

## Comparação entre os métodos de correção atmosférica MODTRAN e DOS em imagens do RapidEye

Juliana Tavares Gonçalves<sup>1</sup>  
Cristiane Nunes Francisco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Fluminense - Instituto de Geociências -  
Departamento de Análise Geoambiental,  
Campus Praia Vermelha - 24210-310 – Niterói - RJ, Brasil  
{julianagoncalves, cristianenf}@id.uff.br

**Abstract.** Atmospheric correction of remotely sensed data is used to attenuate the atmospheric effects on the electromagnetic radiation registered by sensors. It consists on methods based on empirical models, like dark objects subtract (DOS), and atmospheric transmittance model. The first ones use the image data to specify the contribution of atmospheric scattering, while the seconds use atmospheric parameters or data from surface area, and they also consider the absorption effects. In this way, the aim of this paper is to evaluate the RapidEye images corrected by empirical models and atmospheric transmittance models. The evaluation consisted on the analysis of spectral curves obtained by the samples of pixels collected from images. It was observed difference between the reflectance of corrected images and the reflectance of top of the atmosphere (TOA). In the visible region, the values of TOA were higher than the values of corrected images, because the atmospheric scattering prevails in this spectral region. In the edger-red and near infrared bands, the reflectance of the images corrected by atmospheric transmittance model was higher than the reflectance obtained by empirical model, because the DOS model applied does not consider the atmospheric absorption that is predominant in these spectral region.

**Palavras-chave:** spectral behaviour, dark object subtraction, atmospheric transmittance model, comportamento espectral, subtração do objeto escuro, modelo de transferência radiativa

### 1. Introdução

Estudos sobre comportamento espectral de alvos em dados obtidos por sensores remotos necessitam que a correção atmosférica seja realizada nas imagens. Este procedimento consiste na atenuação os efeitos atmosféricos ocorridos durante a captura da cena, isto é, espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética causada pelos gases e aerossóis presentes na atmosfera devem ser eliminados (JENSEN, 2009). Os efeitos afetam diretamente a radiância refletida pela superfície terrestre e captada pelo sensor, uma vez que, no trajeto de entrada na atmosfera até o sensor, a energia eletromagnética sofre interferência da umidade atmosférica, da presença de aerossóis e da turbulência que absorvem e espalham a radiação, causando alteração nos valores registrados pelo sensor, com a redução do contraste, da detecção de pequenos objetos dentro de uma cena e da diferenciação entre os objetos (NOVO, 2010).

A correção atmosférica pode ser executada por métodos que se baseiam em modelos empíricos e modelos de transferência radiativa. Estes últimos utilizam parâmetros das condições atmosféricas e do sensor para resgatar valores próximos da reflectância da superfície dos alvos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Enquanto os empíricos utilizam informações intrínsecas das imagens baseadas em números digitais representativos de feições específicas, ou seja, empregam informações da própria imagem para determinar a contribuição da atmosfera em cada banda espectral e, assim, não dependem dos parâmetros atmosféricos ou de dados da superfície (LATORRE, 2002).

O modelo empírico mais utilizado e com resultados positivos é o DOS, desenvolvido por Chavez (1988), denominado como Correção Atmosférica pelo Objeto Escuro. O autor defende que, em toda cena de qualquer banda espectral, existam pixels que deveriam assumir o valor de zero, uma vez que absorveriam totalmente a radiação ou não a receberiam, como, por exemplo, sombras na região do visível ou corpos d'água límpidos na região do

infravermelho próximo, resultando em valores nulos de reflexão (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Ainda segundo o mesmo autor, caso os números digitais correspondentes aos respectivos alvos forem valores maiores que zero, o valor excedente pode ser explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico. O processo é feito através da identificação, em cada banda espectral, dos pixels que deveriam ter valores nulos e não possuem e, a seguir, subtrair de toda a imagem o valor excedente. De acordo com Song et al. (2001), a subtração de objetos escuros talvez seja a mais simples técnica de correção atmosférica e a que apresenta resultados significativos.

