



**Análise comparativa de modelos de correção atmosférica para imagens do sensor
Operational Land Imager (OLI), landsat-8**
**Comparative analysis of atmospheric correction models for sensor images Operational Land
Imager (OLI), landsat-8**

Douglas Alberto de Oliveira SILVA^{1*}; Iug Lopes²; Telliane Santos Salgueiro SILVA³; Pedro Henrique Dias Batista⁴; José Diorgenes Alves Oliveira⁴; Cicero Gomes dos SANTOS⁵

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Agrícola. E-mail: douglasalbertosilva@hotmail.com.

² Professor EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. E-mail: iuglopes@hotmail.com.

³ Universidade Federal de Alagoas, Mestrado em Energia da Biomassa. E-mail: tellianesantos@gmail.com⁴
Universidade Federal Rural de Pernambuco Doutorado em Engenharia Agrícola. E-mail: josediorgenes@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Alagoas, Doutorado em Ciência do Solo. E-mail: cgomes@arapiraca.ufal.br

*E-mail do autor principal: douglasalbertosilva@hotmail.com.

Resumo - A correção atmosférica é uma técnica essencial para processamento de dados orbitais, pois minimiza a influência da atmosfera terrestre. Portanto, o trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa de três métodos de correção atmosférica aplicados em imagens do sensor OLI/Landsat 8. Usou-se dados de superfície e imagem do Landsat-8. As técnicas de correção atmosféricas FLAASH, QUAAC e DOS foram utilizadas. Escolheu-se quatro classes de comparação na imagem: área vegetada, água, solo exposto e asfalto. Nas quatro classes estudadas gerou-se polígonos na região da imagem, com 5 x 5 pixels totalizando 100 pixels. Foi gerado uma média de refletância dos polígonos para cada classe. Posteriormente foram gerados gráficos de refletância para cada uma destas classes. O modelo QUAC apresentou os melhores valores de R² (0,94; 0,96; 0,98 e 0,99) para área vegetada, água, solo exposto e asfalto nas bandas da faixa espectral visível e do infravermelho próximo. Conclui-se que o método de correção atmosférica mais eficiente foi o QUAC.

Palavras chave: DOS. FLAASH. QUAAC. Radiação eletromagnética. Sensoriamento. remoto.

Abstract - Atmospheric correction is an essential technique for processing orbital data, as it minimizes the influence of the Earth's atmosphere. Therefore, the objective of this work was to perform a comparative analysis of three atmospheric correction methods applied to OLI / Landsat 8 images. Landsat-8 surface and image data were used. The atmospheric correction techniques FLAASH, QUAAC, DOS were used. Four classes of comparison were selected: vegetated area, water, exposed soil and asphalt. In the four classes studied polygons were generated in the region of the image, with 5 x 5 pixels totaling 100 pixels. An average reflectance of the polygons was generated for each class. Subsequently, graphs of reflectance were generated for each of these classes. The QUAC model presented the best R² values (0.94, 0.96, 0.98 and 0.99) for vegetated area, water, exposed soil and asphalt in the bands of visible spectral range and near infrared. It is concluded that the most efficient method of atmospheric correction was QUAC.

Keywords: DOS. Electromagnetic Radiation. FLAASH. QUAAC. Remote Sensing.



Introdução

A radiância refletida pela superfície terrestre é influenciada pela atmosfera terrestre devido aos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética. Com o objetivo de minimizar os principais efeitos atmosféricos sobre a radiância de uma cena são realizados processos de correção atmosférica (HOFF et al., 2013, p. 100).

