

## **Efeito de diferentes modelos de correção atmosférica na reflectância da água obtida pelo sensor Operational Land Imager (OLI) para a recuperação de sólidos suspensos totais**

William Gaida<sup>1</sup>  
Joceli Augusto Gross<sup>1</sup>  
Gustavo Rodrigues Toniolo<sup>2</sup>  
Felipe Correa dos Santos<sup>1</sup>  
Douglas Stefanello Facco<sup>2</sup>  
Waterloo Pereira Filho<sup>1</sup>

1Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Av. Roraima, 1000 – Campus Sede  
97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil  
{ufsm.william, joceliaugusto, felipecorrea.geo, waterloopf}@gmail.com

2Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale  
91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil  
{gustavotoniolo1, douglas.s.facco}@gmail.com

**Resumo.** A crescente aplicação de dados de sensores orbitais em estudos de qualidade de ambientes aquáticos, tem consolidado o uso de imagens de satélite como ferramenta de grande potencial para o monitoramento e manejo de recursos hídricos. No entanto, os efeitos atmosféricos propagados aos sensores orbitais, constituem-se como uma fonte de erros, limitando o potencial de aplicação destes dados na recuperação de informações. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de medidas de reflectância obtidas por meio de três modelos de correção atmosférica, na estimativa de concentrações de sólidos suspensos totais. A metodologia consistiu em uma abordagem comparativa entre medidas de reflectância do sensor OLI, corrigidas por três modelos de correção atmosférica e medidas de reflectância coletadas in situ. Também foi avaliado o potencial de predição das medidas de reflectância obtidas em modelos de regressão para a estimativa de concentrações de sólidos suspensos totais. Os modelos de correção atmosférica geraram valores de reflectância significativamente proporcionais, o que influenciou para coeficientes de correlação similares entre os mesmos e a reflectância de referência, e com os sólidos suspensos totais, porém em relação às magnitudes dos valores de reflectância gerados pelos modelos ocorreram variações.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, Landsat-8, efeitos atmosféricos, áreas úmidas, qualidade da água.

**Abstract.** The growing application of orbital sensors data in studies of quality in water environments has consolidated the use of satellite images as a great potential tool for the monitoring and management of water resources. However, the atmospheric effects propagated to orbital sensors constitute themselves as sources of errors and limit the application potential of data in the information recovery. Therefore, the objective of this study was to evaluate the performance of the reflectance measurements obtained by three models of atmospheric correction in the estimate of concentration of total suspended solids. The methodology consisted in a comparative approach between OLI sensor reflectance measurements, corrected by three atmospheric correction models and in situ reflectance measurements. The potential for prediction of the reflectance measurements obtained in regression models for the estimate of concentration of total suspended solids was also evaluated. The models of atmospheric correction created reflectance values significantly proportional, which influenced to coefficient of similar correlation between them and the reflectance of reference and with the total suspended solids, however, in relation to the magnitude of the reflectance values created by the models, variations occurred.

**Keywords:** remote sensing, Landsat-8, atmospheric effects, wetlands, water quality.

## 1. Introdução

O sensoriamento remoto é a principal fonte de informação espacial sobre a cobertura e a constituição da superfície terrestre (Schmidt; Skidmore, 2003). Nas últimas décadas, o uso desta geotecnologia consolidou-se como uma alternativa eficaz aos métodos tradicionais de monitoramento de ambientes aquáticos e extensas áreas úmidas (Matthews, 2011). As vantagens do uso de imagens adquiridas por sensoriamento remoto estão na capacidade de cobertura sinótica de grandes áreas em intervalos regulares (Navalgund et al., 2007).

Neste aspecto, as imagens da série Landsat têm sido extensamente utilizadas para estudos com as mais diversas abordagens sobre mapeamento e monitoramento de ambientes aquáticos (Guo et al., 2017). Características como resolução espacial e radiométrica adequadas permitem a aplicação de imagens de sensores como o *Operational Land Imager* (OLI), abordo do satélite Landsat-8, no monitoramento de ambientes aquáticos.

No entanto, os efeitos atmosféricos acoplados a resposta espectral detectada por sensores remotos, traduzem-se como um dos tipos de erros mais significativos ao aspecto de qualidade dos dados de sensoriamento remoto. Sobre ambientes aquáticos e áreas úmidas, estes efeitos são mais agravados devido à baixa refletância característica da água, o que faz com que a maior parte da radiância detectada pelos sensores corresponda a efeitos de espalhamento atmosférico (Hadjimitsis et al., 2004; Palmer et al., 2015). Neste aspecto, Horning et al. (2010) definem que o entendimento das limitações técnicas e práticas dos dados de sensoriamento remoto é tão importante quanto a compreensão dos resultados obtidos com o uso destes.

