

Avaliação da correção atmosférica por FLAASH sobre cenas OLI Landsat-8

David Guimarães Monteiro França¹
Sacha Maruã Ortiz Siani¹
Elizabeth Caria Moraes¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{davidgmf, sacha, bete}@dsr.inpe.br

Abstract. In order to take advantage of remote sensed data obtained from orbital sensors, one must take into account the presence of suspended particulate matter in the atmosphere like water vapor and aerosols and its influence over the data, for that reason, atmospheric correction algorithms like FLAASH were developed. With that in mind, the present paper aims to analyze and access the atmospheric corrected reflectance data of two OLI Landsat-8 scenes, comparing the reflectance spectrum obtained from its bands with *in situ* measures in clear sky conditions. The field data was obtained from a spectroradiometer FSP-2500P over a homogeneous area in the whereabouts of the rural region of Sao Jose dos Campos that measures roughly 500m². Through this research, it was possible to perceive a strong presence of suspended particulate matter in the atmosphere derived from the urban zone and the industries that surrounds the region of interest. Even so, the atmospheric correction algorithm was able to implement a satisfactory correction over the data, but it also overestimated the reflectance on bands one (Coastal aerosol) and five (Near infrared) for some targets. As a conclusion, the FLAASH algorithm is not suited for tasks that need high precision, but with a fine tune, it can still be implemented for academic use.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, radiação eletromagnética, correção atmosférica, FLAASH, remote sensing, electromagnetic radiation, atmospheric correction.

1. Introdução

A radiação eletromagnética (REM) é emitida pelo Sol, que se propaga pelo vácuo a velocidade da luz, incide no topo da atmosfera terrestre e sofre atenuações pelos processos de espalhamento e absorção seletivas (JENSEN, 2009) ao se propagar na atmosfera até chegar a superfície da Terra.

O espalhamento é um processo físico que resulta da interferência das ondas eletromagnéticas por gases e partículas existentes na sua trajetória, ao penetrarem na atmosfera terrestre (MOREIRA, 2007; VIANELLO e ALVES, 2000). A intensidade e a direção do espalhamento estão diretamente relacionadas a razão entre os diâmetros dos elementos presentes na atmosfera e o comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente.

Absorção é o processo pelo qual a energia radiante é absorvida e convertida em outras formas de energia (JENSEN, 2009). Quando a soma da energia espalhada com a energia transmitida é menor do que a energia incidente, diz-se que houve absorção da REM. Enquanto o espalhamento atmosférico da radiação solar é uma função contínua do comprimento de onda e do tamanho dos elementos que constituem a atmosfera, a absorção é, geralmente, seletiva sendo o vapor d'água e ozônio os principais gases radiativamente seletivos presentes na atmosfera que atenuam a radiação solar, enquanto que estes, o gás carbônico, metano, dióxido nitroso e clorofluorcarbono são absorvedores da radiação emitida pelos componentes da superfície terrestres (VIANELLO e ALVES, 2000).

Vale salientar que a grandeza efetivamente mensurada pelos sensores remotos é a radiância. Conforme demonstra a Equação 1, a radiância é uma grandeza radiométrica que descreve a distribuição da radiação no espaço, dada pela razão entre o fluxo radiante refletido ou emitido por unidade de área projetada e por unidade de ângulo sólido.

$$L_{\lambda} = \frac{d^2\phi_{\lambda}}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\omega} \quad (1)$$

Em condições de céu livre de nuvens, as influências atmosféricas decorrem da absorção e do espalhamento causados por gases e aerossóis (SLATER et al., 1983). Desta maneira pode-se supor ser possível inferir sobre os constituintes atmosféricos, por exemplo através de dados de sensoriamento remoto hiper/multiespectral.

Este estudo objetivou investigar os efeitos dos constituintes opticamente ativos presentes na atmosfera, sobre as medidas espectrais de um alvo genérico obtidas por sensoriamento remoto orbital, em uma região cuja a atmosfera possuía uma constituição particular, rica em aerossóis, poeira em suspensão além de poluentes industriais e urbanos. Para isso, obteve-se, *in situ*, dados do comportamento espectral dos alvos que compunham um pixel de duas cenas OLI Landsat-8, de forma a comparar os espectros obtidos em campo e em nível orbital, sendo estes, submetidos a correções atmosféricas pelo algoritmo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH), presente na plataforma ENVI.

