

Análise comparativa do fator de reflectância adquirido em campo e por dados orbitais para um lago rico em fitoplâncton.

Maria Paula da Silva¹
Jéssica Gerente¹
Clarissa Akemi Kajiya Endo¹
Raquel Renó de Oliveira¹
Lidiane Cristina Oliveira Costa¹
Barbara Hass Miguel¹
Elisabete Caria Moraes¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mariapaula.silva, jessica.gerente, clarissa.endo, raquel.oliveira, lidiane.costa, barbara.miguel, bete}@inpe.br

Abstract. Remote Sensing data is primarily derived from radiometric measurements, which can be taken in situ or by sensors on board of satellites. From radiometric measurements and considering the observation and illumination geometry some biophysical properties of the target can be inferred. In situ radiance values measured with a spectroradiometer, that is a hyperspectral sensor, are different from the orbital sensors that have a poor spectral and spatial resolution. This study aims to compare the spectroradiometer water spectral curve with the simulated curve that would be obtained by MODIS and OLI sensors in a chlorophyll rich lake. In situ radiance was measured at the main lake of the Aeronautics Technological Center (ATC), in São José dos Campos, São Paulo - Brazil. Besides the lake measurements, radiance of a lambertian reference plate was measured in order to calculate the reflectance factor. The spectral curve found for the in situ measurements were then used to estimate the corresponding curves obtained from MODIS and OLI sensors. When comparing the in situ spectral curve with those of the orbital sensors it is possible to notice that some key features are not detected by the later, due to the coarser spectral resolution of the bands and, also, because some wavelengths are not contemplated by the sensors simulated in this work. The best orbital sensor simulated was MODIS to this study despite its spatial resolution.

Palavras-chave: remote sensing, radiometry, spectral behavior of water, sensoriamento remoto, radiometria, comportamento espectral da água.

1. Introdução

Sensoriamento Remoto (SR) pode ser definido como a ciência que utiliza a radiação eletromagnética (REM) captada por um sensor, para obter características dos alvos de interesse a partir de sua interação com a REM (Novo, 2008). Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Dessa forma, o comportamento espectral analisado em experimentos de campo é associado com a interpretação de imagens orbitais. Os sistemas utilizados para a medição da radiação são os radiômetros (Steffen, 1996), esses sensores podem ser instalados tanto em plataformas orbitais como satélites, ou em plataformas suborbitais, como mastros, torres terrestres, aeronaves e VANTs.

A radiação solar incidente em uma determinada área específica da superfície está intimamente relacionada às condições atmosféricas e meteorológicas. Fatores como espalhamento atmosférico, presença de sombras, posição geográfica no planeta e dia do ano interferem nas estimativas do cálculo da irradiância solar. Além disso, as propriedades inerentes do alvo e dos objetos ao seu redor respondem a essa radiação de formas distintas, gerando um sinal característico para os principais materiais como vegetação, solo, rochas e minerais, água, neve, entre outros.

Quando o objeto de estudo é a água, esta pode ser encontrada em diferentes estados físicos e, conseqüentemente, suas respostas espectrais não ocorrerão em intervalos de comprimento de onda necessariamente iguais.

A água na forma de neve (estado sólido) apresenta alta reflectância, em toda a faixa do visível e infravermelho próximo, com uma forte banda de absorção em 1000nm. No SWIR há o decaimento a partir de 1200nm e com duas fortes bandas de absorção em 1400 e 1900nm, conforme mostra a Figura 1. Em forma de nuvem, geralmente encontrada no estado gasoso, também apresenta valores de reflectância altos entre 380nm e 2500nm, e suas bandas de absorção se encontram centradas em 1400 e 1900nm. A água pura (líquida) tem como característica a baixa reflectância, entre 380nm e 700nm, absorvendo toda radiação acima deste comprimento de onda (Figura 1a, Novo, 2010).

