

Correção atmosférica de imagem WorldView-2 utilizando um modelo de transferência radiativa

Talita Calaca Costa dos Santos¹
Mauro Antonio Homem Antunes²
Gustavo Mota de Sousa ²
José Carlos Sícoli Seoane ¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Instituto de Geociências – Departamento de Geologia
Av. Athos da Silveira, 274 (prédio do CCMN), bloco G, Campus Ilha do Fundão,
CEP 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ
talita.calaca@gmail.com; cainho@geologia.ufrj.br

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ
Instituto de Tecnologia – Departamento de Engenharia
Br 465, km 7, Seropédica – RJ
mauroantunes@ufrj.br; gustavobond@gmail.com

Abstract. Remotely sensed images in the solar spectrum are affected by the atmosphere through scattering and absorption, leading to problems in information extraction from the Earth's surface. The atmospheric correction by radiative transfer models is a way to eliminate or at least minimize this problem. The objective of this paper is to evaluate the atmospheric correction through the Atmcor4WV2 model adapted from the 6S model to obtain surface reflectance from the Multispectral sensor onboard of the WorldView-2 satellite. The sensor's response function and calibration data have been implemented in the Atmcor4WV2 model and a multispectral image was corrected for the effects of the atmosphere. For comparison purposes the image was also atmospherically corrected using the non-physically based method of Dark Object Subtraction (DOS). The atmospheric correction was evaluated by collecting samples from the image without correction and corrected for three different targets and comparing the surface reflectance (corrected by the Atmcor4WV2 and DOS) with the apparent reflectance (reflectance at satellite level). The results showed that the surface reflectance values calculated by the Atmcor4WV2 model resemble the spectral signature of each target, unlike those values from the image without correction and the image corrected by the DOS method. We concluded that the atmospheric correction is necessary, especially when the images will be used to estimate surface parameters that are related to the spectral characteristics of the targets. Besides, the physically based approach using the Atmcor4WV2 model is proved to be more suitable for atmospheric correction of images from WorldView-2 than the DOS method.

Palavras chaves: Reflectância da superfície, WorldView-2, correção atmosférica, comportamento espectral, surface reflectance, DOS, AtmCorWV2, 6S.

1. Introdução

Imagens de satélites são captadas a uma grande distância da superfície da terrestre. Consequentemente, há um percurso atmosférico substancial que a radiação eletromagnética precisa atravessar antes de chegar ao sensor. Dependendo do comprimento de onda e das condições atmosféricas, a radiação que atinge o sensor pode sofrer modificações.

De maneira geral, a atmosfera é um dos principais provocantes de degradações nas imagens originais, muitas vezes comprometendo a análise e a interpretação destas. Os principais efeitos da atmosfera sobre as imagens de sensoriamento remoto são a redução do contraste entre os alvos, a redução na possibilidade de detecção de alvos muito pequenos, e a não separação de alvos que apresentem reflectâncias muito próximas (Rosa, 2009).

A intensidade da influência da atmosfera depende do comprimento de onda, variando assim de banda para banda e a correção dos efeitos da atmosfera sobre a imagem de satélite pode ser

feita a partir de modelos matemáticos. Neste trabalho serão apresentados dois métodos de correção atmosférica que serão aplicados em uma imagem do satélite WorldView-2: o método DOS e o modelo AtmCorWV2.

O método empírico *Dark Object Subtraction* - DOS (Chaves, 1988) consiste na correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Neste método assume-se que há uma grande probabilidade de existir alvos (pixels) escuros nas imagens os quais deveriam apresentar um ND muito baixo na imagem. Esta metodologia é baseada em informações coletadas na própria imagem, assim não há necessidade de se inserir parâmetros sobre as condições atmosféricas do momento da captura da imagem (Chavez, 1988; Sanches et al., 2011).

O segundo método aplicado consistiu na aplicação do modelo AtmCorWV2, este modelo foi adaptado a partir do modelo 6S para utilização em imagens do satélite WorldView-2. O modelo 6S é fundamentado na transferência radiativa, ele considera as características atmosféricas no momento de obtenção da imagem para o cálculo dos fluxos necessários para a obtenção da reflectância bidirecional da superfície (Antunes et al., 2012).

O modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) foi desenvolvido por Vermote et al. (1997) e originalmente implementado para a simulação da radiância que chega nos sensores em bandas dentro do espectro solar, entre 250 nm a 4000 nm, podendo assim ser utilizado para estabelecer as características de sensores. A partir de uma reflectância do alvo e da irradiância direta e difusa que chegam à superfície obtém-se a radiância que sai do alvo na direção do sensor. Através da transferência radiativa é obtida a radiância que chega ao sensor e assim pode-se também obter a reflectância aparente com base na irradiância que chega ao topo da atmosfera.

O modelo 6S em sua implementação original permite também simular a reflectância da superfície para diferentes alvos e, a partir deste valor, obter a reflectância aparente e a radiância que chega ao nível do sensor. A utilização do 6S no sentido inverso consiste em utilizar a radiância que chega ao sensor para o cálculo da radiância que sai da superfície, através da consideração dos efeitos da atmosfera. Com esta radiância e a irradiância na superfície, obtida através da transferência radiativa do topo da atmosfera até superfície, é calculada a reflectância bidirecional (RB) da superfície (Antunes et al., 2012).

O objetivo deste artigo é avaliar a correção atmosférica através do modelo Atmcor4WV2 para imagens do sensor Multiespectral a bordo do satélite WorldView-2, além de compará-lo com o método de correção DOS. Para isso foram coletados os valores de reflectância da superfície (das imagens corrigidas pelo Atmcor4WV2 e DOS) e da reflectância aparente (reflectância ao nível do satélite) de três amostras de alvo, sendo posteriormente estes valores comparados com a resposta esperada dos alvos conforme publicado na literatura.

2. Materiais e Métodos

A imagem utilizada foi a do sensor Multiespectral do satélite WorldView-2 com data de 23/12/2009 da região costeira de Porto Seguro, BA. Foram feitas três comparações: a primeira com a imagem bruta (sem correção e com os valores de números digitais corrigidos para reflectância), a segunda com a imagem corrigida pelo método DOS e a terceira com a imagem corrigida pelo método 6S (modelo AtmCorWV2).

Antes de realizar a correção atmosférica em uma imagem é necessário realizar conversões a fim de tornar os dados mais adequados para o mapeamento. A primeira delas, de acordo com o Ponzoni & Shimabukuro (2009), é a conversão dos números digitais (ND) das imagens para valores de parâmetros físicos como Radiância e posteriormente, Reflectância. Estas conversões foram realizadas utilizando o software ENVI 5.0.

Para converter os NDs da imagem em Radiância Bidirecional Aparente, a empresa DigitalGlobe (2010), fornecedora do satélite recomenda a utilização da Equação 1. Essa conversão permite a caracterização espectral dos objetos e também a realização de operações aritméticas utilizando dados de imagens de diferentes bandas espectrais, para um mesmo sensor ou entre diferentes sensores, uma vez que os novos “NDs” representam um parâmetro físico apresentado em uma mesma escala (Ponzoni & Shimabukuro, 2009).

$$L_{\lambda_{\text{Pixel,Banda}}} = \frac{K_{\text{Banda}} \cdot q_{\text{Pixel,Banda}}}{\Delta\lambda_{\text{Banda}}} \quad (1)$$

Onde:

$L_{\lambda_{\text{Pixel,Banda}}}$ = Radiância espectral do pixel [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$],

K_{Banda} = Fator de calibração radiométrica absoluta de uma banda particular [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{count}^{-1}$],

$q_{\text{Pixel,Banda}}$ = é ND do pixel da imagem radiometricamente corrigida (count),

$\Delta\lambda_{\text{Banda}}$ = *effective bandwidth* [μm] de uma banda

(O fator de calibração e o *effective bandwidth* estão disponíveis no metadados do arquivo da imagem)

Após essa etapa, a Equação 2 irá converter os valores de Radiância Bidirecional Aparente para Reflectância Bidirecional Aparente.

$$\rho_{\lambda_{\text{Pixel,Banda}}} = \frac{L_{\lambda_{\text{Pixel,Banda}}} \cdot d_{\text{TS}}^2 \cdot \pi}{E_{\text{sun}}_{\lambda_{\text{Banda}}} \cdot \cos(\theta_s)} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{\lambda_{\text{Pixel,Banda}}}$ = Reflectância Bidirecional Aparente

$L_{\lambda_{\text{Pixel,Banda}}}$ = Radiância Bidirecional Aparente

d_{TS}^2 = distância Terra-Sol

$\pi = 3,141592$

$E_{\text{sun}}_{\lambda_{\text{Banda}}}$ = Irradiância média do Sol no topo da atmosfera para cada banda

$\cos(\theta_s)$ = ângulo solar zenital

Após as conversões foram aplicadas duas correções atmosféricas, o DOS e o AtmCorWV2.