2. Materiais e Métodos

Dados espectrais de campo foram adquiridos através de um espectroradiômetro FieldSpec PRO Full-Range (FSP-2500P) da fabricante norte-americana *Analytical Spectral Devices* (ASD). O espectroradiômetro detecta a radiância na faixa do espectro entre 350-2500 nm, com um intervalo entre amostras de 1 nm. Este espectroradiômetro apresenta uma óptica que proporciona um campo de visada instantâneo (IFOV) de 25°. Neste experimento utilizou-se a placa de Spectralon com reflectância aproximada de 100% para todo espectro solar, de forma a obter indiretamente a irradiância solar na superfície.

A área de estudo foi uma região específica ao sudeste do município de São José dos Campos, SP, Brasil (Figura 1). A região foi escolhida por apresentar uma superfície de aproximadamente 500 m² praticamente homogênea, composta predominantemente por vegetação gramínea.

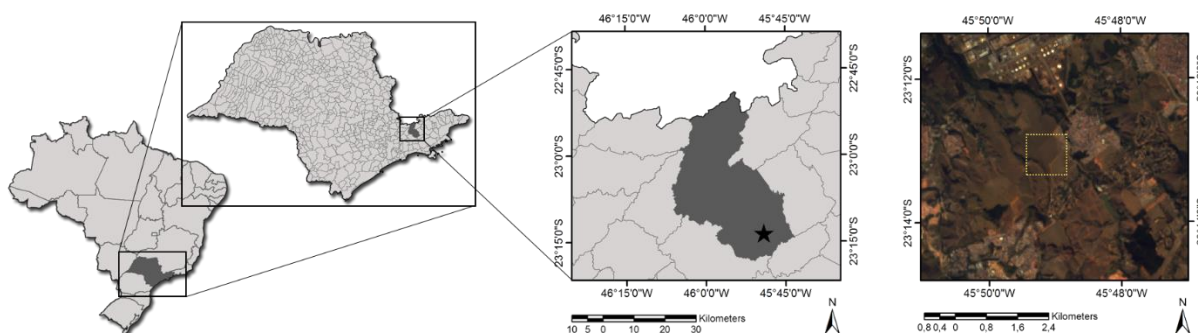


Figura 1 - Área de estudo em São José dos Campos-SP.

Foram coletadas três medidas, em quatro ângulos de visada diferentes, ao nadir (0°), 15°, 30° e 45°, para cada um dos alvos que compunham o pixel: gramíneas e solo exposto. Os espectros dos alvos *in situ* foram obtidos a uma altura de aproximadamente 1,2 m, com um IFOV de 25° (~2200 cm²). A cada três medidas, media-se a placa lambertiana de referência.

No processamento dos dados de campo, a qualidade de todos os espectros foi inspecionada e medidas suspeitas foram eliminadas. Obteve-se a média entre as três medidas de radiância de cada alvo e das três medidas das placas de Spectralon de referência. Através da razão entre estas médias, determinou-se o espectro da reflectância para os alvos gramínea e solo exposto. Posteriormente, foi realizada uma média da radiância dos dois alvos, ponderada pela área que ambos ocupavam no pixel estudado. Estimou-se que a superfície estudada era composta de 90% de gramíneas e 10% de solo exposto.

As características espectrais da superfície em estudo, tanto no nível de campo quanto orbital, foram obtidas no mesmo horário: aproximadamente 13:30 h (UTC) e em um intervalo

de nove dias. Utilizou-se os dados orbitais dos dias 03 e 12 de agosto de 2014, e o levantamento dos dados espectrais em nível de campo foi obtido no dia 07 de agosto de 2014. As condições climáticas dos dias em estudo e o escopo do projeto podem ser observados na Figura 2, sendo grifados em vermelho (Figura 2a) os dias do experimento de campo e a aquisição das cenas, de modo a favorecer os dias de céu limpo para maior compatibilidade entre os dados.