Os modelos de transferência radiativa consideram as características atmosféricas no momento em que a imagem é capturada para calcular os fluxos necessários e, assim, obter a refletância de superfície (ADLER-GOLDEN et al., 1999). Esses modelos são implementados por algoritmos que utilizam dados referentes à caracterização da atmosfera como concentrações de vapor d'água, O<sub>3</sub>, profundidade óptica e tipo e concentração de aerossóis, com a possibilidade também de informar os parâmetros referentes às propriedades espectrais de objetos vizinhos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Ainda segundo os mesmos autores, por levar em consideração o fenômeno de absorção da radiação eletromagnética, modelos de transferência radiativa são considerados mais confiáveis que os modelos empíricos.

Desta forma, com objetivo de avaliar as imagens derivadas do emprego modelos de correção atmosférica, foram aplicados um modelo empírico e um modelo de correção radiativa em uma cena obtida por sensor multiespectral orbital e, com base em curvas espectrais de alvos de referência, as imagens corrigidas foram comparadas com imagem sem correção.

Para a elaboração do trabalho, optou-se por uma cena do sistema dos satélites RapidEye, abrange uma área de 25 km<sup>2</sup>, coberta por remanescentes florestais de Mata Atlântica, localizada predominantemente no município de Bom Jardim, na região serrana no estado do Rio de Janeiro na Figura 1. Esta região faz parte do Planalto Reverso da Região Serrana caracterizado por relevo montanhoso a escarpado com altitude variando entre 400 e 2.300m (DANTAS, 2001).

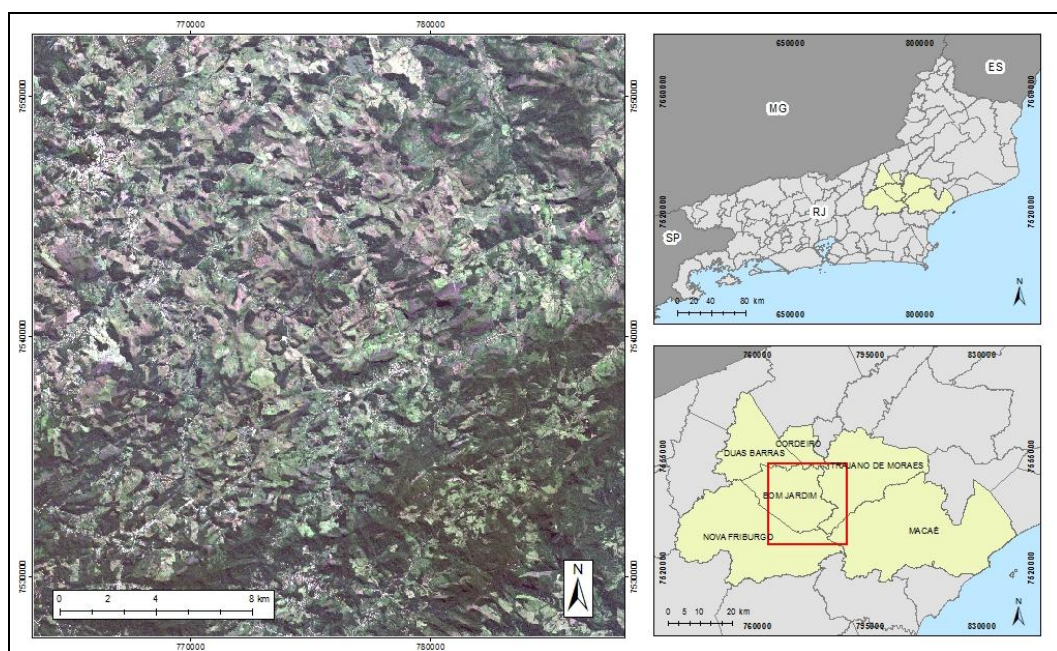


Figura 1: Área de estudo localizada na Região Serrana fluminense.