2.1 Correção atmosférica DOS

A correção atmosférica DOS foi realizada utilizando o software ENVI 5.0. Para obter os melhores resultados da correção atmosférica, o programa calculou as estatísticas de todas as bandas da imagem corrigida para reflectância e gerou os histogramas que continham informações dos valores mínimos e máximos dos números digitais da imagem. Os menores valores dos números digitais foram então subtraídos de cada banda da imagem, usando o método de subtração *User Value*.

2.2 Correção atmosférica AtmCorWV2 (método 6S)

Para corrigir a imagem utilizando o método 6S, foi necessário a criação do modelo AtmCorWV2, que possui atributos específicos para imagens orbitais originadas do satélite WorldView-2. Os parâmetros utilizados na correção estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de entrada no modelo para a correção atmosférica.

Parâmetros	Valores de entrada
Tipo de sensor	Multiespectral
Mês, dia, hora decimal, longitude decimal, latitude decimal	12, 23, 12.898656, -39.07533074, -16.31519962
Tipo de modelo de atmosfera gasosa	1 (Tropical)
Tipo de modelo de aerossóis	2 (Marítimo)
Visibilidade em Km (concentração de aerossóis)	59 km
Altitude média do alvo em km (valor negativo)	-0,005
Marcador para a banda do sensor	42 a 49
Abscalfactor, Deltaband, Esunband para o WorldView-2	(Valores diferentes para cada banda)
Número de bytes da imagem (igual ao número de pixels)	49912246

A Figura 1 apresenta um fluxograma com as etapas do pré-processamento.

