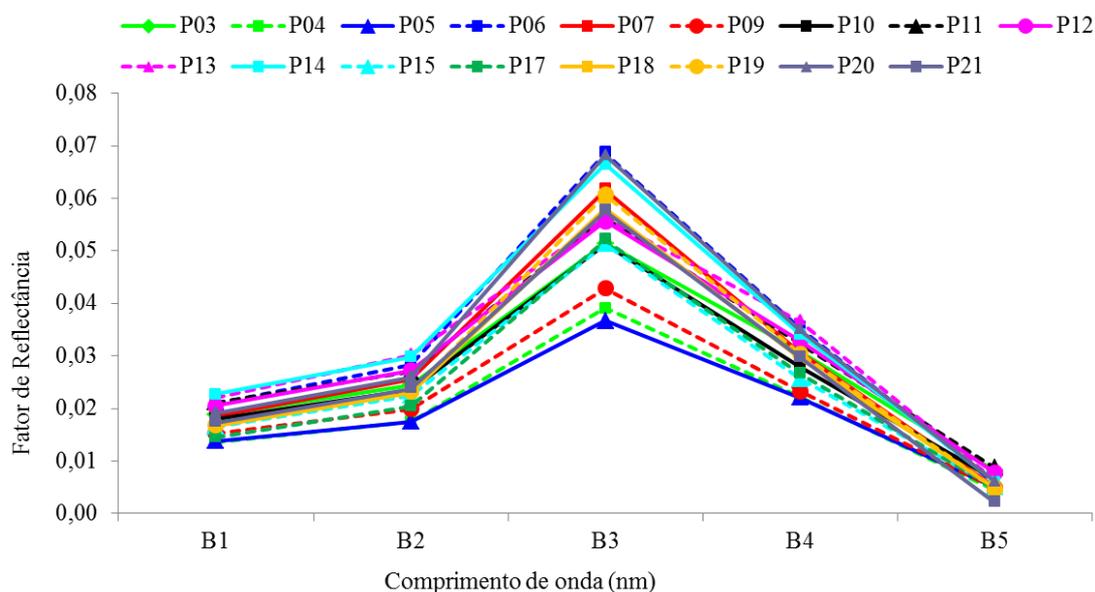


Figura 3. Comportamento espectral do sistema aquático do reservatório Orós, para as bandas simuladas do sensor LANDSAT 8 a partir dos dados campo de reflectância de agosto de 2011.

As bandas simuladas do sensor LANDSAT apresentaram feições características do comportamento espectral de águas onde o constituinte opticamente ativo presente no sistema aquático é a Clorofila-a. Verifica-se principalmente a baixa reflectância nas bandas 1 e 2, devido à absorção destes pigmentos; máximo de reflectância na região do verde, banda 3, devido a menor absorção pelos pigmentos; mínimo de reflectância na região do vermelho, banda 4, devido à absorção da Clorofila-a; e baixa reflectância na banda localizada na região do infravermelho próximo, banda 5, devido à forte absorção da água.

A análise do resultado do modelo determinado para a estimativa das concentrações de clorofila-a para o Reservatório Orós, Ceará, usando dados simulados das bandas do sensor LANDSAT 8 é apresentado na Figura 4.

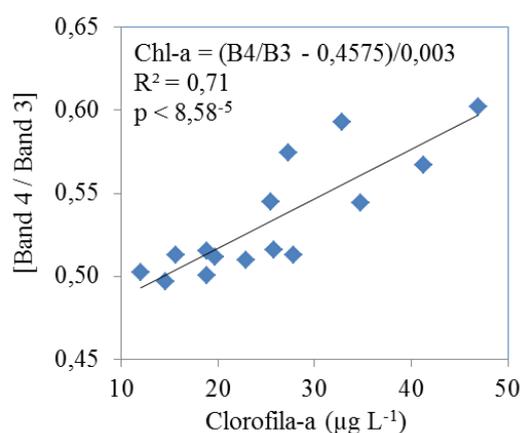


Figura 4. Modelo de estimativa das concentrações de clorofila-a para o reservatório Orós, para as bandas simuladas do sensor LANDSAT 8 a partir dos dados campo de reflectância de agosto de 2011.

O modelo usando a razão de bandas (3 e 4) do sensor LANDSAT 8 apresentou coeficiente de determinação de 0,71 (Figura 4), ou seja, as concentrações de clorofila-a usando os dados simulados a partir de dados espectrais de campos podem ser estimadas. O modelo indica que as concentrações de clorofila-a podem ser estimadas a partir dos dados do sensor orbital LANDSAT 8; o modelo apresenta correlação significativa (valor $p < 8,58^{-5}$).

CONCLUSÕES

O principal componente opticamente ativo modelando a forma dos espectros foi clorofila-a. O modelo do sensor LANDSAT 8 apresentou coeficiente de determinação de 0,71 ou seja, as concentrações de clorofila-a usando os dados simulados a partir de dados espectrais de campos podem ser estimadas. O modelo indica que as concentrações de clorofila-a podem ser estimadas a partir dos dados do sensor orbital LANDSAT 8. O modelo desenvolvido usando dados simulados do sensor orbital LANDSAT 8 para o atributo clorofila-a tem grande potencial, indicando que esta variável pode ser quantificada remotamente.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, FUNCAP e INCTSAL pelo apoio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, D. M. B.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; FERREIRA, A. C. S. The water quality investigation using GIS and multivariable analysis in a semiarid region reservoir. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 554-561, 2010.

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, B. G.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1791-1797, 2007.

GITELSON, A. A.; GAO, B.; LI, R.; BERDNIKOV, S.; SAPRYGIN, V. Estimation of chlorophyll-a concentration in productive turbid waters using a Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean—the Azov Sea case study. *Environmental Research Letters*. v.6, p.1-7, 2011.

GITELSON, A. A.; GRITZ, U.; MERZLYAK, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, v. 160, p. 271–282, 2003.

GITELSON, A. A.; GURLIN, D.; MOSES, W. J.; BARROW T. A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case 2 waters. *Environmental Research Letters*. p.1-5. 2009.

GITELSON, A. A.; GURLIN, D.; MOSES, W. J.; BARROW. T. A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case 2 waters. *Environmental Research Letters*. v.4, p.1-5, 2009.

GITELSON, A. A.; KONDRATYEV, K. Y. Optical models of mesotrophic and eutrophic water bodies. *International Journal of Remote Sensing*, v. 12, n. 3, p. 373–385, 1991.

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*. p.464–472. 2007.

LOPES, F. B.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 13-19, 2014.

LOPES, F. B.; NOVO, E. M. L. M. ; BARBOSA, C. C. F. ; ANDRADE, E. M. ; FERREIRA, F. D. . Simulation of spectral bands of the MERIS sensor to estimate chlorophyll-a concentrations in a reservoir of the semi-arid region. **Agro@mbiente On-line**, v. 10, p. 96-106, 2016.