A correção dos efeitos atmosféricos em imagens de sensores orbitais consiste em uma etapa fundamental para o desenvolvimento de análises quantitativas precisas a partir de produtos de refletância de superfície (Vermote; Kotchenova, 2008). A correção atmosférica consiste na remoção dos efeitos de atenuação da radiação eletromagnética, causados pelos constituintes atmosféricos ativos, como a dispersão molecular por aerossol e a absorção causada por vapor de água, ozônio, oxigênio e dióxido de carbono (Gao et al., 2009).

Nesta perspectiva, diversos estudos, como o realizado por Martins et al. (2017), têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar o desempenho de modelos para a correção dos efeitos atmosféricos aplicados a imagens de sensores orbitais. No entanto, estes estudos não apresentaram resultados definitivos sobre qual modelo detém o melhor desempenho para estudos de águas interiores. A correção efetiva dos efeitos atmosféricos sobre áreas úmidas mostra-se uma tarefa desafiadora devido a fatores como a continentalidade atmosférica e as particularidades características de cada ambiente aquático (Palmer et al., 2015). Desta forma, a necessidade da realização de avaliações prévias deve ser considerada, principalmente, em estudos sobre áreas com resposta espectral complexa como o Pantanal.

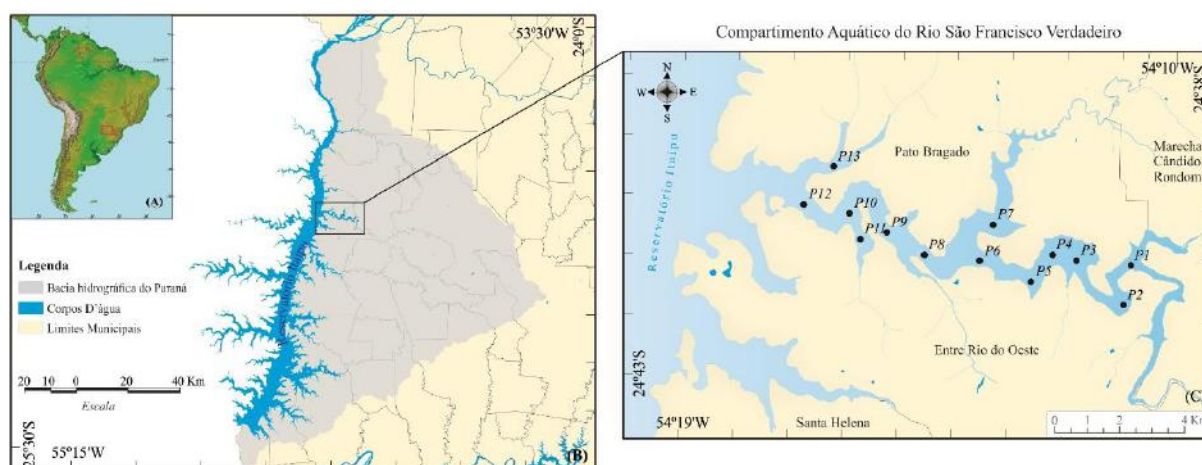
## 2. Objetivo

O presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de medidas de reflectância de superfície do sensor OLI corrigidas a partir de três modelos de correção atmosférica, aplicadas na estimativa de concentrações de sólidos suspensos totais.

## 3. Materiais e métodos

### 3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no compartimento aquático do reservatório Itaipu referente a entrada do rio São Francisco Verdadeiro (SFV) no estado do Paraná (Figura 1). O compartimento localiza-se a margem esquerda do reservatório, mantendo limites a norte e a oeste com os municípios de Entre Rios do Oeste e Pato Bragado, respectivamente. A área compreendida pela lâmina de água do SFV é de 21,5 km<sup>2</sup>, largura mínima de 0,2 km, largura máxima de 1 km e extensão longitudinal de 23 km, sendo sua nascente localizada na área urbana do município de Cascavel, no Estado do Paraná.



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo, (A) na América do Sul, (B) no reservatório de Itaipu e (C) localização das estações amostrais utilizadas para a aquisição dos dados de campo.

### 3.2 Determinação das concentrações de sólidos suspensos totais

As médias de concentração de sólidos suspensos totais (SST) foram obtidas a partir da coleta de amostras de água na área de estudo, realizada por meio de campanhas de campo, e posterior determinação das medidas em laboratório. As coletas de água foram realizadas em treze estações amostrais distribuídas de forma a contemplar as variações espectrais da resposta da água na área de estudo, sendo executadas nas datas de 09 de agosto de 2015, 08 de junho de 2016 e 11 de junho de 2017. As datas das campanhas de campo foram definidas para coincidir com os períodos de passagem do satélite Landsat-8 sobre a área de estudo.