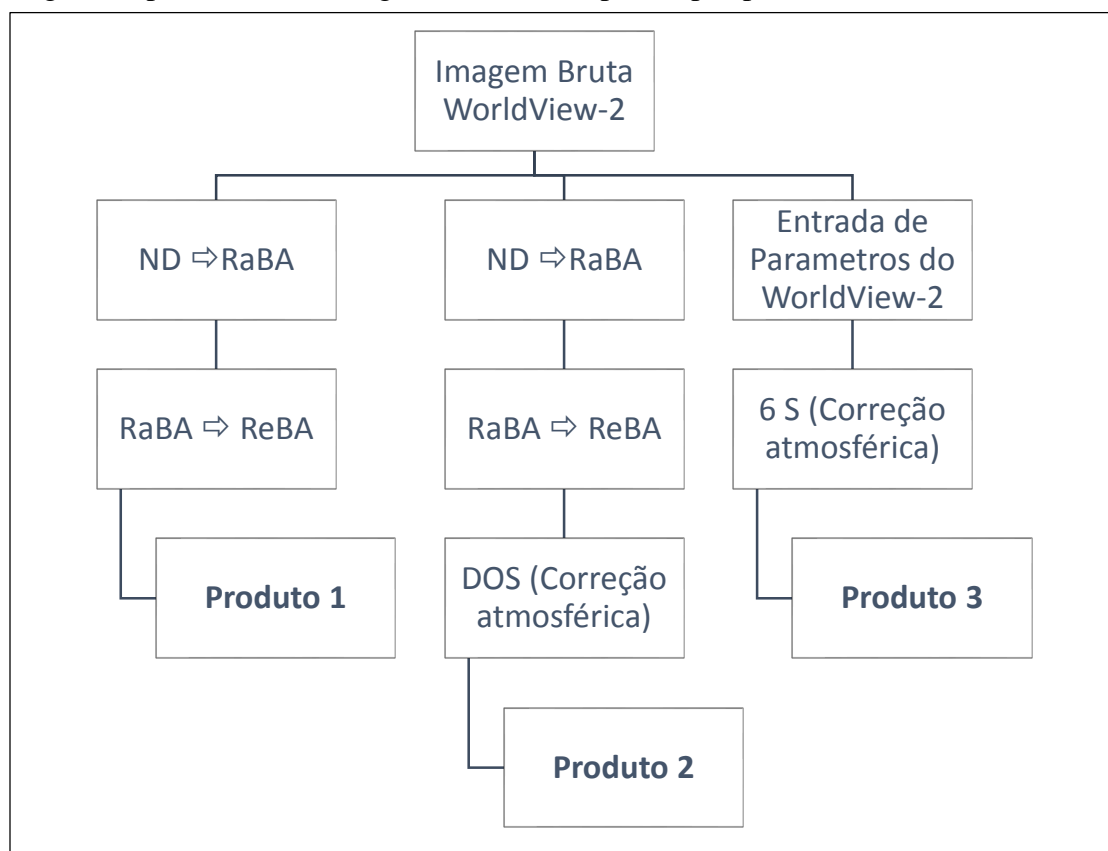


Figura 1. Etapas do pré-processamento. Onde ND é Número Digital; RaBA é Radiância Bidirecional Aparente; ReBA é Reflectância Bidirecional Aparente.

Para comparar os métodos foram escolhidas três classes de comparação na imagem: a vegetação, a água do mar e a areia, posteriormente foram gerados gráficos de reflectância para cada uma destas classes.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a imagem sem correção, a imagem com correção atmosférica DOS e a imagem com correção atmosférica AtmCorWV2 com composição colorida 532.

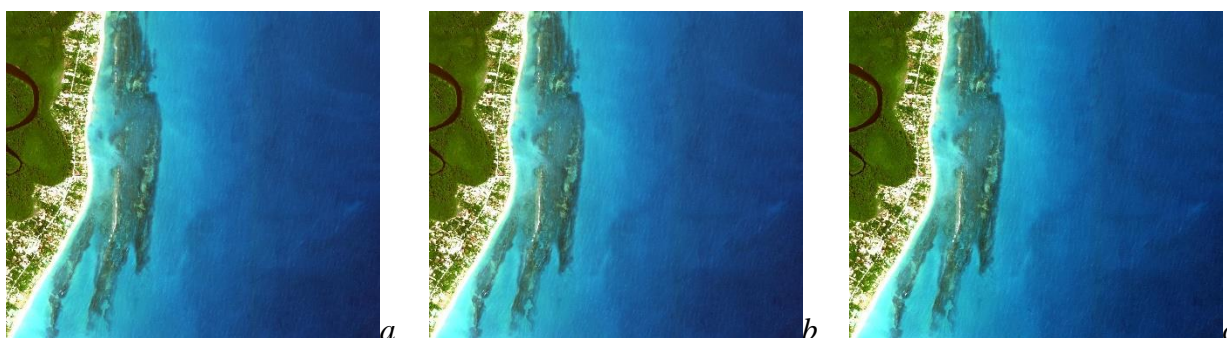


Figura 2. Cena na composição colorida 532 para a imagem sem correção (a), imagem corrigida com DOS (b) e a imagem corrigida com AtmCorWV2 (c)

Utilizando-se a composição de bandas 532 não foram observadas diferenças visuais entre as imagens com e sem correção atmosférica. Entretanto, quando se utiliza a composição 531, onde no canal azul coloca-se a banda Azul Costeiro (427 nm) é possível observar diferenças na imagem (Figura 3). Tal diferença pode ser explicada devido a imprecisão da correção atmosférica para aerossóis marítimos e também a uma incerteza no uso do modelo atmosférico gasoso tropical, que acomoda uma espessura de atmosfera que vai desde do Equador até aproximadamente trinta graus de latitude.

