

Modelo de correção atmosférica e subtração de nuvens cirros em imagens do OLI Landsat 8

Mauro Antonio Homem Antunes¹
Isadora Ferreira Bolpato^{1,2}

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Inst. de Tecnologia/Dep. de Engenharia - 23897-000 - Seropédica- RJ, Brasil

²Bolsista de iniciação científica/PIBIC-CNPq
homemantunes@gmail.com
isadora.bolpato@hotmail.com

Abstract. Cirrus clouds affect downward and upward radiant fluxes, thus affecting the quality of satellite images of the surface. Atmospheric and cirrus correction are necessary to obtain more reliable information from the Earth surface. The objective of this paper is to present and evaluate a model that corrects for atmospheric effects and remove cirrus clouds from the images of OLI Landsat 8 sensor. Images from two dates were used in this research. Field observation of horizontal visibility and cirrus presence were conducted at the same time of satellite overpass. Cirrus reflectance was calculated using the model, which was subsequently used to correct for the atmospheric effects and to remove cirrus from the images. Surface reflectance was generated using the implemented model and images of apparent and surface reflectance were compared. Results show that the corrected images were sharper than the non-corrected images. In the visible the images became darker as the scattering is more significant than the absorption of the flux in the path from surface to the sensor. On the other hand, in the near and mid infrared the images became brighter as the absorption by the atmosphere is more significant. It is concluded that the model is capable of correcting for atmospheric effects and for eliminating cirrus from the OLI Landsat 8 images.

Palavras-chave: surface reflectance, radiative transfer, image processing, reflectância da superfície, transferência radiativa, processamento de imagens.

1. Introdução

Cirros são nuvens que se formam nas camadas superiores da troposfera em temperaturas abaixo de -40°C e são compostas por cristais de gelo (Hallett et al., 2002). Em condições tropicais ocorrem em altitudes que variam de 6 a 18 km. Por terem uma distribuição espacial heterogênea no céu afetam diferentemente as diversas partes das imagens obtidas por sensores remotos.

Imagens de satélites têm sido utilizadas para descrever a distribuição espacial de nuvens cirros (Dessler e Yang, 2003, Baran e Francis, 2004, Yang et al, 2015). Entretanto, sob a perspectiva do sensoriamento remoto da superfície, estas nuvens constituem em um problema, pois diminuem o contraste entre alvos presentes na imagem e sua distribuição espacial heterogênea torna difícil a sua eliminação das imagens. Além disso, as nuvens cirros causam mudanças na resposta espectral dos alvos registrada pelos sensores.

Para facilitar a espacialização das nuvens cirros o sensor OLI do Landsat 8 teve uma banda adicionada fora de janela atmosférica (Tabela 1) e que permite especializar as nuvens cirros no momento da tomada das imagens (Roy et al, 2014). No entanto, para a efetiva correção e subtração das nuvens cirros é necessária a aplicação de modelos de transferência radiativa, a fim de que se obtenha os valores de reflectância da superfície. Deste modo, o objetivo deste artigo é a apresentação e a avaliação de um modelo de transferência radiativa para a correção atmosférica e a subtração de nuvens cirros de imagens OLI do Landsat 8.

1.1 Modelo de correção atmosférica e remoção de nuvens cirros

A reflectância da superfície é obtida através de modelos de transferência radiativa considerando-se a irradiância transmitida até a superfície e a transmitância através dos gases e total através da atmosfera desde o alvo até o sensor. Assim a reflectância da superfície é dada por (Vermote et al., 1997b):

$$\rho_a(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V) = \frac{\frac{\rho_i^*(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{T_g} - \rho_a(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{T(\theta_S) T(\theta_V)} \quad (1)$$

$$1 + \left[\frac{\frac{\rho_i^*(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{T_g} - \rho_a(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{T(\theta_S) T(\theta_V)} \right]_s$$

Onde:

θ_S , θ_V , $\phi_S - \phi_V$ são respectivamente os ângulos zenital solar e de visada e a diferença entre azimute solar e de visada, ρ_i^* é a reflectância aparente, ρ_a é a reflectância intrínseca da atmosfera, T_g é a transmitância através dos gases da atmosfera, $T(\theta_S)$ a transmitância total na direção solar, $T(\theta_V)$ é a transmitância total na direção de visada e S é o albedo da superfície. O modelo que calcula os parâmetros atmosféricos para a correção atmosférica foi implementado por Vermote et al (1997a) no modelo 6S. Este foi adaptado para a correção atmosférica de imagens OLI (Atmcor4OLI) (Antunes e Debiasi, 2015).