## 2. Metodologia

As imagens do sistema RapidEye, formado por uma constelação de cinco satélites idênticos posicionados em órbita síncrona ao sol, apresentam resolução espacial original de 6,5 m e, após a ortorretificação, são reamostradas para resolução de 5 m, resultando em precisão de detalhes compatível à escala 1:25.000 (BLACKBRIDGE, 2015). São compostas por cinco bandas multiespectrais, correspondentes às bandas do azul (440 - 510 nm), verde (520 - 590 nm), vermelho (630 - 685 nm), vermelho de borda (*Red-Edger*) (690 - 730 nm) e infravermelho próximo (760 - 850 nm) (BLACKBRIDGE, 2015). É o primeiro sistema orbital incluir a banda vermelho de borda, específica para o monitoramento da atividade fotossintética da vegetação, correspondente à região do espectro eletromagnético onde ocorre mudança abrupta na reflectância da clorofila (FELIX, 2009).

Para correção atmosférica da imagem RapidEye, inicialmente os números digitais de cada banda foram convertidos para radiância através da aplicação da Equação 1 conforme recomendado em BlackBridge (2015). A conversão dos números digitais em radiância corresponde à transformação para valores de grandezas físicas, permitindo a caracterização espectral dos objetos, bem como o cálculo entre bandas espectrais ou diferentes sensores (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). O resultado da conversão equivale a valores de radiância no topo da atmosfera em unidades de watts por esterradiano por metro quadrado ( $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ) (BLACKBRIDGE, 2015).

$$RAD(i) = ND(i) * \text{fator de escala radiométrica}(i) \quad (1)$$

onde:

RAD(i) = radiância no topo da atmosfera;

ND(i) = número digital; e

fator de escala = 0,01

A seguir, foram executados os procedimentos de correção atmosférica adotando-se o DOS, como modelo empírico, e o MODTRAN (Moderate Resolution Atmospheric Transmission), como modelo de transferência radiativa. Para execução do DOS, foram obtidas amostras dos pixels correspondentes à água límpida e à sombra em cada banda, alvos identificados como objetos escuros. Por fim, a média dos valores obtidos foi subtraída de cada banda e, assim, geradas imagens contendo a reflectância de superfície.

A correção pelo MODTRAN simula o comportamento da atmosfera através da adoção de parâmetros que compensam a interferência da atmosfera na resposta espectral dos alvos (EXELIS, 2014). Neste trabalho, foi utilizado a versão MODTRAN-4 que se baseia na Equação 2 para o cálculo da radiância espectral (ADLER-GOLDEN et al., 1999). O primeiro termo da equação refere-se à radiância da superfície que atravessa atmosfera diretamente para o sensor, enquanto o segundo termo refere-se à radiância da superfície que é espalhada pela atmosfera para o sensor.

$$L^* = A_p / (1 - \rho_e S) + B \rho_e / (1 - \rho_e S) + L^* a \quad (2)$$

onde:

$L^*$  = radiância espectral no sensor;

$\rho$  = reflectância de superfície do pixel;

$\rho_e$  = média da reflectância de superfície do pixel e região entorno;

$S$  = albedo esférico da atmosfera;

$L^* a$  = radiância retroespalhada na atmosfera; e

$A$  e  $B$  = coeficientes que dependem das condições geométricas e atmosféricas.