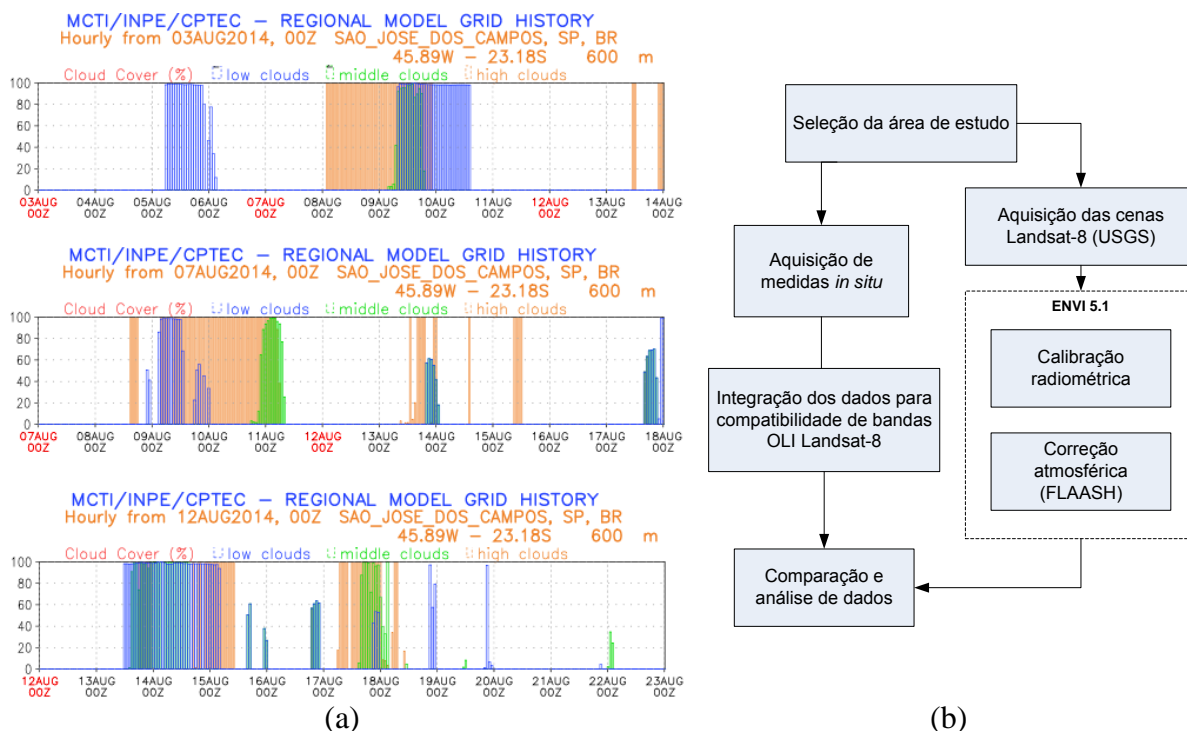


Figura 2 - (a) Meteograma demonstrando as condições meteorológicas da cidade de São José dos Campos-SP, para as datas de aquisição dos dados; (b) Fluxograma do plano de trabalho.

Foram utilizadas imagens do sensor orbital *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat-8. A cena 219/76 (Figura 3a) adquirida no dia 03/08/2014 às 13:04 h (UTC) e cena 218/76 (Figura 3b) adquirida no dia 12/08/2014 às 12:58 h (UTC) ao nadir. Os dados foram obtidos pelo banco de dados do *United States Geological Survey* (USGS).

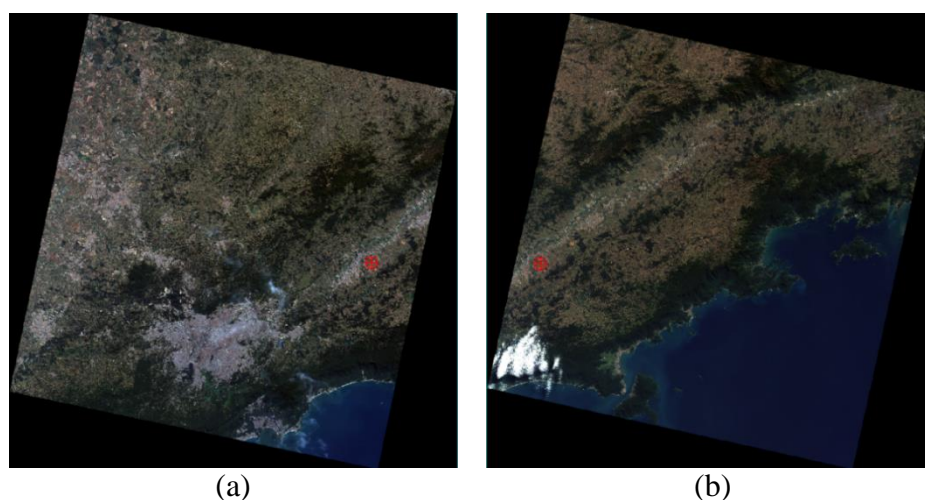


Figura 3 - Composição R(4) G(3) B(2) dos dados provenientes do sensor OLI Landsat-8. (a) cena 219/76 para o dia juliano 215; e (b) cena 218/76 para o dia juliano 224. Destaque em vermelho para a localização dos pixels utilizados no experimento.