A determinação das concentrações dos sólidos totais em suspensão foi realizada conforme metodologia adaptada de APHA (2005), por meio do peso de material retido após processo de filtragem de 500 mililitros de água de cada amostra. Neste procedimento foram utilizados filtros constituídos por membrana de éster de celulose, com porosidade de 0,45 µm (Merck Millipore, 2018). Durante este processo os filtros foram submetidos a secagem durante 24 horas em estufa a 60°C, antes e após o procedimento de filtragem, para o estabelecimento dos pesos inicial e final respectivamente. A pesagem dos filtros foi realizada com uso de balança analítica.

O valor do total de sólidos em suspensão foi obtido por meio dos valores dos pesos inicial e final com o uso da **Equação 1**.

$$\text{SST (mg. L}^{-1}\text{)} = \frac{\left(\left(P_f - P_i\right) * 1000\right) * 1000}{v} \quad (1)$$

Onde: “Pf” corresponde ao peso do resíduo drenado mais o peso do filtro; Pi é o peso inicial do filtro seco; “v” é o volume filtrado em mililitros.

### 3.3 Aquisição de medidas de reflectância de superfície

A resposta espectral da água dos locais onde foram coletadas as amostras de água para a determinação das medidas de SST foi adquirida por meio de espectrorradiometria de campo. Este procedimento foi realizado com uso de um espectrorradiômetro FieldSpec 3, com faixa de operação entre 350 a 2500 nanômetros. O aparelho foi calibrado antes de cada aquisição por meio de uma placa de referência *Spectralon*, sendo posicionado a um ângulo zenital de 45° e azimutal de 90° em relação a posição solar, a uma distância de 30 centímetros sobre a superfície da água, de modo a minimizar o efeito de reflexão especular.

As medidas de reflectância obtidas foram utilizadas para a simulação da resposta do sensor OLI, sendo esta realizada a partir das funções de resposta de suas bandas. Devido à proximidade com a superfície da água no momento da aquisição, estas medidas podem ser consideradas livres da influencia de efeitos atmosféricos, sendo definidas como padrão de referência para os valores de reflectância de superfície.

### 3.4 Aquisição e processamento de imagens

Dois conjuntos de imagens do sensor OLI foram adquiridos para as três datas de realização das campanhas de campo, nos níveis de processamento L1TP (com processamentos de calibração radiométrica, correção geométrica e valores de pixel digitais) e L2 (com correção dos efeitos atmosféricos e valores de pixel em reflectância de superfície).

O primeiro conjunto foi adquirido a partir do repositório de dados *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS). O segundo conjunto de imagens foi adquirido por meio do serviço de distribuição sob demanda de imagens OLI com correção atmosférica processada pelo código de transferência radiativa *Landsat Surface Reflectance Code* – LaSRC (Vermote et al., 2016), disponível a partir do repositório *EROS Science Processing Architecture* (ESPA).

O processamento de correção dos efeitos atmosféricos das três imagens em nível de processamento L1TP foi realizado com código de transferência radiativa *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* – FLAASH e o modelo *Quick Atmospheric Correction* – QUAC (Bernstein et al., 2012). O primeiro modelo é baseado no código de transferência radiativa *Moderate Resolution Atmospheric Transmission* MODTRAN-4 (Matthew et al., 2000), enquanto que o QUAC se baseia em um modelo semi-empírico que utiliza os espectros dos pixels observados na própria cena para a determinação dos parâmetros de correção atmosférica, sem a necessidade de informações auxiliares.

A correção a partir do código FLAASH fez-se necessária a aquisição de parâmetros atmosféricos. Estes parâmetros foram obtidos a partir do repositório de dados atmosféricos Giovanni da NASA. Foram adquiridas medidas de profundidade óptica de aerossol no comprimento de onda de 550 nanômetros, coeficiente de Angstrom e espessura de coluna de vapor de água. Estas medidas são disponibilizadas em conjunto no produto MOD08 – *Level 3 Gridded Atmospheric Product*, derivado de dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), abordo do satélite *Terra*.

As medidas de profundidade óptica de aerossol e coeficiente de Angstrom foram utilizadas no cálculo do coeficiente de turbidez de Angstrom, obtido por meio da **Equação 2** (Ponzoni et al., 2007):

$$\beta = \tau_{a(\lambda)}\lambda^\alpha \quad (2)$$

Onde:  $\beta$  é o coeficiente de turbidez de Angstrom,  $\tau_{a(\lambda)}$  é a profundidade óptica de aerossol no comprimento de onda de 550 nanômetros,  $\lambda$  é o comprimento de onda em micrômetros e  $\alpha$  é a medida do expoente de Angstrom.