Alguns parâmetros do MODTRAN-4 são obtidos no metadados da cena como as informações sobre data, hora de aquisição da imagem, resolução do pixel, coordenadas da cena, e altitude, zênite e azimute do sensor. Enquanto outros parâmetros, como a elevação do terreno, referem-se à área em estudo. Há também parâmetros que devem ser configurados entre as opções disponíveis, como modelo atmosférico e o modelo de aerossóis típico da atmosfera. Para este estudo foram adotados, como modelo atmosférico, o Tropical e, como modelo de aerossóis, o Rural, pois na área de estudo predomina a cobertura florestal intermediada por culturas agrícolas com reduzida área edificada. Os parâmetros, como recuperação de aerossóis (*Aerosol Retrieval*) e coluna de água (*Water Column Multiplier*), mantiveram com o padrão do algoritmo, devido às características do sistema RapidEye, que não possui a banda do vapor d'água e informações sobre recuperação de aerossóis no metadados.

Por fim, para analisar os resultados das imagens corrigidas, foram construídas curvas espectrais com valores de reflectância obtidos nas cinco bandas espectrais corrigidas pelos dois modelos, correspondentes aos seguintes alvos: água límpida, água turva, vegetação rasteira, lavoura temporária, vegetação densa localizada em encostas direcionadas para o norte e vegetação densa localizada em encostas direcionadas para o sul.

As curvas foram comparadas aos valores de reflectância do Topo da Atmosfera (TOA), obtidos através da razão entre a radiância, registrada pelo sensor sem correção atmosférica, e a irradiância, considerando somente à distância do sol e a geometria da radiação solar de acordo com a Equação 3 (BLACKBRIDGE, 2015).

$$REF(i) = RAD(i) * ((\pi * SunDist^2) / (EAI(i) * \cos(SolarZenith))) \quad (3)$$

onde:

REF: reflectância;

RAD: radiância;

SunDist: distância entre a Terra e o sol no dia da aquisição da imagem;

EAI: irradiância exoatmosférica; e

SolarZenith: zênite solar.

### 3. Resultados

Os resultados da aplicação dos modelos de correção atmosférica estão representados na Figura 2, mostrando o recorte da cena correspondente aos números digitais originais e reflectância oriundas do TOA, DOS e MODTRAN. Em uma análise visual da composição colorida 321, não se observam diferenças significativas entre as composições das bandas do visível derivadas dos modelos de correção e a imagem do TOA, no entanto é notória a diferença entre a imagem original e as corrigidas.

Os valores de reflectância dos alvos de referência obtidos nas imagens corrigidas estão apresentados nos gráficos da Figura 3. As curvas espectrais geradas são semelhantes ao comportamento espectral esperado dos alvos. As curvas da água nas Figuras 3 (a) e (b) apresentaram os menores valores de reflectância entre os alvos analisados. Na água límpida, a faixa do visível apresenta uma elevação de reflectância na faixa do verde e vermelho, com uma queda nas faixas do vermelho de borda e do infravermelho. Enquanto na água turva, o comportamento é inverso, ou seja, verifica-se elevação dos valores a partir do vermelho de borda, semelhante à curva da vegetação, o que pode estar associado à presença de fitoplacton no corpo d'água (MANTOVANI, 1993).