O sensor OLI Landsat-8 registra medidas multiespectrais em resolução espacial moderada (15 metros para Banda 8 pancromática e 30 para as demais bandas) da superfície terrestre nas seguintes regiões espectrais: Banda 1 para aerossol costeiro de 0,43 a 0,45 μm ; Banda 2 do azul de 0,45 a 0,51 μm ; Banda 3 do verde de 0,53 a 0,59 μm ; Banda 4 do vermelho de 0,64 até 0,67 μm ; Banda 5 do infravermelho próximo (NIR) de 0,85 até 0,88 μm ; Banda 6 do infravermelho de ondas curtas (SWIR-I) de 1,57 até 1,65 μm ; Banda 7 do SWIR-II de 2,11 a 2,29 μm ; e Banda 9 para cirrus de 1,36 até 1,38 μm .

O Landsat-8 dá continuidade ao programa Landsat, que ocupa uma posição valiosa no sensoriamento remoto orbital, pois fornece o mais longo e consistente registro de observação terrestre por satélite. A nova plataforma apresenta avanços que incluem novas bandas em regiões espectrais que respondem a aerossóis e cirrus, duas bandas no termal, melhor desempenho sinal-ruído do sensor e melhor resolução radiométrica. Além disso, a livre disponibilidade dos dados da série Landsat proporcionam oportunidades para a análise da mudança terrestre em múltiplas escalas temporais (ROY et al., 2014).

Através do processo de calibração radiométrica presente no sistema ENVI 5.1 todas as bandas de ambas as cenas foram transformadas de números digitais (DN) para medidas de radiância no topo da atmosfera. Tal conversão só é possível para cenas que apresentam arquivos de metadados (MTL), possibilitando o processo presente na Equação 2 (EXELIS, 2014).

$$L_{\lambda} = \text{Ganho} * \text{DN do pixel} + \text{offset} \quad (2)$$

3. Resultados e discussão

O espectro de reflectância integrada dos alvos observados em campo (Figura 4a) é típico de uma vegetação seca, fato que também é observado nas feições visualizadas na cena do satélite, classe majoritariamente presente na composição da imagem. A Figura 4b permite uma comparação entre os espectros da reflectância característicos dos alvos de vegetação seca e solo (Clarck, 1999).

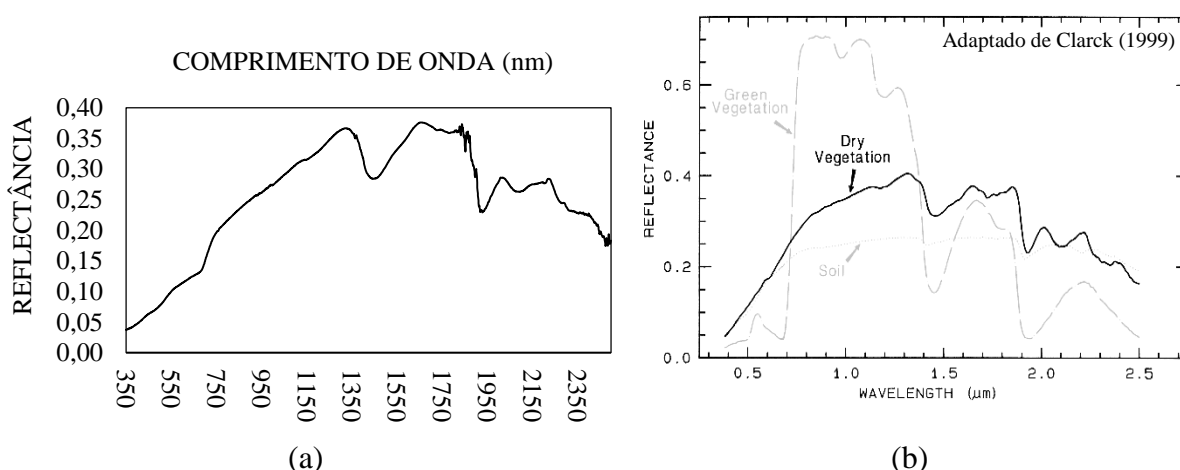


Figura 4 - (a) espectros da reflectância estimados para a área de estudo; (b) Comparação dos espectros de reflectância para solos e vegetação com ênfase na vegetação seca.