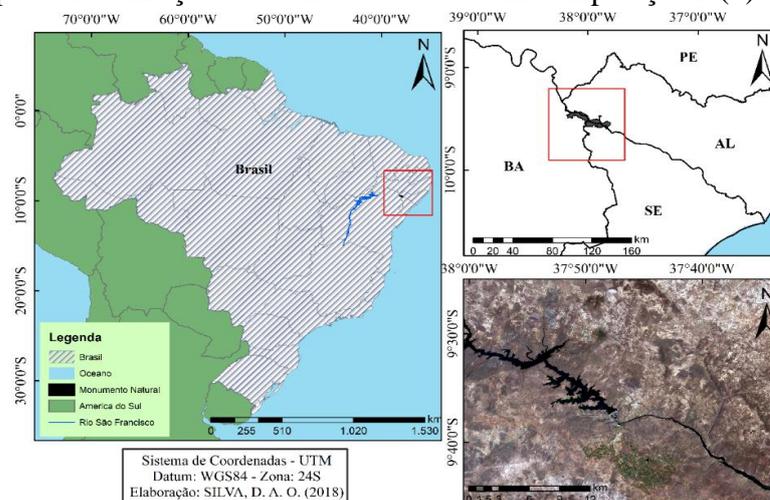
Os efeitos atmosféricos observados nas cenas orbitais multiespectrais correspondem a diminuição dos valores de números digitais registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies e mudanças no brilho da imagem (ENVI, 2009, p. 15). A eliminação desses efeitos da atmosfera permite a identificação de alvos com maior precisão influenciado nos produtos do processamento digital.

Existem inúmeras técnicas para a correção dos efeitos atmosféricos em imagens multiespectrais e hiperespectrais. Segundo ANDERSON et al. (1999, p. 180) os modelos FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) e QUAC (*QUick Atmospheric Correction*) são os mais eficientes. O modelo FLAASH utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN4 (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) que processa dados de sensores hiperespectrais e multiespectrais nas faixas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), visível e ultravioleta (UV), minimizando os efeitos do espalhamento e absorção atmosférica. Enquanto que o método QUAC efetua a correção atmosférica a partir de modelos empíricos utilizando somente as informações contidas na cena, não necessitando de informação auxiliar (ENVI, 2009, p. 5; BAPTISTA et al., 2016, p. 1772).

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo analisar comparativamente os métodos de correções atmosféricas por meio da refletância da superfície nos alvos de vegetação, água, solo exposto e asfalto em imagens do sensor OLI/Landsat 8.

Material e Métodos

A área de estudo abrange a área de conservação do Monumento Natural do Rio São Francisco e adjacências, localizada no retângulo envolvente: (08° 48' 50 " S, 40° 30' 23" W; 09° 05' 42" S, 40° 18' 32" W; 08° 41' 39"S, 40° 11' 41"W; 09° 14' 03", 40° 11' 42", com altitude média de 220m) (Figura 1), estando inserido na região semiárida do Nordeste brasileiro.

**Figura 1.** Mapa de localização das cenas estudadas em composição R(4)G(3)B(2).

A imagem utilizada foi a do sensor OLI (Operational Land Images) do satélite Landsat-8 adquirida no site <http://earthexplorer.usgs.gov/>, possui resolução espacial de 30 m (bandas 2 a 7) e resolução radiométrica de 16 bits. A cena do Landsat-8, que cobrem a área de estudo, possuem órbita 217 e pontos 67, a escolha da imagem foi condicionada a céu claro com menor presença de nuvens possível (<10%), passando sobre o local aproximadamente as 09 h 45 min (hora local). As variáveis meteorológicas do instante da passagem do satélite que foram utilizadas nos processos de correção atmosférica estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis meteorológicas no momento da passagem do satélite Landsat-8: dia juliano (DJ) e horas, ângulo de elevação solar (E), temperatura do ar (t, °C), umidade relativa (UR, %), Pressão atmosférica (Po, hPa), profundidade óptica (τ) e visibilidade horizontal (VIS, km).

Datas	DJ	E	T	UR	Po	τ	VIS
05/12/2017	339	62,24	29,4	64	961,8	0,0856	18,26
03/01/2017	03	59,12	25,4	74	962,9	0,0846	18,44
14/11/2015	318	64,99	28,6	54	961,9	0,0847	18,41
29/10/2015	302	66,00	27,7	62	962,4	0,0847	18,41
27/11/2014	331	63,37	26,2	64	962,5	0,0847	18,41

Antes de realizar a correção atmosférica foi necessário converter as imagens de níveis digitais (ND) para radiância (Ponzoni & Shimabukuro, 2009). Esta conversão foi realizada utilizando o software ENVI 5.1, por meio da ferramenta radiometric calibration. Com as imagens devidamente convertidas em radiância, pode-se agora realizar a correção atmosféricas com os diferentes métodos.