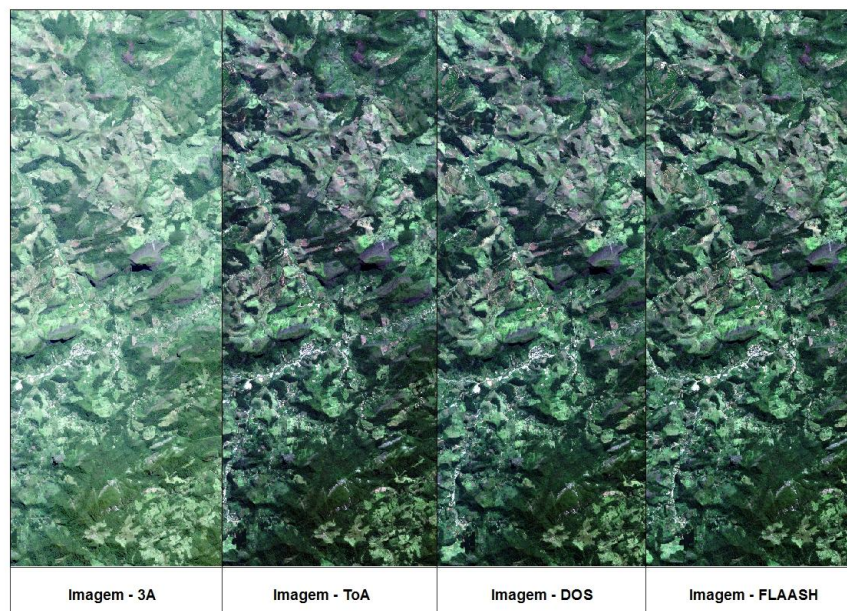


Figura 2: Comparação entre as composições RapidEye 321 original e as corrigidas por modelos atmosféricos.

Entre as curvas da vegetação na Figura 3 (c) a (f), os valores de reflectância são menores na vegetação densa localizada nas encostas sul, enquanto a reflectância é maior, entre todas as curvas, na vegetação densa localizada em encostas direcionadas para o norte, iluminadas no momento de obtenção da cena e caracterizada por ser uma vegetação menos úmida do que as localizadas nas encostas sul.

Na análise das curvas, verifica-se que a reflectância do TOA na faixa do azul (banda 1) possui valores mais elevados em relação às duas curvas. Esse comportamento está relacionado à presença de aerossóis e vapor d'água na atmosfera que espalham radiação da faixa do azul (NOVO, 2010), chegando mais radiação ao sensor. Em geral, o comportamento da curva do TOA se repete nas faixas do visível verde (banda 2) e vermelha (banda 3), ou seja, apresenta valores mais elevados. Ponzoni e Shimabukuro (2010) afirmam que esses valores são superiores, devido ao espalhamento da radiação eletromagnética causada interferência atmosférica que é compensada pelos modelos de correção atmosférica.

Comparando as curvas espectrais, verifica-se comportamento semelhante nas faixas do verde (banda 2) e do vermelho (banda 3) onde a reflectância apresenta valores próximos nos alvos das imagens derivadas dos modelos de correção atmosférica (DOS e MODTRAN) e superiores na imagem do TOA. Isto ocorre, como já colocado, devido ao fato do espalhamento atmosférico ser dominante na faixa do visível (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010), sendo fenômeno considerado nos dois modelos utilizados.

A faixa do vermelho de borda (banda 4) apresentou valores próximos em todos alvos analisados nas curvas correspondentes à reflectância do TOA e derivadas do MODTRAN, enquanto os valores das imagens derivadas do DOS foram menores. Possivelmente, este fato pode estar associado ao menor espalhamento da radiação na faixa correspondente ao vermelho de borda, que apresenta maior comprimento de onda entre as bandas do visível, reduzindo o efeito de espalhamento (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; NOVO, 2010). Desta forma, os valores derivados do DOS ficaram menores, pois os valores dos objetos escuros foram subtraídos de todas as bandas.

Na faixa do infravermelho próximo (banda 5), os valores de reflectância dos alvos nas curvas referentes ao MODTRAN foram as mais elevadas. Este fato pode ser explicado pela absorção da respectiva faixa espectral pelos componentes (vapor d'água) da atmosfera

(PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; NOVO, 2010), o que não é compensado pelo DOS, pois este modelo considera apenas a contribuição aditiva da atmosfera na intensidade do sinal registrado pelo sensor, e não a intensidade de energia que foi absorvida pela atmosfera, que deve ser adicionada pelo modelo de correção atmosférica. Por outro lado, como o MODTRAN corresponde a um modelo que simula interação da radiação a atmosfera, este fenômeno é considerado.