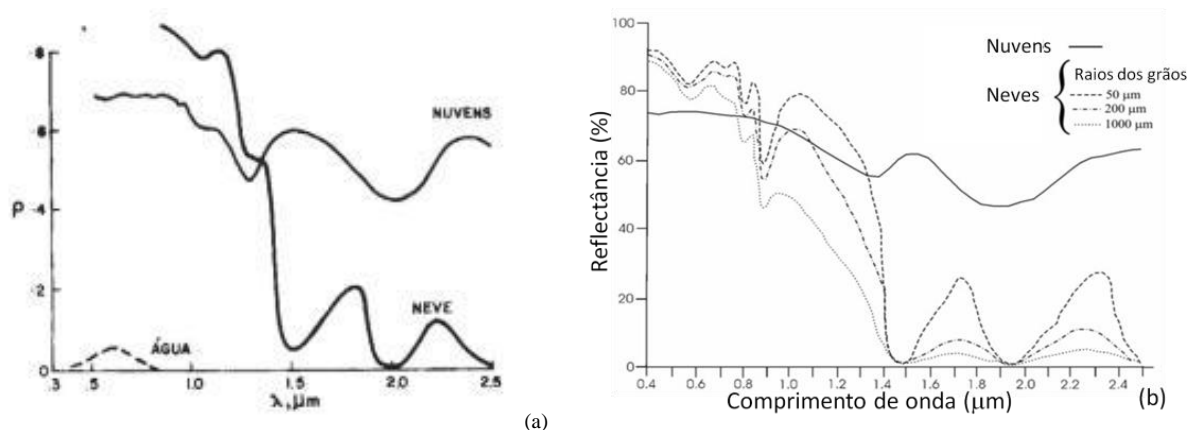


Figura 1. Reflectância Espectral: (a) para água, nuvem e neve; e (b) para nuvem e neve de acordo com os tamanhos de cristais que compõe a neve. Fonte: Farooq, S. do departamento de geologia da Aligarh Muslim University, 2016.

Entretanto, na natureza, a água está sempre associada a outros componentes opticamente ativos que regem suas propriedades ópticas inerentes (Rudorff et al., 2007). O sedimento em suspensão, por exemplo, é um dos principais responsáveis pelo espalhamento e absorção, com valores mínimos de absorção entre 590 e 630nm. Outro componente opticamente ativo é o fitoplâncton, nele a clorofila a é o principal componente fitoplanctônico para os estudos da água com SR, apresentando picos de absorção em aproximadamente 430 e 670nm (Novo, 2000; Ferreira, 2014). Conseqüentemente, as propriedades ópticas de águas naturais mostram grandes variações temporais e espaciais e raramente se assemelham às de água pura (Mobley, 1994). Para detectar as variações que os componentes provocam na resposta espectral da água, são necessários sensores hiperespectrais e com alta resolução radiométrica.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é simular, a partir de dados de campo coletados com espectrorradiômetro, a reflectância obtida pelos sensores Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), a bordo dos satélites Terra e Aqua e Operational Land Imager (OLI), a bordo do satélite Landsat 8, para um lago rico em fitoplâncton situado na cidade de São José dos Campos, São Paulo – Brasil e a partir disso, verificar se esses sensores são indicados para estudos de propriedades da água.

2. Materiais e métodos

A área de estudo deste trabalho é um lago rico em fitoplâncton situado no Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA), em São José dos Campos, cuja localização geográfica aproximada é 23°12'52,46"S e 45°52'4,84"W. A aquisição dos dados de radiância em campo

foi realizada no dia 25 de Abril de 2016, por meio do espectrorradiômetro *FieldSpec 4* e de uma placa lambertiana *Spectralon*(Figura 2a).

A atmosfera durante o experimento, em escala sinótica, estava sobre influência de um sistema frontal atuando da Argentina ao Rio Grande do Sul, e com a Alta Subtropical do Atlântico Sul com núcleo intenso (1024 hPa), provocando ventos pré frontais. Localmente, foi possível notar que o céu estava encoberto com cirrus e nuvens cumulus humilis (Figura 2b).