De forma a compatibilizar os dados orbitais em formato de número digital com o espectro de reflectância obtido *in situ* para a área de estudo, aplicou-se o procedimento de correção radiométrica presente na plataforma ENVI 5.1, pelo qual se obteve como *output*, os dados de radiância no topo da atmosfera. Este *output* foi utilizado como *input* para alimentar o algoritmo de correção atmosférica (FLAASH), que por sua vez, retornou como resultado as cenas finais corrigidas em valores de reflectância, simulando a contribuição da atmosfera. A

diferença nas bandas do visível são apresentadas como resultado em composição R(4) G(3) B(2) através da Figura 5, que apresenta os dados brutos (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 para os dias 215 e 224.

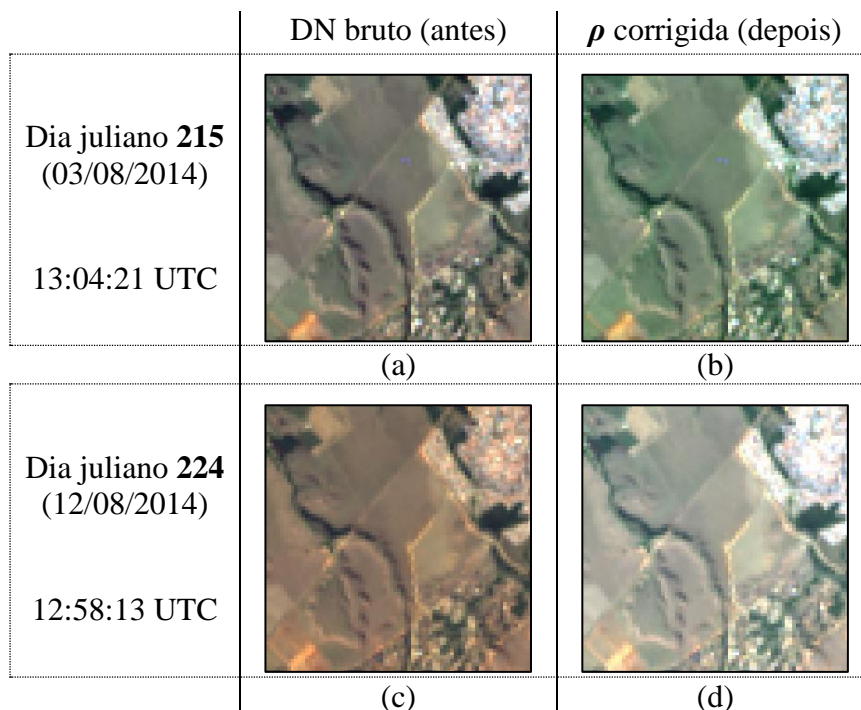


Figura 5 - Composição R(4) G(3) B(2) comparando os recortes da área de estudo das cenas 215 e 224 em número digital (DN) antes (a) e (c); e *output* após correção atmosférica por FLAASH (b) e (d), onde ρ representa reflectância de superfície.

A Figura 6 mostra uma comparação entre os espectros obtidos em campo integrados para as bandas do sensor orbital, e os espectros do sensor orbital.