Três métodos de correção atmosférica foram avaliados: o DOS (*Dark Object Subtraction*), FLAASH e QUAC (BERK et al., 2002, p.800). Para aplicação dos métodos supracitados, foi utilizada a ferramenta ENVI 5.1. Os parâmetros utilizados na correção estão demonstrados na tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros de entrada no modelo para a correção atmosférica

Parâmetros	Valores de Entrada
Tipo de sensor	Multiespectral
Longitude do pixel central	37°23'08.70"W
Latitude do pixel central	10°07'20.35"S
Tipo de modelo de atmosfera gasosa	Tropical
Tipo de modelo de aerossóis	Rural
Visibilidade (km)	18
Altitude média (km)	0,22

Algoritmo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)

O algoritmo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN4 e executa a correção para o efeito de adjacência (mistura de pixel devido ao espalhamento de superfície) bem como computa a visibilidade média da cena (COOLEY et al., 2002, p. 1416; KRUSE, 1993, p. 148). O Algoritmo FLAASH opera na faixa espectral entre 0,4µm e 2,5 µm, este método é feito pixel a pixel. Para realizar a correção é necessário informar alguns dados como a data, horário, local da passagem do Landsat-8, modelo atmosférico tropical, aerossol continental e visibilidade atmosférica horizontal. A visibilidade horizontal atmosférica (VIS) foi estimada invertendo-se a Equação 1 proposta por (DESCHAMPS et al., 1981):

$$\beta = 0,613 \times e^{-VIS/15} \quad (1)$$

em que: β = coeficiente de Ångström.

Quick Atmospheric Correction - QUAC

O QUAC é um Módulo de correção atmosférica para imagens multiespectrais e hiperespectrais na faixa espectral do infravermelho próximo e médio entre 0,4 a 2,5 µm. A correção atmosférica é feita partir de empíricos usando as informações contidas nos metadados das imagens (ENVI, 2009). Para o cômputo deste algoritmo usou-se a ferramenta QUick Atmospheric Correction (QUAC) da plataforma Envi 5.1.

Dark Object Subtraction – DOS

Neste método desenvolvido por CHAVEZ (1988), o método Dark Object Subtraction (DOS) corrige o processo de espalhamento atmosférico na imagem. Na aplicação deste método utilizou-se a imagem em números digitais convertidos em reflectância aparente (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009). O software utilizado foi ENVI 5.1 que gerou o histograma das bandas da imagem, com isto, os valores mínimos foram subtraídos de cada banda na imagem.



Avaliação dos Resultados

Para avaliação dos resultados foram calculadas as diferenças médias entre as assinaturas hiperespectrais e multiespectrais. Para determinar se houve diferença significativa entre os métodos estudados, foi calculada a correlação através do algoritmo de Pearson, e testes de hipótese para média e variância, com um nível de confiança de 95%.

Na avaliação dos métodos aplicados foram escolhidas três classes de comparação na imagem: área vegetada, água, solo exposto e asfalto. Nas três classes estudadas gerou-se polígonos na região da imagem, com 5 x 5 pixels totalizando 75 pixels. O mesmo ocorreu para as regiões da imagem com água e areia (Tabela 3). Gerou-se uma média de reflectância dos 3 polígonos para cada classe. Posteriormente foram gerados gráficos de refletância para cada uma destas classes.

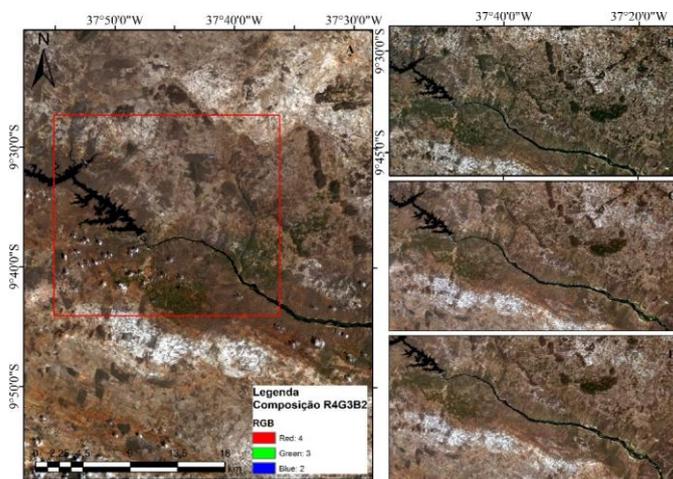
Tabela 3. Dados dos pixels estudados.