Para a remoção de efeitos de nuvens cirros, este modelo foi modificado através da seguinte equação:

$$\rho_a(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V) =$$

$$\frac{\frac{\rho_i^*(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{T_g} - [\rho_a(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V) + \rho_C(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)]}{\frac{[T(\theta_S) - \bar{\rho}_C][T(\theta_V) - \rho_C(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)]}{1 + \left[\frac{\frac{\rho_i^*(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{T_g} - \rho_a(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)}{[T(\theta_S) - \bar{\rho}_C][T(\theta_V) - \rho_C(\theta_S, \theta_V, \phi_S - \phi_V)]} \right]_s}} \quad (2)$$

Onde:

ρ_C é a reflectância corrigida das nuvens cirros para a banda 9 e $\bar{\rho}_C$ é a reflectância corrigida média das nuvens cirros de uma área da imagem. Esta reflectância média é obtida para corrigir a irradiância transmitida do topo da atmosfera até a superfície, assumindo-se que o espalhamento causado pelas nuvens cirros é próximo do isotrópico.

Neste modelo assume-se que a absorção pelas nuvens cirros é nula e a transmitância é igual a um menos a reflectância das nuvens cirros corrigida ($1 - \rho_C$). Esta suposição decorre do fato de que a reflectância de nuvens cirros é bastante baixa e a transmitância próxima de 1, conforme observações feitas por Finger et al (2016) a partir de aeronave. Este modelo foi implementado nos mesmos moldes da correção atmosférica, sendo denominado Atmcor4CirrosOLI.

2. Metodologia

Imagens OLI do Landsat 8 de duas datas foram obtidas e importadas para o software SPRING (Câmara et al, 1996). Depois foram exportadas em formato RAW para a realização das operações de processamento. Primeiramente, a banda 9 foi

corrigida para os efeitos atmosféricos utilizando o Atmcor4OLI e considerando uma altitude média das nuvens cirros de 12 km e uma visibilidade horizontal de 60 km. Este processamento teve a finalidade de determinar a reflectância das nuvens cirros e a média de reflectância ($\overline{\rho_C}$) foi obtida para uma área de 120 por 120 km² no entorno do ponto de observação de campo. Posteriormente, a imagem de reflectância cirros foi utilizada para corrigir pixel a pixel as bandas 1 a 7 do sensor OLI, gerando imagens em real de 32 bits com reflectância da superfície variando de 0 a 1. A Tabela 2 mostra as datas das imagens e as características atmosféricas utilizadas no processamento.

Tabela 1. Características do sensor OLI.

Resolução espectral (FWHM)*	Banda 1 – azul: 0,43-0,45 μm Banda 2 – azul: 0,45-0,51 μm Banda 3 – verde: 0,53-0,59 μm Banda 4 – vermelho: 0,64-0,67 μm Banda 5 – infravermelho próximo: 0,85-0,88 μm Banda 6 – infravermelho médio: 1,57-1,65 μm Banda 7 – infravermelho médio: 2,11-2,29 μm Banda 8 – pancromática: 0,50-0,68 μm Banda 9 – cirros: 1,36-1,38 μm
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução temporal	16 dias
Resolução espacial	30m (15m pan)

* Full width at half maximum (largura à meia altura da sensibilidade máxima).

Fonte: Roy et al (2014).

Tabela 2. Parâmetros de entrada usados no modelo Atmcor4OLI e Atmcor4CirrosOLI.

Característica	Imagens do OLI Landsat 8	
Órbita/Ponto	217/076	
Data das imagens	04/07/2014	13/10/2016
Horário UTC decimal do centro da cena	12,863421	12,872002
Modelo dos gases	Tropical	
Modelo de aerossóis	Continental	
Longitude do centro da cena	-43,4155675	
Latitude do centro da cena	-23,11149	
Altitude média da região de interesse	250 m	
Distância Sol-Terra (Unidades Astronômicas)	1,0166809	0,9975206
Elevação solar	34,8401283°	60,2132554°
Visibilidade horizontal	11 km	12,5 km

Os dados de visibilidade horizontal foram obtidos a campo através da visualização de alvos a distância conhecida. As observações de campo permitiram também registrar a presença de nuvens cirros. As imagens foram comparadas através de comparação visual, além de análises dos dados estatísticos e da resposta espectral de alvos específicos.

