

Análise comparativa entre métodos de correção atmosférica em imagens do sensor Operational Land Imager (OLI), plataforma Landsat 8

C. V. da C. Weiss^{1,2}; D. C. S. Camargo²; E. H. Rosca² & J. Espinoza²

¹ Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro/ Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, CEP 96201-900, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS
Rua Eng. Alfredo Huch, 475 – 96201-460 – Rio Grande - RS, Brasil

c.vinicius@msn.com

(Recebido em 06 de dezembro de 2013; aceito em 27 de janeiro de 2014)

O processo de correção atmosférica é essencial para processamento de imagens orbitais, pois visa minimizar a influência dos fatores que compõem a atmosfera terrestre. Pelo fato das imagens do sensor OLI/Landsat 8 serem um produto recente, as funções/pacotes para a correção atmosférica do referido sensor ainda não foram efetivamente implementadas na maioria dos softwares de processamento digital de imagens. Portanto, o trabalho teve por objetivo realizar uma análise comparativa de três métodos de correção atmosférica aplicados em imagens do sensor OLI/Landsat 8. O Dark Object Subtract e os métodos de calibração lineares consistem em redimensionar os dados de radiância para o topo da atmosfera, por meio dos coeficientes radiométricos fornecidos no arquivo “metadados” do produto. A cena utilizada para aplicação dos métodos foi obtida junto ao banco de dados da USGS. Para o primeiro método, foi utilizado o software Idrisi Selva®, enquanto que para o segundo, as equações de calibração lineares foram processadas nos softwares ENVI® e Matlab®. A comparação foi realizada a partir das curvas de assinatura espectral dos alvos selecionados sobre as imagens processadas. O método de calibração linear ponderado realizada no ENVI® demonstrou uma validação mais adequada dos dados perante a comparação dos valores de reflectância dos alvos. Vale ressaltar que a validação dos métodos propostos levou em consideração apenas as curvas espectrais disponíveis na literatura, um avanço nesse estudo em futuros trabalhos seria a consideração da reflectância dos alvos a partir de dados obtidos por um espectrorradiômetro.

Palavras-chave: correção atmosférica, análise comparativa, reflectância.

Comparative analysis between methods of atmospheric correction in images Operational Land Imager sensor (OLI) / Landsat 8

The process of atmospheric correction is essential for processing of satellite images, it aims to minimize the influence of factors that make up the Earth's atmosphere. Because the images of the OLI/Landsat 8 sensor are a recent product, the functions/packages for the atmospheric correction of said sensor have not been effectively implemented in most software digital image processing. Therefore, the study aimed to perform a comparative analysis of three methods of atmospheric correction applied to images of the OLI/Landsat 8 sensor. The Dark Object Subtract (DOS) and methods linear calibration scale data consist of radiation at the top of the atmosphere by means of radiometric coefficients given in "metadata" product file. The scene used for application of the methods was obtained from the database of the USGS. For the first method, the Idrisi Selva® was used, while for the second linear calibration equations were processed in Matlab® and ENVI® software. A comparison was made from the curves of spectral signature of selected targets on the processed images. The method of weighted linear calibration performed in ENVI® demonstrated a better validation of the data before comparing the reflectance values of the targets. It is noteworthy that the validation of the proposed methods take into account only the spectral curves available in the literature, a breakthrough in this study in future work would be to consider the reflectance of targets from data obtained by a spectroradiometer.

Keywords: atmospheric correction, comparative analysis, reflectance.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera afeta a radiação refletida pela superfície que é captada pelo sensor devido aos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética. Visando amenizar os principais efeitos atmosféricos na radiação de uma cena são realizados processos denominados correção atmosférica [1,2]. Os principais efeitos observados nas imagens orbitais multiespectrais são a diminuição da faixa de valores digitais registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Os gases - principalmente vapor de água, oxigênio, ozônio, dióxido de carbono e os aerossóis - influenciam diretamente nos referidos efeitos, pois refletem, refratam, absorvem e espalham a radiação refletida pelo solo desde a atmosfera até fora da mesma [3].

Ferramentas e técnicas de correção atmosférica vêm sendo desenvolvidos e aprimorados de acordo com a demanda de dados e atualização dos sistemas sensores disponíveis. Como há constante renovação das plataformas orbitais com novos sensores, a atualização dos softwares proprietários, livres e de código aberto tem que ser constante. Posto que é imprescindível que no âmbito de monitoramento da superfície terrestre esse pré-processamento digital seja considerado, pois é necessária a calibração dos dados multitemporais para padronizar a escala radiométrica [1]. Segundo Mather (1999) [4], a correção atmosférica é indispensável para o cálculo de índices computados - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), NDSI (Normalized Difference Snow Index) - a partir de duas ou mais bandas espectrais, visto que as bandas são afetadas diferentemente pelo espalhamento atmosférico.