Pixels	Latitude	Longitude
1	9° 32' 24,68'' S	37° 52' 52,79'' W
2	9° 33' 08,45'' S	37° 51' 48,82'' W
3	9° 32' 50,96'' S	37° 53' 47,01'' W
4	9° 36' 19,77'' S	37° 48' 02,76'' W

Resultados e Discussão

A diferença dos métodos estudados são apresentadas em composição R(4) G(3) B(2) através da Figura 2, que apresenta a imagem com dados brutos em níveis digitais (DN) a esquerda e as imagens de reflectância corrigida (ρ) a direita, possibilitando a melhor caracterização e diferenciação dos alvos distintos presentes na superfície das cenas.

Figura 2. Composição R(4)G(3)B(2) comparando os recortes da área de estudo das cenas em número digital (A); e após correção atmosférica pelos métodos: FLAASH (B), QUAC (C) e DOS (D).





Na Tabela 4 estão representados a estatística descritiva, valor mínimo (Mín.), máximo (Máx.), médio, mediano, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise das imagens de refletância em diferentes métodos de correção atmosférica.

Os parâmetros estatísticos do DP e CV mostraram valores, variando de 0,041 a 0,012; e 0,26 a 0,41; respectivamente. Para o CV, o valor mínimo foi constatado para o método FLAASH, enquanto que o máximo é observado para o método QUAC. Os valores médios observados variaram entre o mínimo de 0,09 para o método QUAC e máximo de 0,046 para o método DOS. O valor máximo do DP indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores, enquanto que o valor mínimo indica que os dados tendem a estar próximos da média.

Tabela 4. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos dos diferentes métodos de correção atmosférica.

Métodos	Mín.	Máx.	Médio	Mediano	DP	CV
FLAASH	0	0,98	0,075	0,65	0,041	0,54
QUAC	0	0,89	0,09	0,089	0,03	0,33
DOS	0	0,37	0,046	0,045	0,012	0,26

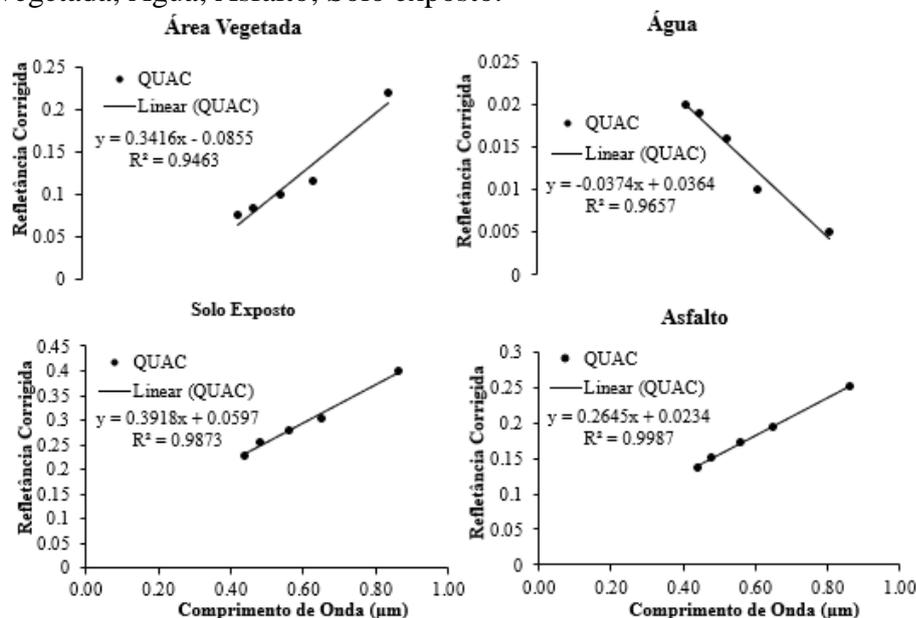
As Figuras 3 A, B, C e D mostram por meio do comportamento espectral, que a correção atmosférica efetuada pelo Modelo QUAC apresentou os melhores valores de R^2 para as bandas da faixa espectral visível e do infravermelho próximo (Bandas de 1 a 5; 0,43 – 0,88 μm). O modelo QUAC apresenta em suas assinaturas pequenas diferenças na região do visível e do infravermelho médio, como pode ser observado nas assinaturas espectrais dos pixels analisados.