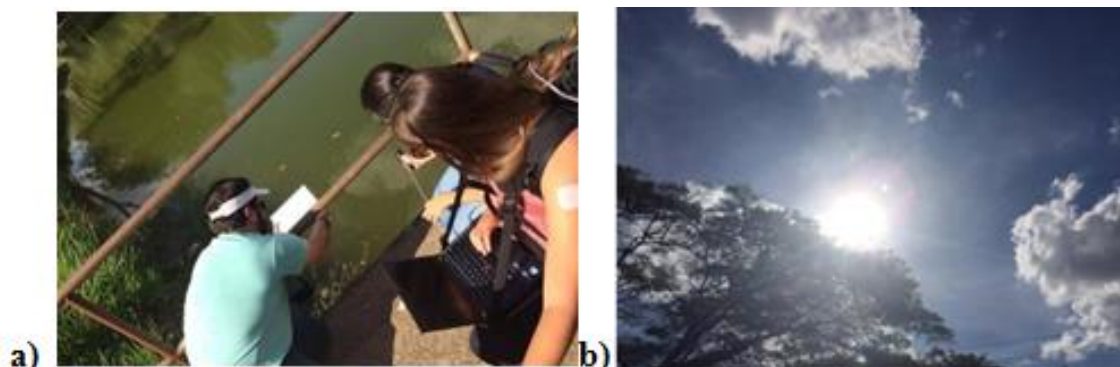


Figura 2- a) Aquisição dos dados e b) céu no momento da coleta.

Foram realizadas duas medições do lago consecutivas às medições na placa lambertiana, as quais foram convertidas para fator de reflectância (FR) (Equação 1). Vale ressaltar que tanto as medidas da placa de referência quanto do alvo foram realizadas no menor intervalo de tempo possível, preservando ao máximo as geometrias de aquisições e as condições de irradiância solar (iluminação), conforme sugerido por Milton (1987).

$$FR_{\lambda} = \frac{L_{alvo}(\theta_r, \lambda)}{L_{refer\tilde{e}ncia}(\theta_r, \lambda)} \quad (1)$$

Para determinação do valor de reflectância espectral do alvo nos comprimentos de onda equivalente às faixas espectrais dos sensores OLI e MODIS, foram obtidas as médias referentes às faixas espectrais dos sensores nas páginas *web* dos respectivos sensores e posteriormente apresentados em um gráfico os valores dos fatores de reflectância bidirecional multiespectral correspondentes a estas faixas espectrais.

O sensor OLI possui resolução espectral com 9 faixas (Tabela 1), resolução espacial de 30 metros para as bandas multiespectrais e 15 metros para a pancromática, resolução temporal de 16 dias e radiométrica de 16 bits (USGS, 2013).

Tabela 1. Bandas do sensor OLI abordo do satélite Landsat 8.

OLI Landsat 8			
Banda	Largura da banda (µm)	Banda	Largura da banda (µm)
1	0,436 – 0,528	6	0,488 – 0,693
2	0,513 – 0,611	7	1,341 – 1,410
3	0,626 – 0,692	8	0,835 – 1,039
4	0,830 – 0,901	9	2,038 – 2,356
5	1,516 – 1,699		

O MODIS possui 36 faixas espectrais distribuídas no intervalo de 405nm a 14400nm (Tabela 2). Além disso, este sensor possui resolução espacial de 250 m (para as bandas 1e 2), 500 m (para as bandas 3 a 7) e 1000m (para as bandas 8 a 36), sendo que sua resolução

radiométrica é de 12 bits e sua resolução temporal diária, considerando ambos os satélites Terra e Aqua (<http://modis.gsfc.nasa.gov>).

Tabela 2. Bandas do sensor MODIS abordo do satélite Aqua e Terra.

MODIS Terra e Água			
Banda	Largura da banda (µm)	Banda	Largura de banda (µm)
1	0,620 - 0,670	16	0,635 - 0,670
2	0,621 - 0,670	17	0,636 - 0,670
3	0,622 - 0,670	18	0,637 - 0,670
4	0,623 - 0,670	19	0,638 - 0,670
5	0,624 - 0,670	20	3,660 - 3,840
6	0,625 - 0,670	21	3,929 - 3,989
7	0,626 - 0,670	22	3,929 - 3,989
8	0,627 - 0,670	23	4,020 - 4,080
9	0,628 - 0,670	24	4,433 - 4,498
10	0,629 - 0,670	25	4,482 - 4,549
11	0,630 - 0,670	26	1,360 - 1,390
12	0,631 - 0,670	27	6,535 - 6,895
13	0,632 - 0,670	28	7,175 - 7,475
14	0,633 - 0,670	29	8,400 - 8,700
15	0,634 - 0,670		

Por fim, vale ressaltar que as análises tanto do sensor MODIS como do OLI foram restringidas apenas às bandas da faixa óptica do espectro que corresponde aos comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo devido a reflectância da água na faixa do infravermelho médio ser baixa e, portanto a relação sinal ruído não ser boa.