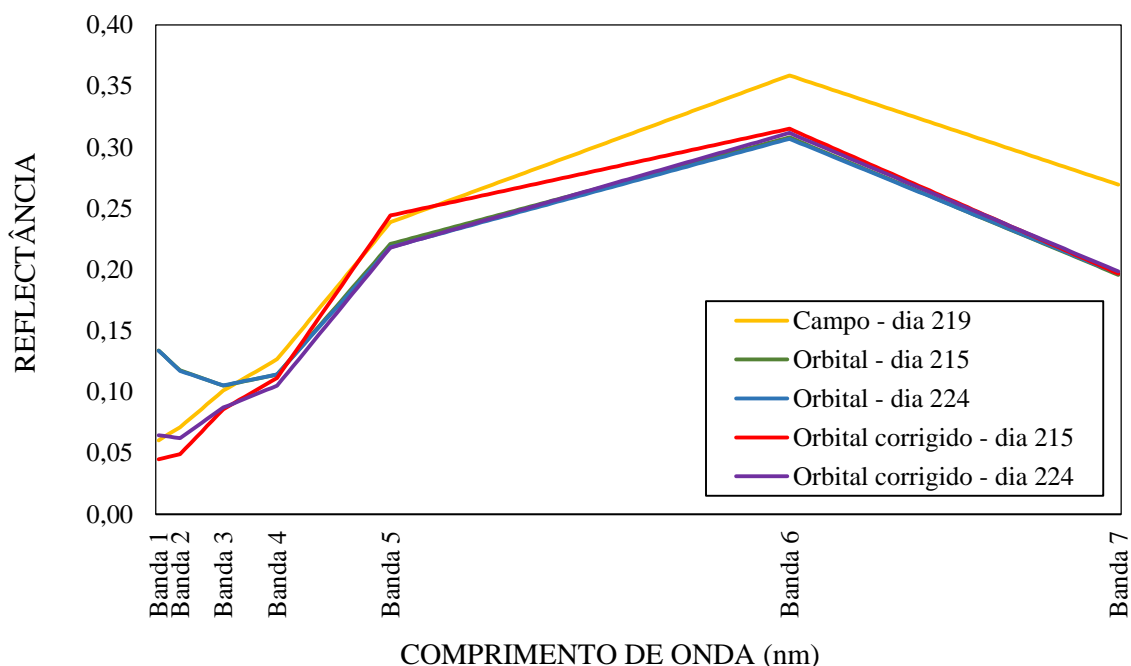


Figura 6 - Espectros de reflectância obtidos em níveis de campo e orbital (OLI) com e sem correção atmosférica através de FLAASH.

A partir dos espectros da reflectância obtidos, pode-se observar que os dados obtidos através de sensores orbitais, sem correção, nas diferentes datas e cenas, mas região geográfica (*pixel*) comum, apresentam feições e magnitudes muito próximas. Nota-se ainda que, antes da correção atmosférica, o *pixel* apresenta uma maior reflectância quando observado em nível orbital do que em nível de campo nas bandas 1 (443 nm), 2 (483 nm) e 3 (561 nm), que correspondem respectivamente à banda de aerossóis, azul, e verde do sensor OLI.

Segundo Iqbal (1983), a intensidade da atenuação atmosférica numa determinada faixa espectral é função de duas características principais: (1) dos tipos de gases e aerossóis que interagem nessa faixa espectral e (2) da quantidade desses gases e aerossóis presentes no caminho atmosférico atravessado pela REM na situação em estudo.

Vermote e Vermeulen (1999) estudaram influências nos valores de reflectância espectral causadas por variações na concentração dos constituintes atmosféricos interferentes nas faixas espectrais das bandas do sensor TM/Landsat-5. Os autores constataram que as maiores influências por espalhamento por gases e aerossóis ocorrem, em ordem decrescente, nas bandas TM1 (OLI2), TM2 (OLI3), TM3 (OLI4) e TM4 (OLI5).

Logo, tal comportamento pode ser atribuído em parte pela presença de aerossóis na atmosfera. A presença de aerossóis se justifica por dois fatores: (1) em escala regional, a área em questão situa-se em um eixo de intensa urbanização e industrialização entre as metrópoles São Paulo e Rio de Janeiro; (2) em escala local, a área estudada está locada próxima a uma estrada de terra, e de uma indústria de refinamento de petróleo, a REVAP (Figura 7), que claramente interferem na atenuação da radiação solar.