Este resultado pode ser explicado pelo fato de que o método QUAC corrige melhor os efeitos atmosféricos de absorção, que são mais fortes nos comprimentos de onda curtos. O maior valor de R^2 encontrado foi para a superfície asfalto com R^2 igual a 0.99 e o menor valor de R^2 (0.94) foi observado na superfície de área vegetada (Figura 3). Na região do visível e infravermelho próximo, houve grande resposta de reflectância pelo método QUAC para a superfície área vegetada, este fato pode ser explicado pelo espalhamento interno da radiação na estrutura foliar favorecendo o acréscimo da refletância da vegetação (JENSEN, 2009, p. 553).

BAPTISTA, VIVALDI & MENESES (2016, p. 1274) avaliaram a influência das correções atmosférica e de “crosstalk” (vazamento de radiação entre detectores) da qualidade das imagens RCGbscale, em dados SWIR do Aster, esses autores utilizaram outros modelos para a correção dos efeitos atmosféricos, em que obtiveram valores de R^2 inferiores aos encontrados na correção atmosférica utilizando o modelo QUAC.



Figura 3. Comparação entre os valores de refletância corrigida pelo método QUAC e as diferentes superfícies: Área vegetada; Água; Asfalto; Solo exposto.



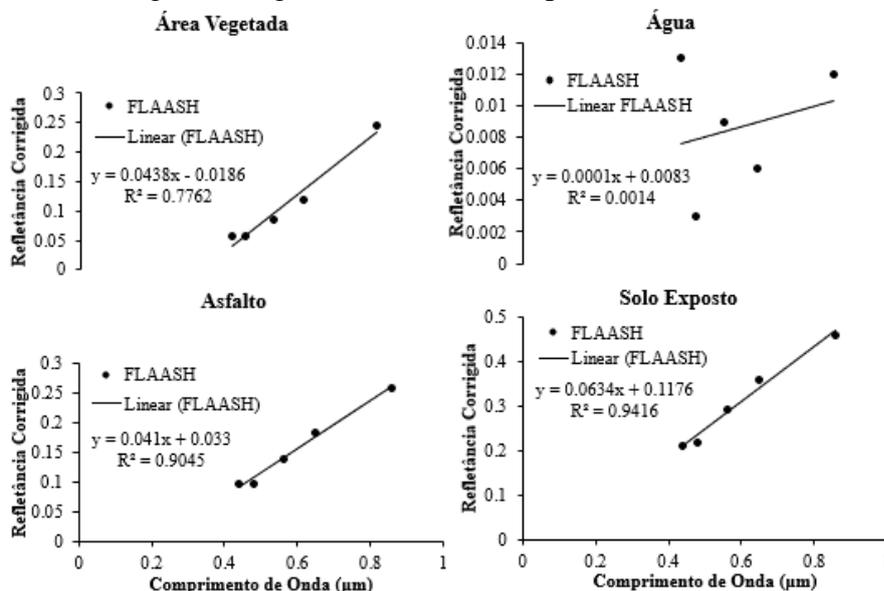
Com base nas Figuras 4 e 5 os métodos de FLAASH e DOS apresentaram comportamento similares, com baixos valores R^2 nas superfícies área vegetada ($R^2=0,77$ e $0,77$) e água ($R^2=0,0014$ e $0,48$), e valores mais elevados para as superfícies asfalto ($R^2= 0,90$ e $0,99$) e solo exposto ($R^2=0,94$ e $0,89$).