3. Resultados e Discussão

A reflectância do corpo d'água no estado líquido pode variar entre 1 a 10%, ressaltando que pode haver exceções de acordo com a concentração dos componentes opticamente ativos no corpo d'água. Dependendo de sua composição, o valor da reflectância pode ser maior, como por exemplo, em águas com muito sedimento em suspensão e menor em águas com muita matéria orgânica dissolvida.

Em geral, corpos d'água sem material particulado ou matéria orgânica absorve praticamente todo o fluxo de radiação solar na faixa acima de 740nm. Para água pura, a reflectância é maior na faixa do violeta e do azul. Na água rica em fitoplâncton, têm-se uma forte absorção em 438 nm e 676 nm, e picos de reflectância nos comprimentos de onda em torno de 550nm e 690nm a 700 nm (Novo, 2000; Jensen, 2009). A Figura 3 apresenta as curvas do Fator de Reflectância, das médias das medidas do lago do CTA, realizada às 14h27min e às 14h48min.

Analisando a Figura 3, verifica-se que o lago possui uma menor fator de reflectância nos intervalos de onda de 400 a 500 nm com pico de reflectância no verde, decaindo até 675nm, com pequena inflexão próxima a 640 nm. Esse comportamento é semelhante ao descrito por Barbosa (2005) para águas ricas em fitoplâncton. Abaixo reflectância no azul é devido à absorção da radiação eletromagnética nestes comprimentos de ondas a inflexão em 640 nm é devido ao retroespalhamento causado por pigmentos acessórios. Além disso, o mínimo próximo a 670nm está associado ao ponto de máxima absorção da clorofila a em 676 nm (Novo, 2010). Em 710nm há um elevado aumento da reflectância que pode ser explicado pela fluorescência de pigmentos de fitoplâncton (Carder et al., 1989), ou pelo espalhamento anômalo causado pela absorção mínima em 675nm.

Além disso, pode-se inferir a presença de matéria orgânica na água, representado por um aumento no fator de reflectância em 810nm, onde na água pura a absorção seria muito alta e,

portanto, a sua reflectância muito baixa. O aumento de reflectância em 700 nm pode estar ligado aos colóides presentes, uma vez que estes se comportam como partículas no espalhamento da REM (Mobley, 1993).