O valor do coeficiente de turbidez de Angstrom obtido foi utilizado para o cálculo da visibilidade inicial média, utilizada na recuperação das medidas de aerossol e correção dos efeitos de espalhamento atmosférico. A visibilidade inicial para a área da imagem foi calculada por meio da **Equação 3** (Gomes et al., 2013):

$$V = (-15) \frac{\log\left(\frac{\beta}{0,613}\right)^2}{2} \quad (3)$$

A partir do valor médio de visibilidade inicial calculado para cada imagem e as medidas de profundidade óptica de aerossol foi calculado a altura de escala do aerossol por meio da **Equação 4** (Wong et al., 2009):

$$Z_a = \frac{\tau_{a(\lambda)}}{\frac{3,912}{V} - \beta} \quad (4)$$

Este parâmetro é utilizado pelo FLAASH para a correção dos efeitos de adjacência espectral a partir do cálculo da reflectância espalhada da região adjacente.

Os parâmetros utilizados para a correção atmosférica no modelo FLAASH são representados na **Tabela 1**. Além destes parâmetros também foram definidos o modelo de aerossol como rural, e modelo atmosférico MODTRAN como de média latitude de verão (*Mid-Latitude Summer* – MLS), calibrado a partir do valor médio de espessura de coluna de vapor de água para cada uma das três imagens avaliadas.

**Tabela 1.** Parâmetros utilizados na correção atmosférica das imagens por meio do código FLAASH.

Data	h (km)*	$\tau_a(0,55 \mu\text{m})$	$\lambda (\mu\text{m})$	$\alpha$	$\beta$	V (km)	$Z_a$ (km)	CO <sub>2</sub> (ppm)**	Vapor de água (g/cm <sup>2</sup> )
09/08/2015	0,312	0,099	0,550	1,440	0,042	40,257	0,977	390	0,058
08/06/2016	0,312	0,041	0,550	1,500	0,017	53,955	0,551	390	0,077
11/06/2017	0,312	0,017	0,550	1,500	0,007	67,586	0,280	390	0,867

\*h representa a altitude média do local das imagens obtido com uso do modelo digital de elevação GMTED2010.

\*\*Foram consideradas as medidas de dióxido de carbono atmosférico padrão do modelo MODTRAN.

A aplicação da correção atmosférica pelo modelo QUAC foi realizada no ambiente do software ENVI versão 5.3 (Harris, 2017), sendo selecionados os parâmetros para o sensor Landsat-8/OLI. Como este algoritmo procede a correção dos efeitos atmosféricos a partir da recuperação de informações da própria imagem, não se fez necessária a aquisição de parâmetros atmosféricos provenientes de fontes externas.

### 3.5 Avaliação e tratamento estatístico dos dados

As bandas OLI 2 (0,483 nm), OLI 3 (0,563 nm), OLI 4 (0,655 nm) e OLI 5 (0,865 nm), correspondentes as faixas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente,

foram utilizadas para a avaliação de proximidade com as medidas de reflectância de referência. Estas bandas foram escolhidas em função da resposta espectral de águas caso II e seus componentes opticamente ativos ocorrerem nestes comprimentos de onda. A partir destas bandas foram adquiridas as medidas de reflectância de superfície dos pixels correspondentes as trezes estações amostrais, em cada imagem.

O desempenho da aplicação dos modelos de correção atmosférica foi avaliado por meio de regressão estatística entre as medidas de reflectância obtidas pela aplicação dos modelos LaSRC, FLAASH e QUAC e as medidas de reflectância de referência obtidas a partir de simulação, sendo avaliados o coeficiente de determinação e o erro médio quadrático das amostras.

#### 4. Resultados e discussão

As relações entre as medidas de reflectância de referência e de superfície, obtidas com a aplicação dos modelos de correção atmosférica, verificadas a partir de análise de regressão linear, foram similares em todas as datas de campanhas de campo, o que se deve a proporcionalidade entre os dados de reflectância gerados por estes modelos. Para a data de 09 de agosto de 2015 apenas as estações amostrais P01, P02, P03, P04, P05, P06 e P07 foram analisadas, sendo obtidos coeficientes de determinação com valores muito baixos e similares, independentemente do modelo aplicado, como mostrado na **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Coeficientes de determinação entre as medidas de reflectância de referência e as obtidas com a aplicação dos modelos de correção atmosférica, por data de campanha de campo.