3. Resultados e Discussões

As imagens processadas foram importadas no software SPRING para as análises e comparações entre as imagens corrigidas de reflectância aparente. Figura 1 mostra a reflectância das nuvens cirros obtidas da correção atmosférica da banda 9. Observa-se nesta imagem uma grande quantidade de nuvens cirros inclusive com o cruzamento de duas linhas que aparentemente são rastros deixados por aviões devido à condensação de vapor de água das turbinas.

A Figura 2 mostra o arranjo de bandas em cor natural (RGB432). A correção atmosférica diminuiu o brilho geral da imagem, já que nesta faixa espectral a contribuição do espalhamento é muito maior do que absorção pela atmosfera, além de que a retirada da contribuição das nuvens cirros diminuiu ainda mais o brilho da imagem.

Na combinação de cores RGB456 (Figura 3) a imagem corrigida aumentou o brilho em geral, uma vez que nestas bandas a contribuição da absorção se torna bastante significativa, embora para a banda 4 possa haver um balanço entre absorção e espalhamento para a visibilidade observada a campo.

As estatísticas das imagens mostram que as imagens corrigidas tiveram desvio padrão maiores do que as imagens não corrigidas para todas as bandas. O coeficiente de variação foi maior para a maioria das bandas corrigidas, sendo que as maiores diferenças ocorreram nas bandas do visível. Já a média dos valores de reflectância tendeu a ser menor para as bandas do visível do que para as bandas do infravermelho, com exceção da banda 5 da imagem de 2016.

Através das curvas espectrais de alvos conhecidos (não mostrados aqui) também pode-se verificar que as imagens corrigidas representaram melhor a resposta espectral destes alvos.