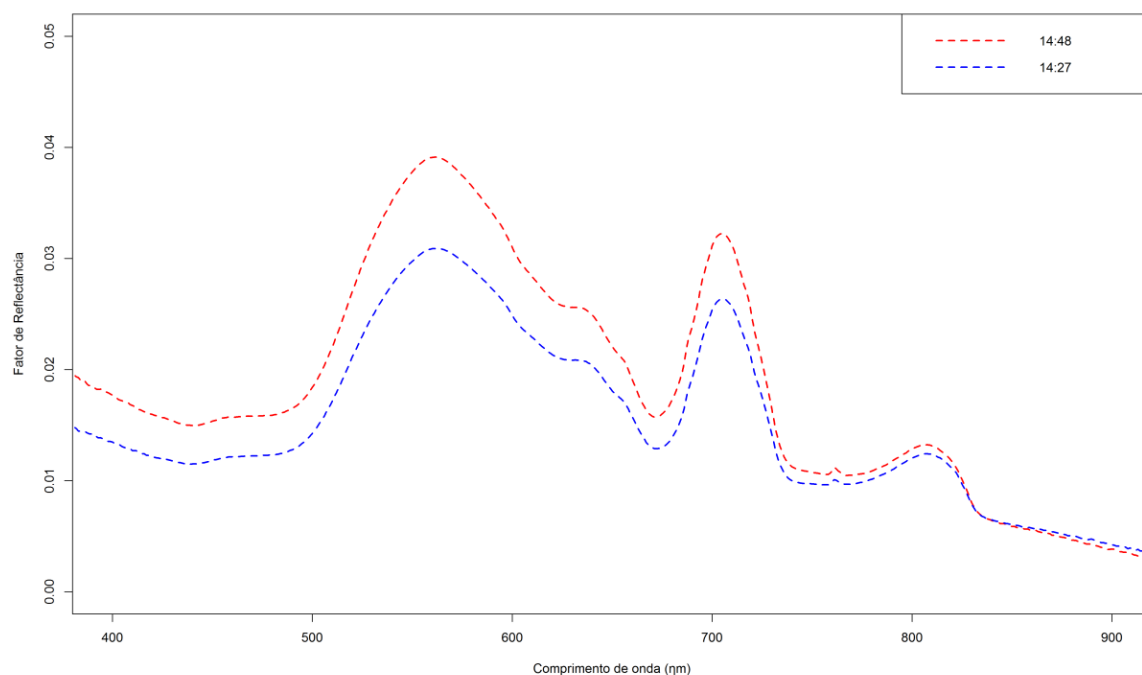
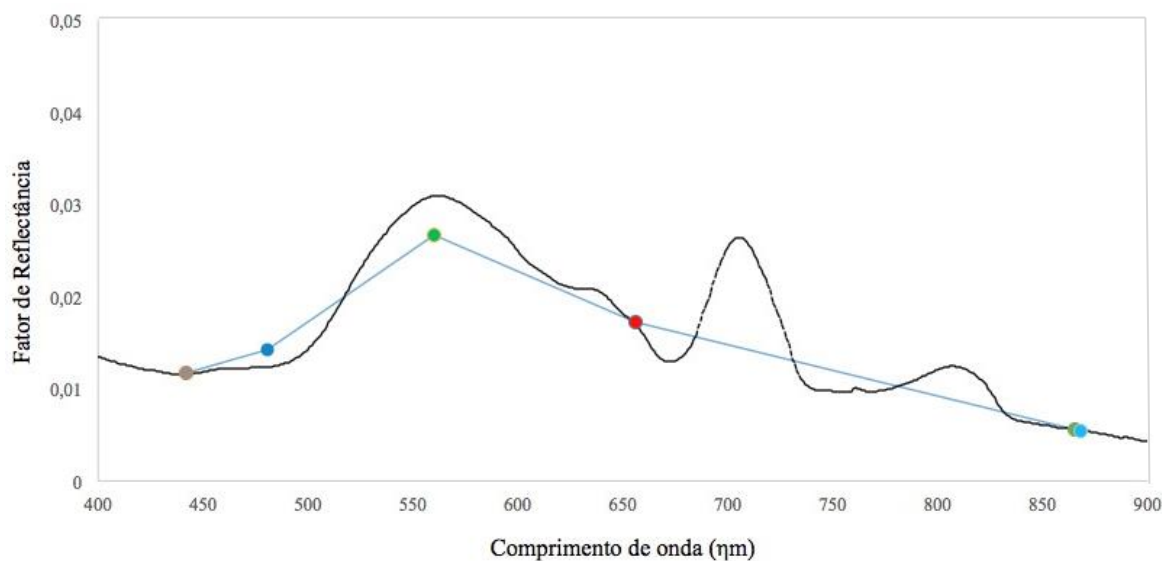


Figura 3. Fator de reflectância espectral da água do lago do CTA coletado em dois horários.

A diferença de intensidade do fator de reflectância para as medidas realizadas às 14h27min e às 14h48min (Figura 3) pode ter ocorrido pelo fato do corpo d'água estar em movimento, bem como também devido à diferença no ângulo de iluminação solar que fez com que na primeira medida, com o ângulo menor, a irradiância fosse maior e, portanto, a radiação refletida pelo alvo que foi captada pelo sensor fosse maior.



— OLI ● Banda CoastalAerosol ● Banda 1 ● Banda 2 ● Banda 3 ● Banda 4 ● Banda 5 - - - Radiômetro

Figura 4. Fator de reflectância espectral da água do lago do CTA obtido com espectrorradiômetro (*FieldSpec 4*) e a simulação da reflectância que seria obtida através do sensor OLI.

A partir dessas informações e dos dados de campo, as reflectâncias espectrais foram estimadas para as bandas do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8 e para as bandas do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua.

Com as estimativas da reflectância in-band equivalente ao sensor OLI, construiu-se uma curva que seria, teoricamente, por este sensor com o objetivo de perceber se através desta seria possível realizar análises de clorofila a presente no corpo de água estudado. A Figura 4 mostra a reflectância espectral da água do lago calculada por meio dos dados obtidos em campo em um horário (14h27min) e a equivalente aos dados do sensor OLI.