Campanhas de campo	Bandas do sensor OLI	Modelos de correção atmosférica		
		QUAC	FLAASH	LaSRC
09/08/2015	OLI 2	0,0021	0,0293	0,0361
	OLI 3	0,3084	0,0052	0,0065
	OLI 4	0,8926	0,0187	0,0151
	OLI 5	0,8571	0,1052	0,0269
08/06/2016	OLI 2	0,8912	0,8785	0,8912
	OLI 3	0,9301	0,9251	0,9307
	OLI 4	0,9612	0,9604	0,9612
	OLI 5	0,4761	0,5454	0,5074
11/06/2017	OLI 2	0,0021	0,0020	0,0016
	OLI 3	0,3084	0,2993	0,2975
	OLI 4	0,8926	0,8951	0,8909
	OLI 5	0,8571	0,8392	0,8524

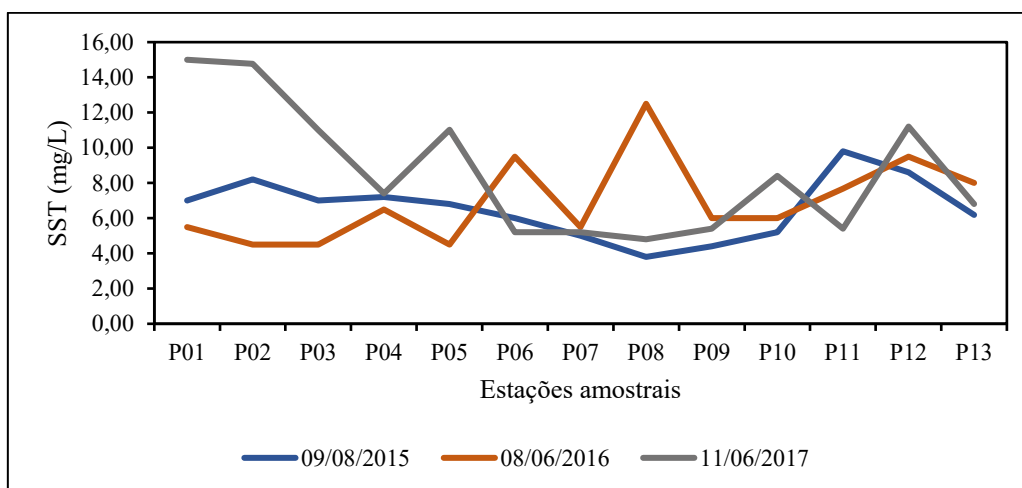
As relações entre as medidas de reflectância e de referência para a campanha de 08 de junho de 2016 mostraram um maior ajuste para as bandas OLI 2, OLI 3 e OLI 4 em todos os modelos de correção atmosférica avaliados. A banda OLI 5 apresentou os menores coeficientes de determinação verificados para esta data, porém ainda significativos quando comparados aos dados da data analisada anteriormente.

Para os dados de 11 de junho de 2017 foram verificados valores de coeficientes de determinação muito próximos, o que mostrou um desempenho similar entre os modelos. No entanto, apenas para as bandas OLI 4 e OLI 5 foram verificados coeficientes de determinação significativos, enquanto que as bandas OLI 2 e OLI 3 apresentaram os menores valores de coeficiente de correlação.

A partir das análises dos dados destaca-se a similaridade dos coeficientes de determinação nos dados verificados em cada campanha de campo, indicando desempenhos similares entre os modelos de correção atmosférica em relação aos dados de reflectância de referência. A análise das medias de reflectância mostrou que outros fatores podem estar influenciando as respostas das relações entre as medidas de reflectância avaliadas, como a ocorrência de efeitos de

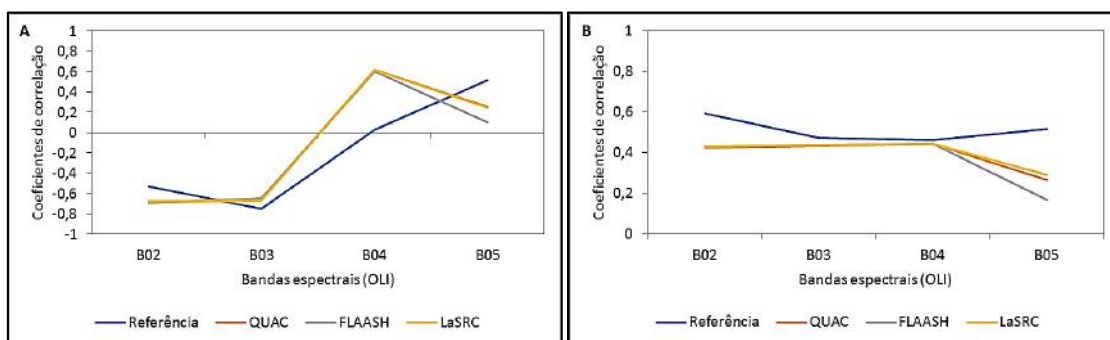
adjacência espectral, diferenças de sensibilidade entre os sensores na detecção da resposta espectral da água.