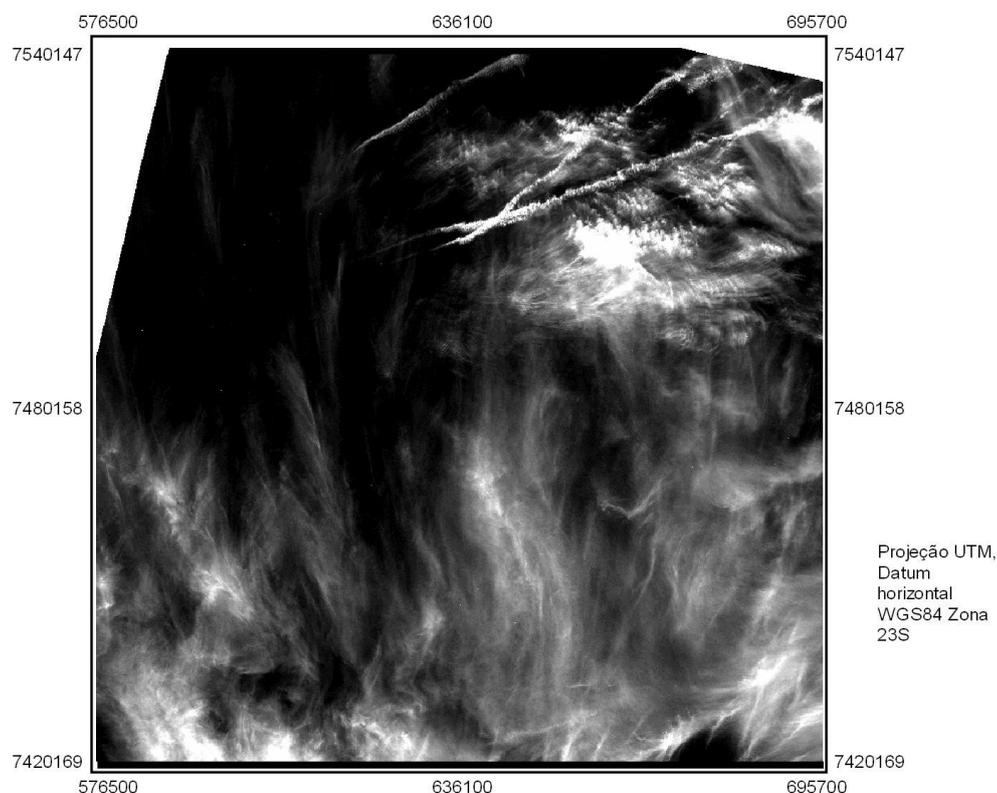


Figura 1. Banda 9 corrigida para os efeitos atmosféricos para a imagem de 04/07/2014 com contraste. Visibilidade de 60 km e altitude do alvo de 12 km.

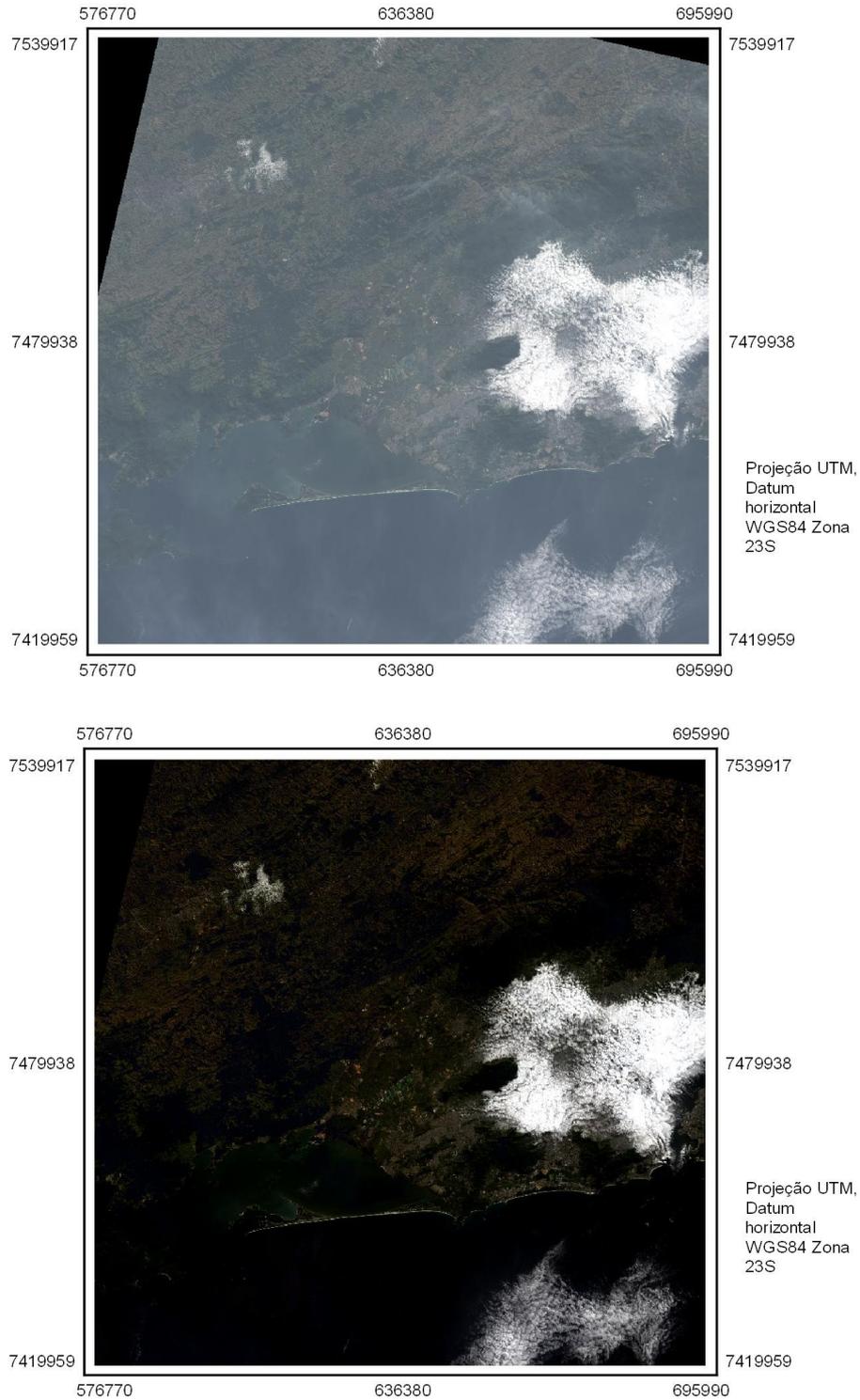


Figura 2. Imagem de reflectância aparente e de reflectância da superfície para a data de 04/07/2014, na composição RGB432 (faixas do vermelho, verde e azul).