Ao realizar a comparação entre as duas curvas, àquela obtida pelos dados do sensor OLI não deveria ser interligada, pois são estimativas muito esparsas espectralmente, além disso, ele não consegue identificar o pico do fator de reflectância por volta de 710nm e 810nm. Dessa forma, observa-se que este sensor não contempla adequadamente (em intensidade) a banda de máxima absorção e descaracteriza a banda de mínima absorção da clorofila, não a identificando.

Entretanto, o OLI capta a radiância em faixas de comprimento de onda correspondente a cada banda apresentada na tabela 1, e os valores encontrados nas bandas que contemplam esses máximos e mínimos, não possuem a mesma intensidade dos respectivos valores coletados em campo. O ponto de máxima reflectância em 550nm foi estimado abaixo daquele em campo e o ponto de mínima reflectância (máxima absorção) em 676nm não foi registrado.

Assim como para o sensor OLI, calculou-se a curva espectral da água do lago que seria, de modo teórico, obtido com o sensor MODIS (Figura 5). O MODIS apresenta maior número de bandas espectrais e mais estreitas, sendo capaz de apresentar um maior detalhamento da curva espectral entre os menores comprimentos de onda, principalmente entre 370nm e 650nm, se comparado ao OLI. Na faixa do visível, os dados estimados para o sensor conseguiram estimar bem os valores de máxima reflectância no verde e mínima reflectância no azul, definindo bem os valores de reflectância máximo e mínimo da água.

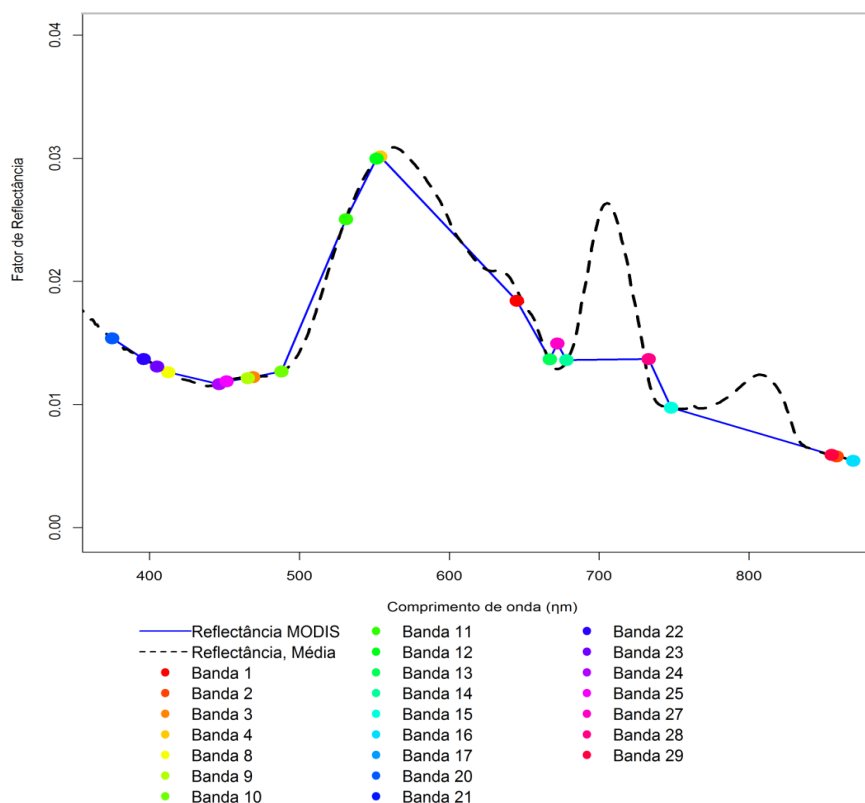


Figura 5. Fator de reflectância espectral da água do lago do CTA obtido com espectrorradiômetro (*FieldSpec 4*) e com sensor MODIS.

Apesar do MODIS fornecer dados com maior resolução espectral que o OLI, nota-se que para os comprimentos de onda de 710nm a 810nm, que apresentam maior reflectância devido à presença de material particulado em suspensão (sedimentos, células de microalgas), em ambos, estes não seriam identificados. Isto ocorre devido à ausência de bandas no MODIS que atuam neste intervalo de comprimentos de onda.