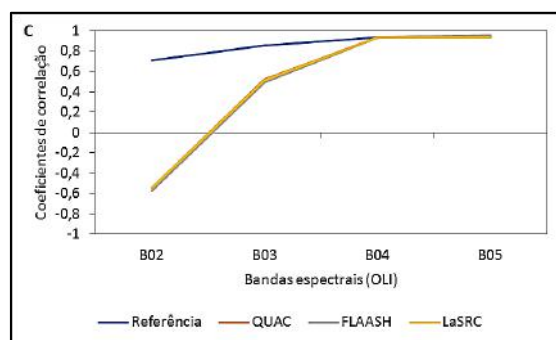
De maneira geral, as medidas das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) não apresentaram grandes variações, como mostrado na **Figura 2**. A maioria das concentrações verificadas no conjunto de dados foi inferior a 10 mg/L, sendo a maior concentração observada na campanha de 11 de junho de 2017, de 15 mg/L e a menor, na campanha de correspondendo a 3,80 mg/L.



**Figura 2.** Concentrações de SST por data de campanha de campo e estações amostrais.

Na **Figura 3** estão expostas as correlações entre as reflectâncias analisadas e os dados referentes às concentrações de SST. Em 09 de agosto de 2015 o melhor desempenho foi verificado na banda OLI 3, em 08 de junho de 2016 verificou-se o maior coeficiente de correlação com os dados de reflectância da banda OLI 2 e, em 11 de junho de 2017 as reflectâncias das bandas OLI 4 e OLI 5 se relacionaram de forma significativa, sendo nesta data e bandas espectrais os maiores coeficientes de correlação verificados para as concentrações de SST.





**Figura 3.** Correlações entre as medidas de reflectância de referência e obtidas pelos modelos de correção atmosférica QUAC, FLAASH e LaSRC com os dados de concentração de SST coletados no compartimento do Rio São Francisco Verdadeiro em (A) 09 de agosto de 2015, (B) 08 de junho de 2016 e (C) 11 de junho de 2017.

As relações entre as medidas de reflectância gerada pelos modelos de correção atmosférica e as concentrações de SST foram similares em todas as datas avaliadas fazendo com que os modelos não apresentem grandes diferenças em seus desempenhos, em relação as concentrações de SST. As maiores variações foram verificadas na banda OLI 5 para os dados das duas primeiras campanhas de campo. Em 11/06/2017 não ocorreram variações significativas dos coeficientes de correlação calculados entre as referidas variáveis, sendo o desempenho dos modelos foi significativamente similar. Por outro lado, na banda OLI 2, os modelos geraram valores de reflectância que condicionaram relações negativas entre as variáveis, ressaltando-se que as relações entre os dados de reflectância de referência e SST foram positivas nesta banda espectral como mostrado na **Figura 3c**.

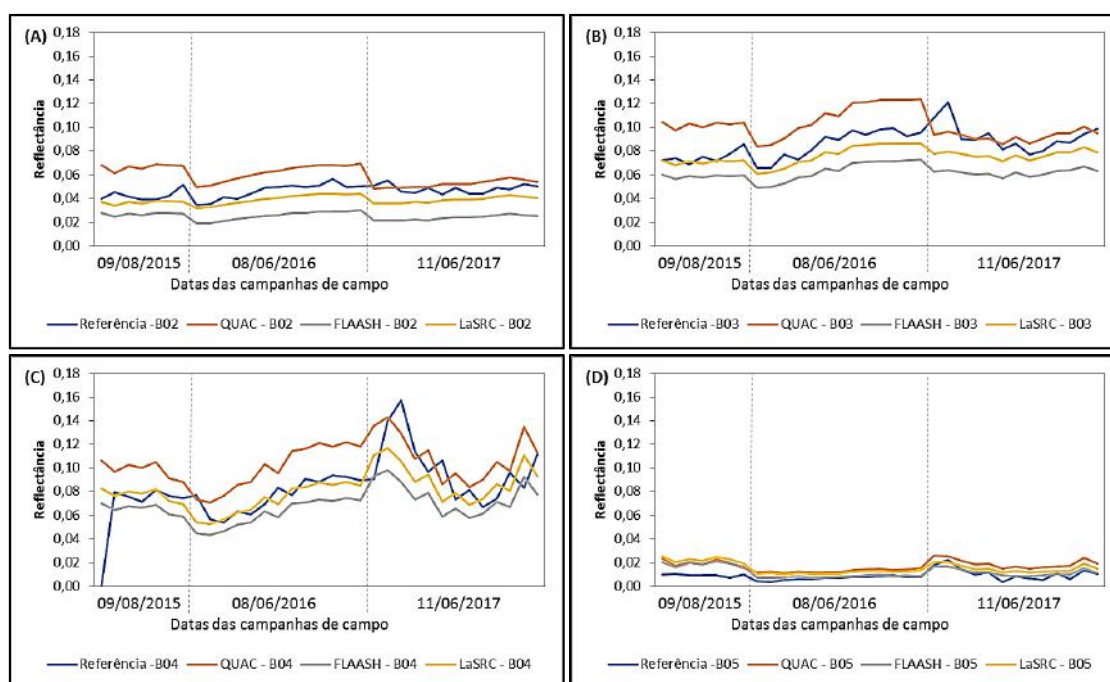
Entre as datas de campanhas de campo ocorreram diferenças entre os valores de reflectância gerados pelos modelos de correção atmosférica que provavelmente se devem as condições da água no decorrer da coleta dos dados pelo sensor OLI, ocorrendo também para os dados de reflectância de referência. Por outro lado, resalta-se que os modelos de correção atmosférica geraram valores de reflectância significativamente proporcionais, como pode ser verificado na **Tabela 3**, influenciando a ocorrência de coeficientes de correlação similares com os dados de SST (**Figura 3**).