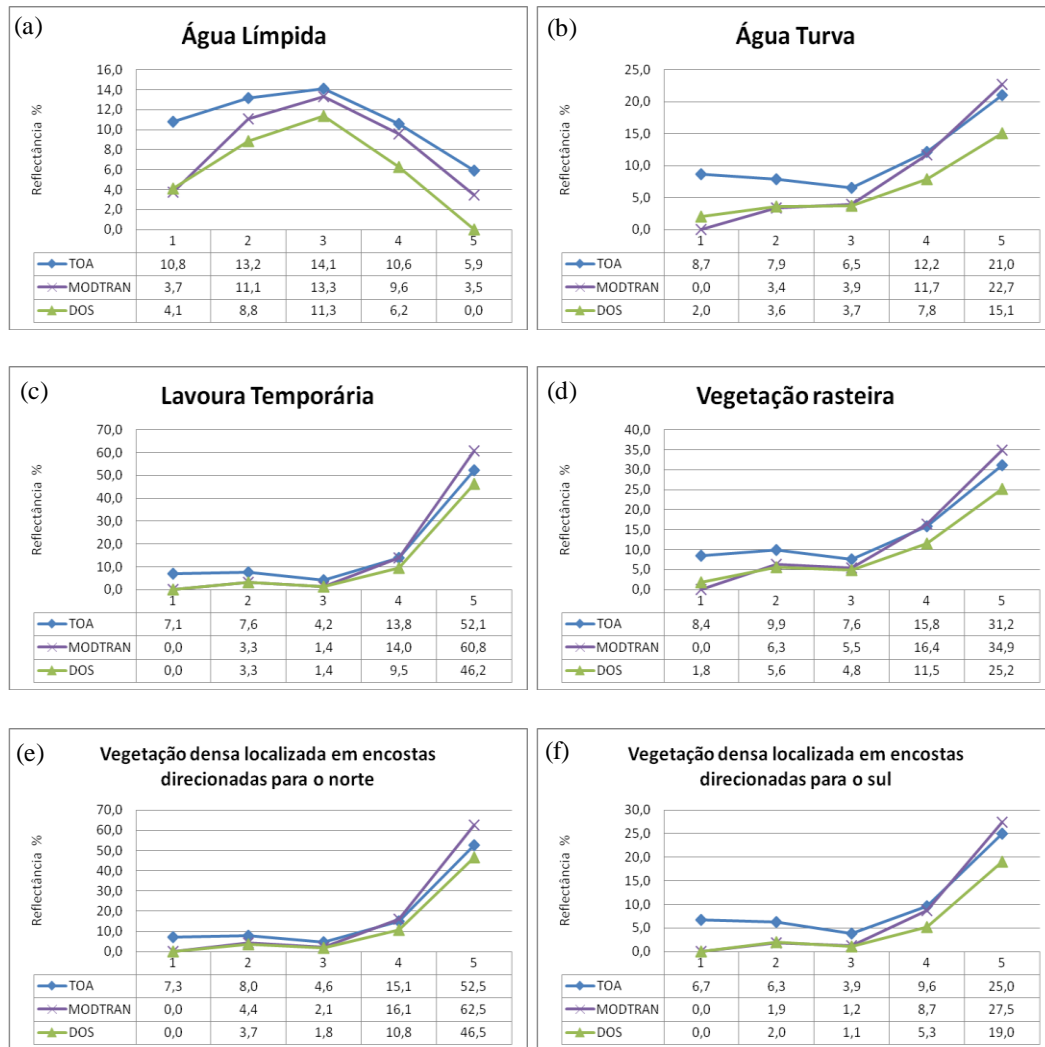


Figura 3: Comparação entre as curvas espectrais obtidas em imagens derivadas de modelos de correção.

#### 4. Conclusões

O presente trabalho avaliou os resultados da correção atmosférica na cena do sistema RapidEye utilizando o modelo empírico DOS e o modelo de transferência radiativa MODTRAN. Os resultados foram comparados aos valores de refletância do TOA através das curvas espectrais de alvos de referência.