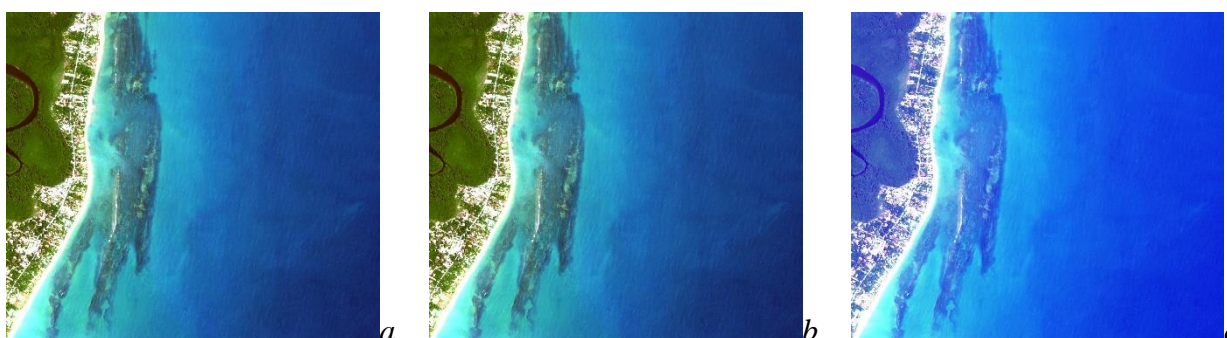


Figura 3. Cena na composição colorida 531 para a imagem sem correção (a), imagem corrigida com DOS (b) e a imagem corrigida com AtmCorWV2 (c)

A curva da vegetação foi extraída de uma região da imagem caracterizada por floresta de mangue. Na Figura 4 está representada a curva da resposta espectral da vegetação de mangue, onde observa-se que a imagem corrigida pelo método DOS tende a acompanhar a curva da imagem sem correção, porém em valores mais baixos. A imagem corrigida pelo método AtmCorWV2 é caracterizada por apresentar um pico no comprimento de onda do verde (546 nm), onde nesta região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral, principalmente a clorofila; seguido por um decaimento até o comprimento de onda do vermelho (659 nm) onde ocorre absorção de clorofila pela planta; posteriormente ocorre um aumento da reflectância na região do infravermelho (700 – 908 nm). Nesta região existe uma absorção

pequena da Radiação Eletromagnética (REM) e considerável espalhamento interno na folha (Venturieri, 2007). A reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região (Venturieri, 2007).

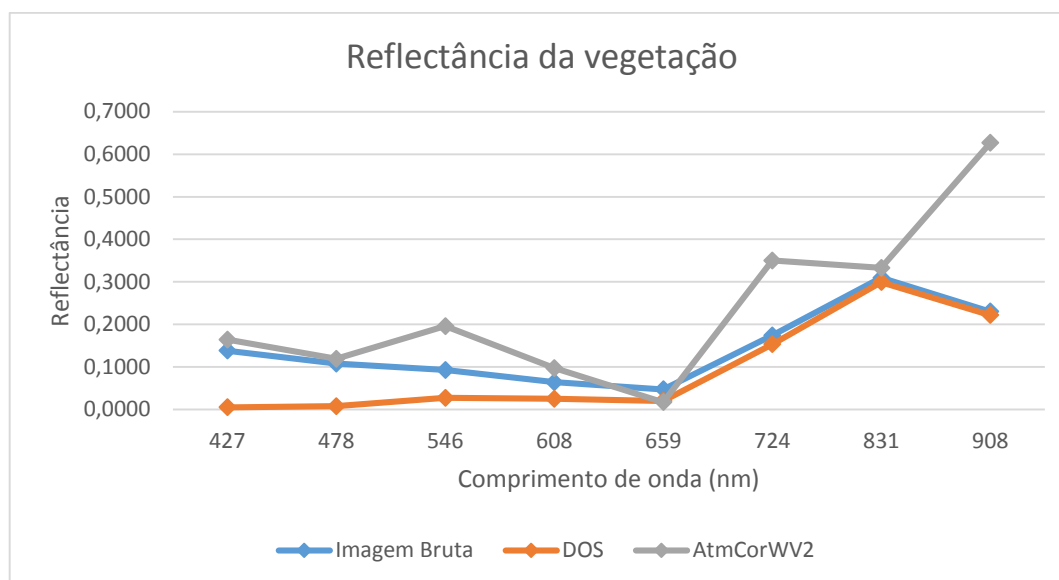


Figura 4. Valores da Reflectância Bidirecional versus o comprimento de onda central da banda obtidos para a vegetação na imagem sem correção atmosférica e nas imagens corrigidas com DOS e AtmCorWV2.