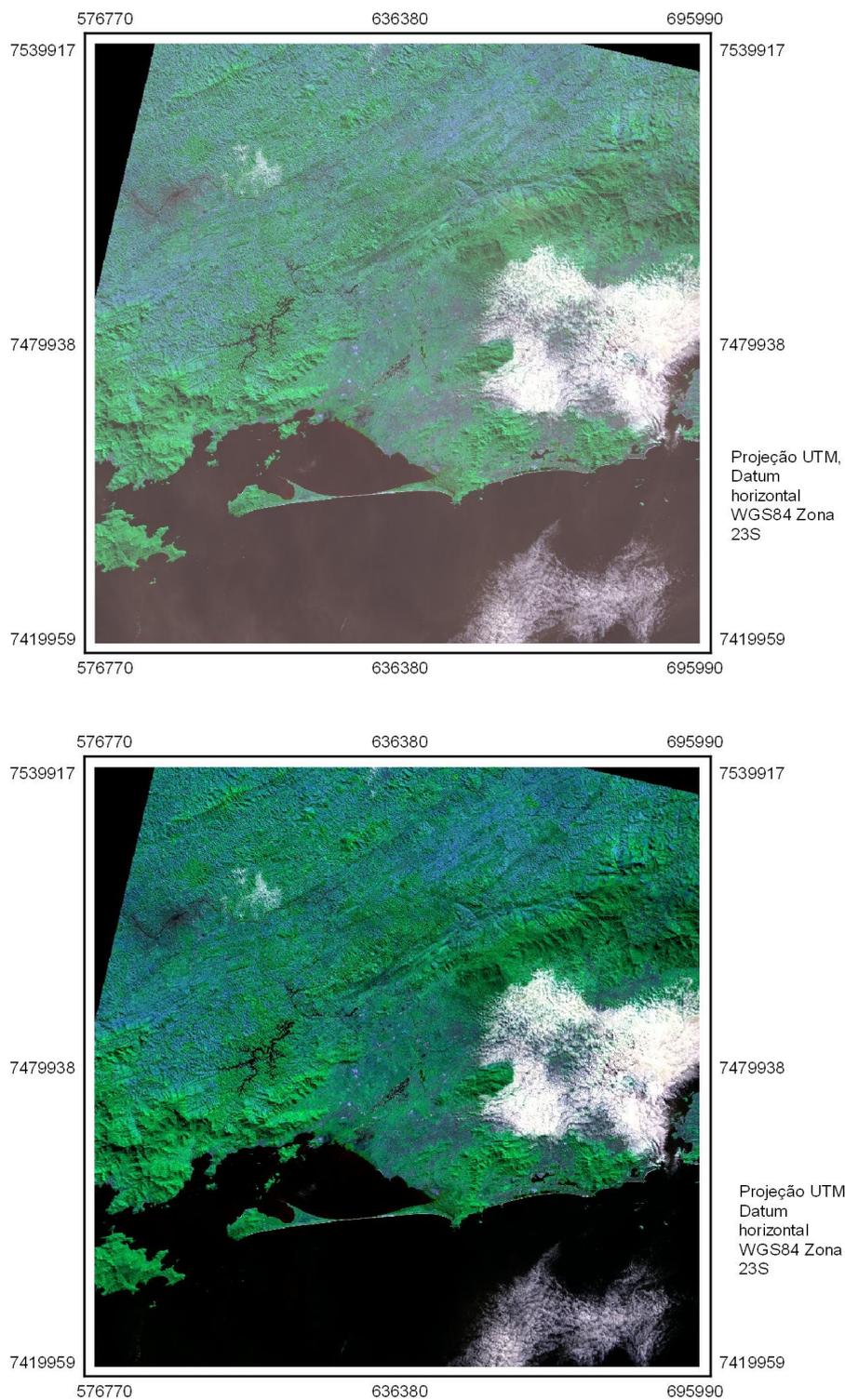


Figura 3. Imagem de reflectância aparente e de reflectância da superfície para a data de 04/07/2014, na composição RGB456 (faixas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio).