A Figura 4 representa o comportamento espectral da refletância com correção atmosférica pelo método FLAASH. Segundo a Figura 4B o padrão da refletância corrigida para a atmosfera mostra um acréscimo gradativo entre as bandas 1 e 5, para as superfícies: área vegetada; asfalto; solo exposto, este fato é característico principalmente das áreas construídas como o asfalto. Entretanto, com a água ocorreu o inverso, em que houve um decréscimo entre os valores de refletância corrigida. Ou seja, o efeito atmosférico nas bandas do visível e infravermelho é subtrativo, com tudo, uma menor quantidade de radiação é adicionada pela atmosfera do que é adicionada, fazendo com que a correção atmosférica cause uma diminuição nos valores de refletância da superfície.

Na Figura 4 observa-se o comportamento espectral da água, o R^2 ($0,0014$) é considerado extremamente baixo, destoando dos resultados do modelo QUAC (Figura 3) em que para a superfície água o R^2 é de $0,96$. Com tudo a correção atmosférica usando o modelo FLAASH foi o menos eficiente no comportamento espectral da superfície água.



Figura 4. Comparação entre os valores de refletância corrigida pelo método FLAASH e às diferentes superfícies: Área vegetada; Água; Asfalto; Solo exposto.

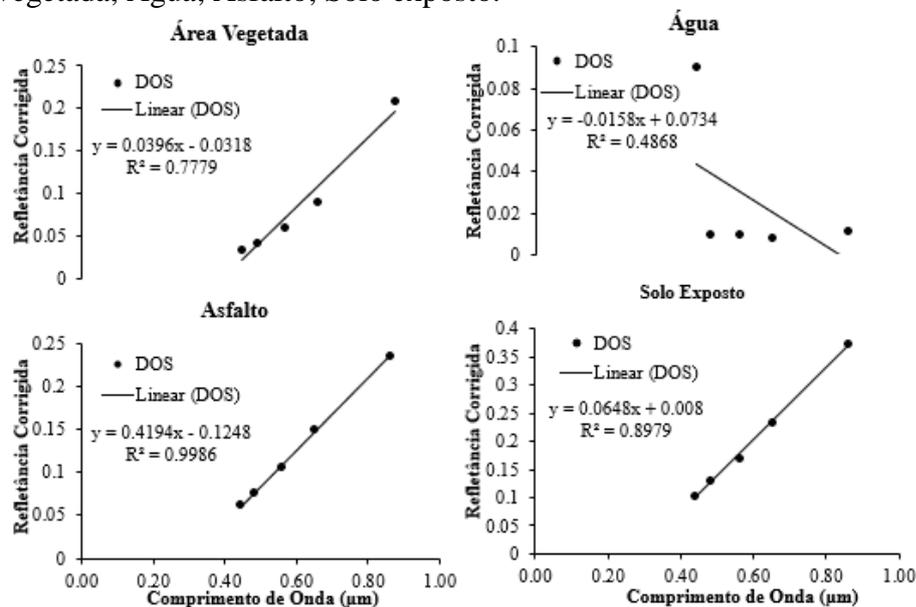


A Figura 5 representa o comportamento espectral da refletância com correção atmosférica pelo método DOS. O maior valor de R^2 (0,99) é encontrado nas superfícies asfalto. Como pode ser visualizado na Figura 5 C e D, há um pico de refletância na banda 5 (0,88 μm), enquanto que a superfície água para as bandas na faixa de 0,45 a 0,88 μm . Este fato pode estar associado ao desgaste e envelhecimento do asfalto (ROBERTS & HEROLD, 2004, p. 155). Comportamento oposto é observado para a superfície água, com R^2 igual a 0,48, isso implica que há baixa relação entre a refletância corrigida e a faixa espectral.