A curva espectral espectral da água do mar está representada na Figura 5. De acordo com Venturieri (2007), o comportamento espectral da água é função das propriedades óticas da água pura e de outras substâncias nela dissolvidas e em suspensão, sendo em geral, a maior reflectância deste alvo observada na faixa espectral do visível (400 a 600nm), decrescendo gradualmente na direção do infravermelho. Este comportamento, de maneira geral, foi observado nas três curvas da Figura 5, onde a imagem corrigida por DOS apresentou a mesma tendência que a imagem sem correção, porém com menores valores de reflectância. Já a curva de reflectância da imagem corrigida por AtmCorWV2 apresentou uma tendência diferente, caracterizada por decaimento da curva até o azul (478 nm) e aumento de reflectância até o verde, podendo ser explicada pela presença de organismos fotossintetizantes na água do mar; seguido por um decaimento da reflectância até o vermelho (659 nm); as respostas de reflectância observadas nos comprimentos de onda de 659 a 908 nm provavelmente são referentes a partículas e/ou sedimentos em suspensão na água (Venturieri, 2007).

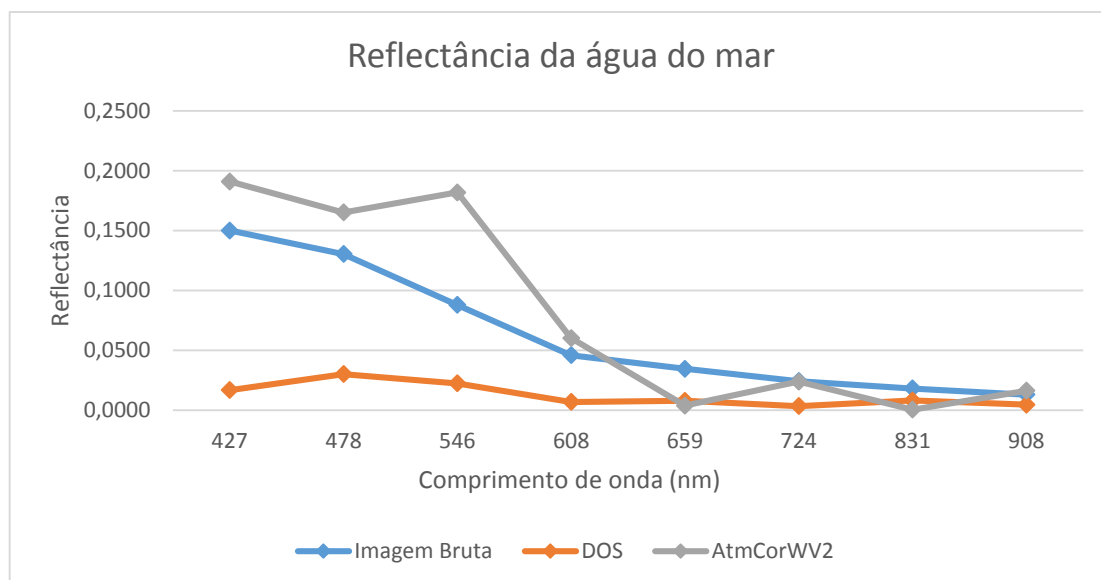


Figura 5. Valores da Reflectância Bidirecional versus o comprimento de onda central da banda obtidos para a água do mar na imagem sem correção atmosférica e nas imagens corrigidas com DOS e 6S.

De acordo com Venturieri (2007), o comportamento espectral do solo é afetado por diversos fatores dentre os quais se destacam: a cor do solo, o tipo do solo (latossolo, litossolo, podzólico), o teor de matéria orgânica, o teor de ferro, a composição mineralógica do solo (presença ou ausência de minerais escuros), o teor de umidade, e a sua textura (distribuição de tamanho das partículas presentes no solo, ou proporção de argila, silte e areia). O solo utilizado para a extração da curva de reflectância é um solo arenoso com pouca ou nenhuma matéria orgânica, tipicamente encontrado nas praias, sua curva está expressa na Figura 6. Mais uma vez a imagem com a correção DOS apresenta a mesma tendência que a imagem sem correção. A imagem corrigida AtmCorWV2 apresenta picos com altos valores de reflectância nos comprimentos de onda do verde (546 nm), vermelho borda (724 nm) e infravermelho 2 (908 nm).