4. Considerações Finais

Primeiramente vale destacar que apesar das duas medições terem sido relativamente próximas, houve diferenças na intensidade do espectro do fator de reflectância (FR) gerado para a superfície do lago estudado nos dois momentos. Isto pode ser atribuído a dinâmica do corpo d'água e possível diferença nas condições de iluminação e observação do alvo. O mesmo pode ocorrer com a utilização de sensores orbitais, em que os valores absolutos não são necessariamente iguais aos obtidos pelos métodos empíricos, mas apresentam o mesmo padrão da curva teórica. No caso dos sensores orbitais, uma possível alternativa para minimização destas diferenças seria a realização de correções atmosféricas.

Em relação ao comportamento espectral da superfície da água do lago, a maior absorção, devido à alta concentração de fitoplâncton, ocorreu nos intervalos de 400 a 500nm, resultando em menor FR para esta faixa espectral. O lago apresentou um maior FR na região do verde associado à presença de fitoplâncton, que lhe confere a cor verde oliva aparente e possui maior absorção no azul e vermelho. Além disso, o pico de FR em 810nm está intrinsecamente relacionado aos sedimentos em suspensão presentes na água.

Para ser possível caracterizar espectralmente o alvo em plataformas orbitais, é aconselhável a utilização de um sensor hiperespectral, como o utilizado no experimento. Percebe-se que ambos os sensores orbitais analisados neste trabalho não caracterizam algumas propriedades da água, como a presença de material particulado em suspensão. Contudo, medições em campo não são economicamente viáveis para estudos que envolvam largas escalas espaciais e temporais. Esta impossibilidade se dá devido à natureza pontual de medição do sensor portátil, ao contrário do que se espera para os sensores orbitais. Desta forma, sensores portáteis se mostram mais recomendados para obtenção de curvas de referência que possam ser extrapoladas para sensores a nível orbital, em pesquisas de grandes áreas.

Em comparação ao sensor OLI, o MODIS possui medidas que chegam mais perto das esperadas, conseguindo captar as principais feições da curva espectral do lago medida em campo. Apesar disso, sua resolução espacial é inapropriada para a detecção e monitoramento de águas superficiais de pequeno porte, uma vez que haveria muita interferência de alvos vizinhos. Já, o sensor OLI, que apesar de não detalhar tão apropriadamente o espectro de reflectância do alvo estudado, se mostra mais apto para inferências de algumas características de corpos d'águas interiores de menor porte.

Como sugestão para trabalhos futuros na área de águas interiores, pode-se investir em estudos utilizando diferentes técnicas de processamento digital de imagens como fusões para que sensores com maior resolução espectral como MODIS, possam alcançar uma resolução espacial aceitável para corpos d'água de menor tamanho.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao CNPq e CAPES pela concessão de bolsas de mestrado.

Referências Bibliográficas

Barbosa, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/ Rio Amazonas. 2005-12-09. 286p. (INPE-14641-TDI/1193). Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Carder, K. L.; Steward, R. G.; Harvey, G. R. Marine humic and fulvic acids: Their effects on remote sensing of ocean chlorophyll. **Limnology. Oceanography**, v.34, n.2, p 68-81, 1989.

Farooq, S. do departamento de geologia da AligarhMuslimUniversity. Disponível em: < <http://www.geol-amu.org/notes/m1r-1-8.htm>>. Acesso em 16 de novembro de 2016.

Ferreira, R. M. P. Caracterização da ótica e do carbono orgânico dissolvido no reservatório de Três Marias/MG. 2014. 126 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/03.07.19.20-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3FSFSNP>>. Acesso em: 19 out. 2016.

Kreider, J. F.; Kreith, F. **Solar energy handbook**. New York: McGrawHill Book Company, 1981.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p.

Martinazzo, C. A. **Modelo de estimativa de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos**. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PROMEC/UFRGS. Porto Alegre RS, 2004.

Milton, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, 8(12):1807-1827, 1987.

Mobley, C. D. **Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters**. Academic Press, San Diego, p. 592, 1994.

Novo, E. M. L. M. Comportamento espectral da água. In: MENEZES, Paulo Roberto. (Ed.). **Sensoriamento Remoto: refletância dos alvos naturais**. [s.n.] 2000. p. 203 a 222.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

Steffen, C. A. **Radiometria óptica espectral**. Tutorial. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 1996.

Rudorff, C. M.; Novo, E. M. L. M.; Galvão, L. S.; Filho, W. P. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n.2, p. 279-290, 2007.