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação ( $r$ ) e determinação ( $R^2$ ) entre os dados de reflectância gerados pelos modelos de correção atmosférica por data de campanha de campo.

Modelos – Bandas espectrais	09/08/2015		08/06/2016		11/06/2017	
	$r$	$R^2$	$r$	$R^2$	$r$	$R^2$
FLAASH – OLI 2 QUAC – OLI 2	0,9971	0,9942	0,9988	0,9975	0,9954	0,9909
FLAASH – OLI 3 QUAC – OLI 3	0,9963	0,9926	0,9996	0,9992	0,9963	0,9926
FLAASH – OLI 4 QUAC – OLI 4	0,9995	0,9989	0,9999	0,9997	0,9999	0,9998
FLAASH – OLI 5 QUAC – OLI 5	0,9500	0,9024	0,8555	0,7318	0,9873	0,9747
LaSRC – OLI 2 QUAC – OLI 2	0,9993	0,9985	0,9999	0,9998	0,9997	0,9995
LaSRC – OLI 3 QUAC – OLI 3	0,9999	0,9998	1,0000	1,0000	0,9997	0,9995
LaSRC – OLI 4 QUAC – OLI 4	1,0000	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
LaSRC – OLI 5 QUAC – OLI 5	0,9995	0,9989	0,9987	0,9975	0,9998	0,9997
FLAASH – OLI 2 LaSRC – OLI 2	0,9957	0,9914	0,9987	0,9974	0,9955	0,9910
FLAASH – OLI 3 LaSRC – OLI 3	0,9954	0,9909	0,9995	0,9990	0,9964	0,9929
FLAASH – OLI 4 LaSRC – OLI 4	0,9996	0,9991	0,9999	0,9997	0,9999	0,9998
FLAASH – OLI 5 LaSRC – OLI 5	0,9501	0,9028	0,8595	0,7388	0,9888	0,9778



Apesar dos dados de reflectância gerados pelos modelos de correção atmosférica manter significativa proporcionalidade entre os mesmos, as magnitudes dos valores de reflectância gerados foram diferentes, sendo aqueles gerados pelo modelo QUAC mais elevados na maioria dos casos (**Figura 4**). Esta foi a maior diferença verificada entre os dados de reflectância de superfície obtidos pela aplicação dos modelos de correção atmosférica. Os dos demais modelos de correção atmosférica geraram dados de reflectância em sua maioria inferiores ou muito próximos aos dados de reflectância de referência. As maiores oscilações dos dados de reflectância gerados pelos modelos foram verificadas na banda OLI 4, a qual é fortemente influenciada por sólidos suspensos totais.



**Figura 4.** Magnitude dos valores de reflectância de referência e gerada pelos modelos de correção atmosférica, por campanha de campo e bandas espectrais: (A) OLI 2; (B) OLI 3; (C) OLI 4; (D) OLI 5.

## 5. Conclusões

Os modelos de correção atmosférica geraram valores de reflectância significativamente proporcionais, o que influenciou na ocorrência de coeficientes de determinação e de correlação similares, em relação aos dados de reflectância de referência e as concentrações de sólidos suspensos totais, respectivamente. Os melhores ajustes entre os dados de reflectância e concentrações de sólidos suspensos totais ocorreram nas bandas OLI 4 e OLI 5.

Considerando todas as datas das campanhas de campo, as maiores variações nas correlações entre sólidos suspensos totais e as reflectâncias geradas pelos modelos de correção atmosférica ocorreram na banda OLI 5. O modelo de correção atmosférica QUAC gerou os valores de reflectância com maior magnitude em relação aos dados gerados pelos demais modelos e à reflectância de referência, sendo esta a maior distinção verificada entre os dados de reflectância gerados pelos modelos de correção atmosférica.