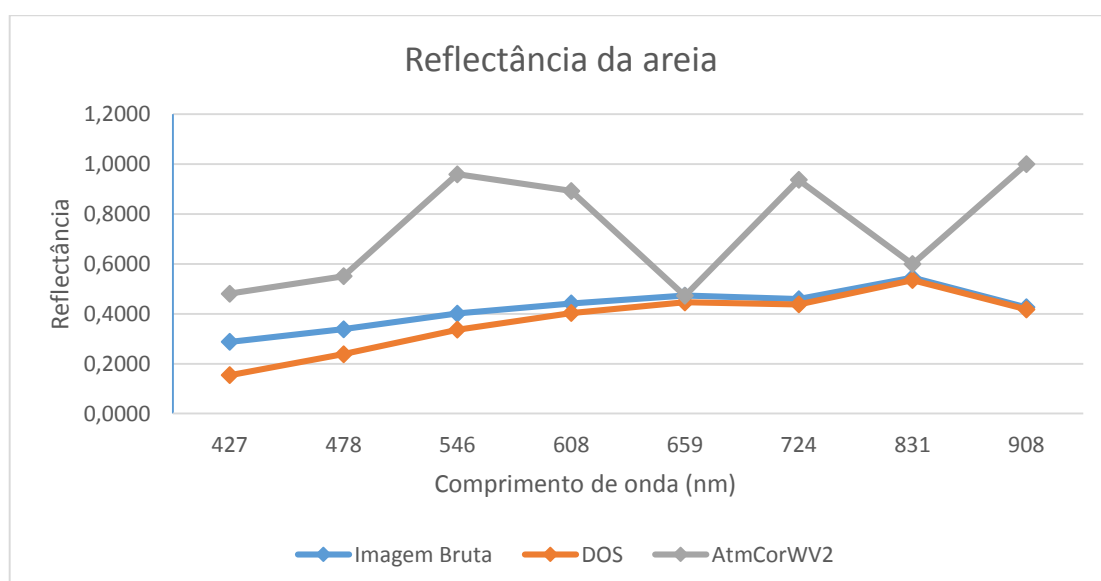


Figura 6. Valores da Reflectância Bidirecional versus o comprimento de onda central da banda obtidos para a areia na imagem sem correção atmosférica e nas imagens corrigidas com DOS e AtmCorWV2.

Estes resultados evidenciam a necessidade de se aplicar o modelo de correção atmosférica em imagens de satélites. Embora o método DOS seja mais simplista devido a facilidade de sua aplicação, sua metodologia é a menos acurada para a correção atmosférica de imagens (Moran et al., 1992).

Conforme o esperado o modelo de transferência radiativa AtmCorWV2 levou à geração de dados mais representativos dos alvos em questão. Embora alguns parâmetros inseridos no programa sejam subjetivos devido à falta de precisão, como a visibilidade e os modelos de aerossóis e tipo de atmosfera.

4. Conclusões

Conforme os resultados obtidos, se recomenda a aplicação da correção atmosférica quando existe a necessidade de obtenção de informações dos alvos através da reflectância bidirecional aparente, uma vez que os efeitos atmosféricos modificam a reflectância bidirecional aparente obtida a nível de satélite. O modelo AtmCorWV2 apresentou bons resultados para os comprimentos de onda do azul ao infravermelho, entretanto, comprimentos de onda mais próximos ao ultravioleta, como o Azul Costeiro, não apresentaram bons resultados na imagem.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pela bolsa de mestrado e ao Projeto Coral Vivo que é um grande parceiro da primeira autora.

Referencias Bibliográficas

Antunes, M. A. H.; Debiasi, P.; Costa, A. R.; Gleriani, J. M. Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 64/4, p. 531-539, 2012.

Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

Digital Globe. **Radionetric Use of WorldView-2 Imagery**. Technical Note. 2010.

Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N., Teillet, P. M., Evaluation of Simplified Procedures for Retrieval of Land Surface Reflectance Factors from Satellite Sensor Output. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, n. 1-2, p. 169-184, 1992.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2009. 138 p.

Rosa, R.; **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7ª Ed. Uberlândia: EDUFU, 2009, 264 p.

Sanches, I. D.; Andrade, R. G.; Quartaroli, C. F.; Rodrigues, C. A. G.; Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 05., 2011, Curitiba. Anais XV São José dos Campos: INPE, 2011, p. 7564-7571. On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1555.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014.

Venturieri, A. **Curso de introdução as técnicas de Sensoriamento Remoto**. Belém, 2007. 83 p. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/epdir/images/docs/paper64.pdf>>. Acesso realizado em: 12 set. 2014.

Vermote, E.F.; Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M., Morcrette, J.J., Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v 35, n. 3, p. 675- 686, 1997.