Com tudo, a correção usando os modelos DOS e FLAASH apresentam uma menor eficiência na correção dos efeitos atmosféricos sobre a superfície água. A baixa refletância dos corpos hídricos é resultado da baixa concentração dos componentes opticamente ativos, pois este apresenta baixas concentrações de total de sólidos em suspensão (TSS), boa transparência, e a baixa concentração de matéria. Estes resultados corroboram com os encontrados por Ferreira & Pereira-Filho, (2009, p. 15) que nas suas pesquisas avaliaram a reflectância espectral dos corpos d'água de três sub-bacias (arroyo Cadena e dos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim).



Figura 5. Comparação entre os valores de refletância corrigida pelo método DOS e às diferentes superfícies: Área vegetada; Água; Asfalto; Solo exposto.



Conclusões

O método de correção atmosférica QUAC mostrou-se mais adequado para caracterização espectral.

Os resultados das refletâncias corrigidas foram inferiores às refletâncias sem correção.

Conflito de Interesse

Os autores não declararam conflito de interesse para esse manuscrito.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos revisores da Revista Ambientale pelas correções e sugestões;

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade na realização do mestrado.



Referências

ANDERSON, G. P.; PUKALL, B.; ALLRED, C. L.; JEONG, L. S.; HOKE, M.; CHETWYND, J. H.; ADLER-GOLDEN, S. M.; BERK, A.; BERNSTEIN, L. S.; RICHTSMEIER, S. C.; ACHARYA, P. K.; MATTHEW, M. W. FLAASH and MODTRAN4: state-of-the-art atmospheric correction for hyperspectral data. In: Aerospace Conference, IEEE, 1999. **Proceedings...** v. 4, p. 177-181, 1999.

BAPTISTA, G. M. M.; VIVALDI, D. D.; MENESES, P. R. **Correção atmosférica e de “crosstalk” em dados Aster para mapeamento da relação mineralógica de solos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.51, n.9, p.1272-1282. 2016.

BERK, A. G. P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; RATKOWSKI, A. J.; FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; HOKE, M. L.; COOLEY, T.; CHETWYND, J. H.; GARDNER, J. A.; MATTHEW, M. W.; BERNSTEIN, L. S. ACHARYA, P. K.; MILLER, D.; LEWIS, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research, p. 798-803, 2002.

COOLEY, T.; ANDERSON, G. P.; FELDE, G. W.; HOKE, M. L.; RATKOWSKI, A. J.; CHETWYND, J. H.; GARDNER, J. A.; ADLERGOLDEN, S. M.; MATTHEW, M. W.; BERK, A.; BERNSTEIN, L. S.; ACHARYA, P. K.; MILLER, D.; LEWIS, P. FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International (IGARSS), 2002, Toronto. **Proceeding** p. 1414-1418, 2002.

ENVI. **User’s Guide: Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH.** ESRI, 2009.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA-FILHO, W. Avaliação da reflectância espectral de corpos d’água em santa maria-rs por meio de espectrorradiometria de campo. **Revista Geoambiente**, n. 13, 2009.

HOFF, R.; DUCATI, J. R.; FARIAS, A. R.; BOMBASSARO, M. G.; VILLARO, J. M. R.; MORAL, J. G.; MODENA, R. C. C.; ALMEIDA, C. A. M. Caracterização de vinhedos pela aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e espectrorradiometria na Região da Metade Sul, RS, Brasil. In: XIV Congresso Latinoamericano de Viticultura Y Enología, 2013, Tarija. Memoria XIV Congreso Latinoamericano de Viticultura Y Enología. Tarija: Fautapo, 2013. v. 1. p. 99-102.

KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A. B.; BOARDMAN, J. W.; HEIDEBRECHT, K. B.; SHAPIRO, A. T.; BARLOON, P. J.; GOETZ, A. F. H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, p. 145-163, 1993.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.



Revista *Ambientale*

Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL

e-ISSN 2318-454X - Ano 10, Outubro/Dezembro, Vol.10, nº 3 - 2018.

ROBERTS, D. A.; HEROLD M. Imaging spectrometry of urban materials, in King, P., Ramsey, M.S.and G. Swayze, (eds.), *Infrared Spectroscopy in Geochemistry, Exploration and Remote Sensing*, Mineral Association of Canada, Short Course Series. Volume 33, London, Ontario, pp. 155-181. 2004.