Foi possível observar diferença entre aos dados de reflectância do TOA, sem correção atmosférica, e do DOS e MODTRAN, com correção atmosférica. Na faixa do visível, os valores do TOA ficaram mais elevados, pois, nesta região, predomina na atmosfera o espalhamento da radiação com menor comprimento de onda por pequenas partículas. Desta forma, os valores de reflectância das imagens com correção atmosférica ficaram menores, pois os modelos corrigiram este efeito. No entanto, nas bandas do vermelho de borda e

infravermelho próximo, os valores de reflectância derivados do MODTRAN ficaram mais elevados, pois a absorção pela atmosfera nesta faixa espectral é mais significativa do que o espalhamento. Desta forma, a correção atmosférica MODTRAN acarretou no aumento do valor da reflectância, enquanto o DOS, como considera apenas o fenômeno de espalhamento, não compensou absorção.

Com os resultados obtidos, verifica-se que o modelo DOS adotado é eficiente na região do visível, pois a diferença entre os valores de reflectância entre ele e o modelo de correção radiativa não é significativa. Enquanto nas bandas do vermelho de borda e infravermelho próximo, a diferença dos valores de reflectância derivados dos modelos de correção é significativa e, sendo assim, é necessário adotar outros modelos que considerem a absorção atmosférica na correção de imagens desta região espectral.

## Referências

- Adler-Golden, S.M.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S.; Levine, R.Y.; Berk, A.; Richtsmeier, S.C.; Acharya, P.K.; Anderson, G.P.; Felde, G.W.; Gardner, J.A.; Hoke, M.L.; Jeong, L.S.; Pukall, B.; Ratkowski, A.; Burke, H.-H. Atmospheric correction for short-wave spectral imagery based on MODTRAN. In: SPIE Imaging Spectrometry, 5., **Proceedings ...** v. 3753, 9 p. 1999.
- Arias, H.A.; Zamora, R.M.; Bolaños, C.V. Metodología Para La Corrección Atmosférica de imágenes aster, rapideye, Spot 2 y landsat 8 con el módulo flaash Del software envi. **Revista Geográfica de América Central**. ISSN 1011-48X, n 53, pp. 39-59. 2014
- Blackbridge. Satellite imagery product specifications. Disponível em: <[blackbridge.com/rapideye/upload/RE\\_Product\\_Specifications\\_ENG.pdf](http://blackbridge.com/rapideye/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf)> Acesso em: 19 ago. 2016.
- Carvalho, A.A.; Baptista, G.M.M. Avaliação da Similaridade entre os métodos de Redução de Radiância para Reflectância de Superfície pelo método FLAASH e de Reflectância TOA numa Cena RapidEye. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Artigos. p, 6219-6226. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1303.pdf>> Acesso em: 13 ago. 2016.
- Chavez, J. 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.
- Dantas, M. E. **Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro**. In: Silva, L. C.; Cunha, H. V. S. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo domapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2001.
- EXELIS. Environment for Visualizing Images. Disponível em: <[http://www.harrisgeospatial.com/docs/using\\_envi\\_Home.html](http://www.harrisgeospatial.com/docs/using_envi_Home.html)>. Acesso set. 2016
- Felix, I. M.; Kazmierczak, M. L.; Espindola, G. M. Rapideye: A Nova Geração De satélites de Observação da Terra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos. p, 7619-7622. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.18/doc/7619-7622.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2016.
- Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p
- Latorre, M.; Carvalho Jr. O.A.; Carvalho, A.P.F.; Shimabukuro, Y.E. Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. **Espaço & Geografia**, v. 5, ISSN: 1516-9375, p. 153-178, 2002.
- Mantovani, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e matéria orgânica particulada**. 1993. 119p. (INPE-5683-TDI/569). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2010. 308p.  
Ponzoni; F.J.; Shimabukuro, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 144 p.

Song, C.; Woodcock, C.E.; Seto, K.C.; Pax-Lenney, M.; Macomber, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 230-244, 2001.

Zullo-Junior, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 189p. (UNICAMP). Tese Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1994.