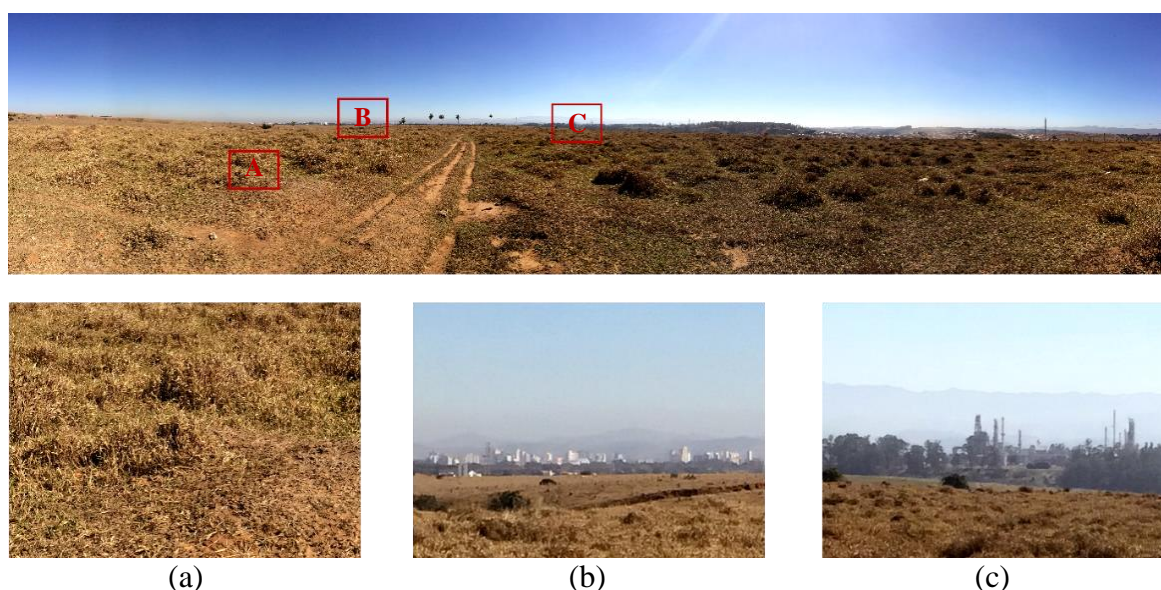


Figura 7 - Fotografia panorâmica da atmosfera na área de estudo, e destaques para (a) o alvo predominante, (b) região densamente urbanizada e a (c) REVAP ao fundo.

Entretanto, os aerossóis possuem grande variabilidade em seu tamanho, logo diferentes aerossóis provocam diferentes efeitos de espalhamento da radiação solar. O efeito observado foi de que a relação entre a resposta do espectro da reflectância em nível orbital e em nível de campo decresce exponencialmente com o aumento do comprimento de onda, conforme explicitado na Figura 8a (espalhamento seletivo).

Na presença de partículas de grandes dimensões (como a poeira da estrada de terra) o espalhamento que ocorre é neutro. Neste caso, todos os comprimentos de onda são substancialmente espalhados, ou seja, não seletivo, que não explica o comportamento observado.

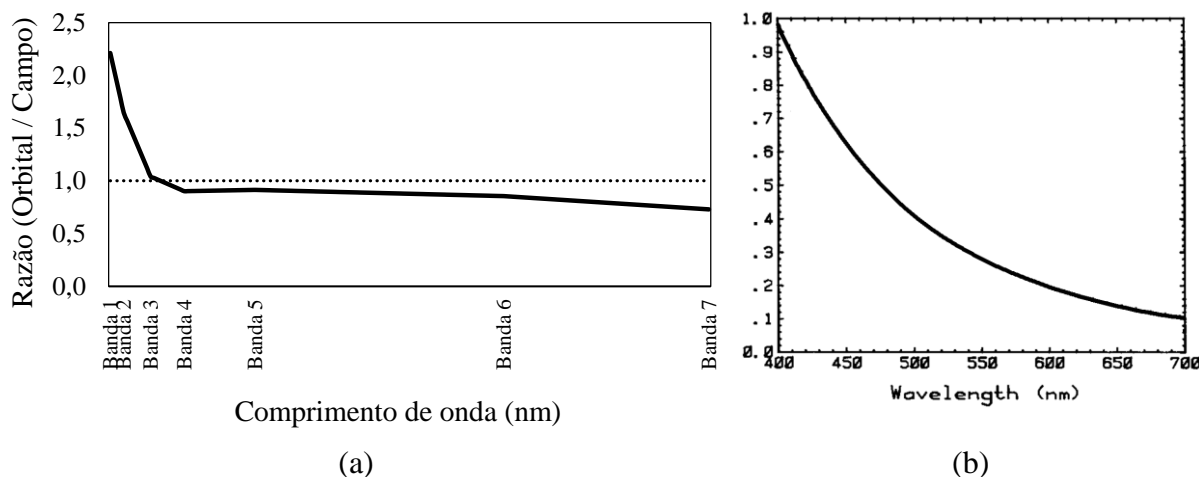


Figura 8 - (a) Razão entre a reflectância dos alvos da cena em nível orbital pela reflectância integrada obtida em campo; (b) Lei do espalhamento de Rayleigh. Fonte: Bohren (2007).

O comportamento da Figura 8a assemelha-se ao comportamento do espalhamento Rayleigh, demonstrado na Figura 8b. Segundo a Teoria de Rayleigh, em dias de céu limpo o espalhamento da radiação solar pelas moléculas que constituem o ar atmosférico (espalhamento molecular) é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Observa-se na Figura 8b que o espalhamento proporcionado pela atmosfera terrestre, assim como o observado em nossos resultados apresentados na Figura 8a, é inversamente proporcional ao comprimento de onda e esta relação é exponencial. Na faixa do visível do espectro, a radiação na região do violeta ao azul são as que sofrem maior espalhamento.