Tabela 3. Estatísticas das imagens de reflectância aparente e de reflectância da superfície.

Banda OLI	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
Reflectância aparente			Reflectância da superfície			
04/07/2014						
1	0.0894	0.0520	0.5821	0.0541	0.1190	2.2017
2	0.0767	0.0536	0.6980	0.0516	0.1210	2.3462
3	0.0611	0.0532	0.8701	0.0603	0.1225	2.0309
4	0.0524	0.0577	1.1009	0.0639	0.1260	1.9712
5	0.1145	0.0839	0.7331	0.2146	0.1691	0.7883
6	0.0799	0.0741	0.9275	0.1546	0.1441	0.9322
7	0.0480	0.0568	1.1831	0.0973	0.1128	1.1593
Reflectância aparente			Reflectância da superfície			
13/10/2016						
1	0.1402	0.0701	0.4997	0.0359	0.1006	2.8048
2	0.1242	0.0723	0.5826	0.0408	0.0982	2.4078
3	0.1066	0.0728	0.6830	0.0570	0.1026	1.8004
4	0.0946	0.0782	0.8271	0.0587	0.1093	1.8620
5	5.2879	0.1193	0.0226	0.2055	0.1663	0.8094
6	0.1431	0.1029	0.7195	0.1538	0.1343	0.8734
7	0.0921	0.0767	0.8332	0.0917	0.1001	1.0919

4. Conclusões

As imagens corrigidas para os efeitos da atmosfera e para as quais foram removidas as nuvens cirros ficaram aparentemente mais nítidas do que aquelas que continham a reflectância aparente. As estatísticas das imagens bem como a análise dos gráficos da resposta espectral de alvos mostrou que o modelo proposto foi eficiente para a correção atmosférica e a remoção de nuvens cirros das imagens OLI analisadas neste trabalho. Com base nos resultados obtidos, recomenda-se a utilização deste modelo para a correção dos efeitos atmosféricos e para a remoção de nuvens cirros das imagens do OLI Landsat 8.

5. Referências Bibliográficas

Antunes, M.A.H.; Debiasi, P. OLI image atmospheric correction sensitivity to altitude, visibility and acquisition geometry. In: **2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS 2015**, Milan, p. 2245-2248, 2015.

Baran, A.J.; Francis, P.N. On the radiative properties of cirrus cloud at solar and thermal wavelengths: A test of model consistency using high-resolution airborne radiance measurements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 130, n. 598, p. 763-778, abr. 2004.

Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling, **Computers & Graphics**, vol. 20, pp. 395-403, 1996.

Dessler, A. E.; Yang, P. The Distribution of Tropical Thin Cirrus Clouds Inferred from Terra MODIS Data. **Journal Of Climate**, v. 16, n. 8, p.1241-1247, abr. 2003.

Finger, F.; Werner, F.; Klingebiel, M.; Ehrlich, A.; Jakel, E.; Voigt, M.; Borrmann, S.; Spichtinger, P.; Wendisch, M. Spectral optical layer properties of cirrus from collocated airborne measurements and simulations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 16, n. 12, p.7681-7693, 23 jun. 2016.

Hallett, J.; Arnott, W.P.; Bailey, M.P.; Hallett, J.T. (Ed.) **Cirrus**. Oxford: Oxford University Press, 2002. 504 p.

Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., C.E., Woodcock, Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z.P., Lymburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R.H., Zhu, Z., Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research, **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014.

Vermote, E.F.; Tanré, D.; Deuzé, J.L.; Herman, M.; Morcrette, 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, mai. 1997a.

Vermote, E.; Tanré, D.; Deuzé, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S). **6S User Guide Version**, 2 jul. 1997b.

Yang, P.; Liou, K. N.; Bi, L.; Liu, C.; Yi, B. Q.; Baum, B. A. On the radiative properties of ice clouds: Light scattering, remote sensing, and radiation parameterization. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 32, n. 1, p. 32-63, jan. 2015.