A partir dos resultados obtidos verificou-se que a banda OLI 4 foi a que apresentou a maior variabilidade nas medidas de reflectância a partir da aplicação dos diferentes modelos de correção atmosférica avaliados. Destaca-se que outros fatores influenciaram os dados das imagens do sensor OLI, dentre os quais a mistura espectral teve um impacto significativo,

devido à diferença de resolução espacial entre os dados das imagens OLI e os dados de reflectância adquiridos por meio de espectrorradiometria de campo.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem a equipe da Itaipu Binacional pelo desenvolvimento do Projeto “Utilização de sensores remotos para avaliar o índice de estado trófico da água, em uma área piloto na margem esquerda do reservatório de Itaipu” e pela aquisição e disponibilidade dos dados coletados em campo avaliados neste estudo.

## 7. Referências

- APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Springfield: Byrd Prepress, 2005.
- Bernstein, L. S.; Jin, X.; Gregor, B.; Adler-Golden, S. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. **Optical Engineering**, v. 51, n. 11, p. 111719-1 – 111719-11, 2012.
- Gao, B. C.; Montes, M. J.; Davis, C. O.; Goetz, A. F. H. Atmospheric correction algorithms for hyperspectral remote sensing data of land and ocean. **International Journal of Remote Sensing**, v. 113, p. 17 – 24, 2009.
- Gomes, D.; Vicente, L. E.; Silva, R. F. B.; Paula, S. C.; Maçorano, R. P.; Victoria, D. C.; Batistella, M. Uso de dados MODIS e AIRS para obtenção de parâmetros de correção atmosférica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013, p. 8019 – 8026.
- Guo, M.; Li, J.; Sheng, C.; Xu, J.; Wu, L. A review of wetland remote sensing. **Sensors**, v. 17, n. 4, 2017.
- Hadjimitsis, D. G.; Clayton, C. R. I.; Hope, V. S. An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 3651 – 3674, 2004.
- Harris. **ENVI version 5.3**. Melbourne: Harris Geospatial Solutions, 2017.
- Horning, N.; Robinson, J. A.; Sterling, E. J.; Turner, W.; Spector, S. **Remote sensing for ecology and conservation: a hand book of techniques**. New York: Oxford University Press, 2010, 467 p.
- Martins, V. S.; Barbosa, C. C. F.; Carvalho, L. A. S.; Jorge, D. S. F.; Lobo, F. L.; Novo, E. M. L. M. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 MSI images applied to amazon floodplain lakes. **Remote Sensing**, v. 9, n. 322, 2017.
- Matthew, M. W.; Adler-Golden, S. M.; Berk, A.; Richtsmeier, S. C.; Levine, L. S.; Bernstein, L. S.; Acharya, P. K.; Anderson, G. P.; Felde, G. W.; Hoke, M. P.; Ratkowski, A.; Burke, H. H.; Kaiser, R. D.; Miller, D. P. Status of atmospheric correction using a MODTRAN4-based algorithm. In: Shen, S. S.; Descour, M. R. **Algorithms for multispectral, hyperspectral and ultraspectral imagery VI**. Bellingham: SPIE Proceedings, v. 4049, p. 199 – 207, 2000.
- Matthews, M. W. A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 21, p. 6855 – 6899, 2011.
- Merk Millipore. **Filter discs and membranes**. Disponível em: <[http://www.merckmillipore.com/BR/pt/products/reagents-chemicals-labware/labfiltration/f\\_Cb.qB.5HwAAAFV24BvU3M.nav](http://www.merckmillipore.com/BR/pt/products/reagents-chemicals-labware/labfiltration/f_Cb.qB.5HwAAAFV24BvU3M.nav)>. Acesso em: 26 jun. 2018.
- Navalgund, R. R.; Jayaraman, V.; Roy, P. S. Remote sensing applications: an overview. **Current Science**, v. 93, p. 1747 – 1766, 2007.
- Palmer, S. C. J.; Kutser, T.; Hunter, P. D. Remote sensing of inland waters: challenges, process and future directions. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 1 – 8, 2015.
- Ponzoni, F. J.; Zullo Junior, J.; Lamparelli, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos, SP: Editora Parêntese, 2007, 80 p.
- Schmidt, K. S.; Skidmore, A. K. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, n. 1, p. 92 - 108, 2003.

Vermote, E. F.; Kotchenova, S. Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, 2008.

Vermote, E.; Justice, C.; Claverie, M.; Franch, B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat-8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 46 – 56, 2016.

Wong, M. S.; Nichol, J. E.; Lee, K. H. Modeling of aerosol vertical profiles using GIS and remote sensing. **Sensors**, v. 9, p. 4380 – 4389, 2009.