Analogamente, é possível supor que o espalhamento na trajetória Sol-superfície é causado por constituintes cujo diâmetro é menor que o comprimento de onda, responsáveis pelo espalhamento Rayleigh. Neste estudo os constituintes podem ser as moléculas de gases atmosféricos e químicos (oriundos das indústrias da região) e aerossóis de pequenas dimensões na atmosfera que são responsáveis por um incremento na resposta da reflectância espectral do pixel analisado, nas bandas OLI-1, OLI-2, e OLI-3.

Já na região do espectro compreendida entre as bandas 4 (655 nm - vermelho) e 7 (2200 nm - SWIR) observa-se que a relação se inverte, e a reflectância obtida em nível orbital apresenta um decréscimo em relação à adquirida em campo (Figura 8a). Esta observação pode ser atribuída a atenuações atmosféricas da radiação refletida pela superfície na trajetória superfície-sensor. Nesta região do espectro eletromagnético estão situadas algumas bandas de absorção atmosférica. Na região do infravermelho próximo, a atmosfera terrestre apresenta grande absorção, devido à presença de vapor d'água, entre outros componentes presentes em menores concentrações. As bandas de absorção mais importantes nesta região centram-se em 1400 nm e 1900 nm, referentes a absorção pelo vapor d'água presente na atmosfera conforme pode ser visualizado na Figura 10.

4. Conclusões

Para o dia 215 verificou-se que a correção atmosférica realizada proporcionou uma boa aproximação da reflectância estimada por satélite daquela considerada como verdade terrestre, principalmente na faixa do espectro visível e NIR. Isto indica que o FLAASH representa satisfatoriamente o efeito de espalhamento de Rayleigh e o de Mie, que dominam o processo de atenuação destas bandas.

Considerando ainda que a área de estudo está disposta na extremidade de ambas as cenas obtidas (Figura 3), pode-se concluir que a posição de um alvo em relação à cena do sensor OLI-Landsat 8 não exerce grande influência em sua resposta espectral, caracterizando

determinados gases e aerossóis como mais suscetíveis a provocar influência na resposta espectral por absorção e espalhamento de REM no percurso pela atmosfera, variando conforme a faixa espectral em estudo.

Nesta abordagem procurou-se investigar de maneira exploratória os efeitos dos constituintes opticamente ativos presentes em uma região cuja atmosfera possuía uma constituição particular, rica em aerossóis, poeira em suspensão e poluentes industriais e urbanos, sobre o comportamento espectral de um alvo genérico. Em futuras abordagens, vislumbra-se abordar os efeitos da massa óptica em diferentes trajetórias da radiação na atmosfera.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (CNPq) por fornecer o suporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho; aos profissionais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por nos cederem seu tempo e conhecimentos em sensoriamento remoto.

Referências

- BOHREN, C. F. **The Optics Encyclopedia**. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.
- Clark, R. N., Chapter 1: **Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy**, in Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, p 3- 58, 1999.
- EXELIS, 2014. **Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH)**. Disponível em: <<http://www.exelisvis.com/docs/FLAASH.html>>. Acesso em: 7 novembro 2014.
- GAUT, N. E.; REIFENSTEIN, E. C.; SIEVERING, H. **Interaction mechanisms within the atmosphere**. In: REEVES, R. G. (Ed.). Manual of Remote Sensing. Fall Church, Virginia: American Association of Photogrammetry, 1975. p.181-229.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. 1. ed. Ontario: Academic Press, Inc., 1983. p. 389.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos N Epiphanyo; Antonio R Formaggio, et al. tradução da 2ª. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. In: RUDORFF, B. F. T., et al. Curso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos, SP: INPE, 2002. Cap. 1, p. 22.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª. ed. Viçosa: editora UFV, 2007. 320 p.
- ROY, D. P. et al. **Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research**. Remote Sensing of Environment, n. 145, p. 154-172, Fevereiro 2014.
- SLATER, P. N.; DOYLE, F. J.; FRITZ, N. L. **Photographic systems for remote sensing**. In: American society for photogrammetry. (Ed.). Manual of Remote Sensing. 2ª. v. 1. New York, 1983, p. 231-291.
- STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. **Radiometria óptica espectral**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, BA, Brasil: INPE. 1996. p. 48.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 8, 2014**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em: 29 maio 2014.
- VERMOTE, E. F.; VERMEULEN, A. **Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09)** In: Algorithm Technical Background Document University of Maryland, Dept of Geography, , 1999.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 1ª. ed. Viçosa: Editora UFV, 2000. 448 p. ISBN 85-7269-073-5.