Os procedimentos de correção atmosférica desenvolvidos para imagens multiespectrais caracterizam-se por serem modelos do tipo ordinário discreto em que obtém-se um único valor de correção para toda a cena em estudo, com base apenas na calibração linear. Não obstante, com o surgimento da espectroscopia de imageamento verifica-se uma tendência para modelos de correção atmosférica do tipo distribuído, utilizando a calibração linear ponderada, em que é realizado um tratamento específico de pixel a pixel [5].

Um dos métodos de correção atmosférica mais utilizado é o proposto por [6,7], o Dark Object Subtraction (DOS), no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Para a aplicação desta técnica não há a necessidade de se obter dados sobre as condições atmosféricas na data de obtenção das imagens [8]. O DOS assume que existem alvos (pixels) negros nas imagens (e. g. sombras e água profunda), onde os valores se aproximariam ao máximo do ND (número digital referente ao pixel da imagem) mais baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de refletância [7]. Porém, os valores desses pixels representam valores de ND superiores aos esperados, consequência do espalhamento atmosférico, e por isso esses pixels escuros servem de referência para a correção do espalhamento atmosférico.

Ao contrário do modelo DOS, nos modelos baseados na teoria da transferência radiativa [9], é necessário obter informações referentes aos parâmetros da atmosfera local no horário de aquisição das imagens de satélite, o que permite um melhor embasamento físico na correção atmosférica. Entretanto, a coleta das informações necessárias para caracterização da atmosfera nem sempre é possível de ser realizada. Frequentemente modelos de atmosfera padrões são utilizados, mas isso resulta em perda de acurácia, a qual não pode ser avaliada [4]. Contudo a visibilidade atmosférica não é estável e a chance de inferir errado o valor aumenta. O aconselhável seria um método de correção atmosférica baseado somente nos dados obtidos das imagens de satélite [10,11].

O sistema sensor Operacional Terra Imager (OLI) - Landsat 8 inclui três novas bandas, a banda azul profundo para estudos voltados a zona costeira e estudos de aerossol; a banda do infravermelho de ondas curtas para a detecção de cirrus; e uma banda de avaliação da qualidade. O sensor do infravermelho (TIRS - Thermal Infrared Sensor) fornece duas bandas do termal. Estes sensores fornecem uma melhor relação sinal-ruído (SNR) de desempenho radiométrico quantizado por meio de uma gama dinâmica de 12 bits. O sensor oferece melhor desempenho perante ruídos, permitindo uma melhor caracterização do uso de cobertura do solo

[12]. Na Tabela 1 seguem as características espectrais dos instrumentos imaginadores OLI e TIRS [13].

Tabela 1. Características espectrais dos instrumentos OLI e TIRS / Landsat 8.

Landsat-8 Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 – 0.67	30
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Devido aos dados do sensor OLI terem sido recentemente disponibilizados no banco de dados da USGS, há uma carência de estudos relacionados à correção atmosférica das imagens do sensor OLI / Landsat 8, em softwares de geoprocessamento. Nesse sentido, o presente trabalho procurou analisar comparativamente os valores de reflectância de superfície nos alvos de vegetação, água e solo exposto obtidos a partir de três métodos de correções atmosféricas (DOS, calibração linear ponderada, calibração linear) baseadas somente em dados das imagens do sensor OLI/Landsat 8, visando apontar o método mais adequado para processar imagens do referido sensor.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos seguidos para realização do presente trabalho estão citados no organograma (Figura 1), com as principais etapas para o desenvolvimento da pesquisa. Em síntese, foram realizados três procedimentos de correção atmosférica, sendo um baseado nos números digitais da imagem, e os dois seguintes nas informações das variáveis atmosféricas locais. A partir das três correções foram coletadas amostras de alvos espectrais selecionados (solo exposto, vegetação e água), e gerados gráficos de reflectância de cada alvo em relação ao comprimento de onda respectivo. Estes valores de reflectância foram comparados com os valores das correções atmosféricas.

A imagem orbital do sensor OLI/Landsat 8, órbitas/pontos 221/82, utilizada no trabalho foi obtida junto ao banco de dados do Serviço Geológico dos EUA (USGS), com resolução espacial de 30 metros e oito bandas multiespectrais (bandas 1 a 7 e a banda 9), desde o visível até o infravermelho de ondas curtas, datada de 30 de agosto de 2013. A cena da imagem compreende o sul da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul. A partir das bandas brutas da imagem, foram realizados três métodos de correção atmosférica: o Dark Object Subtraction (DOS), processado no software Idrisi Selva®, o método da calibração linear ponderada, processado no software ENVI® e na terceira correção foi realizada uma calibração linear utilizando o software Matlab®.

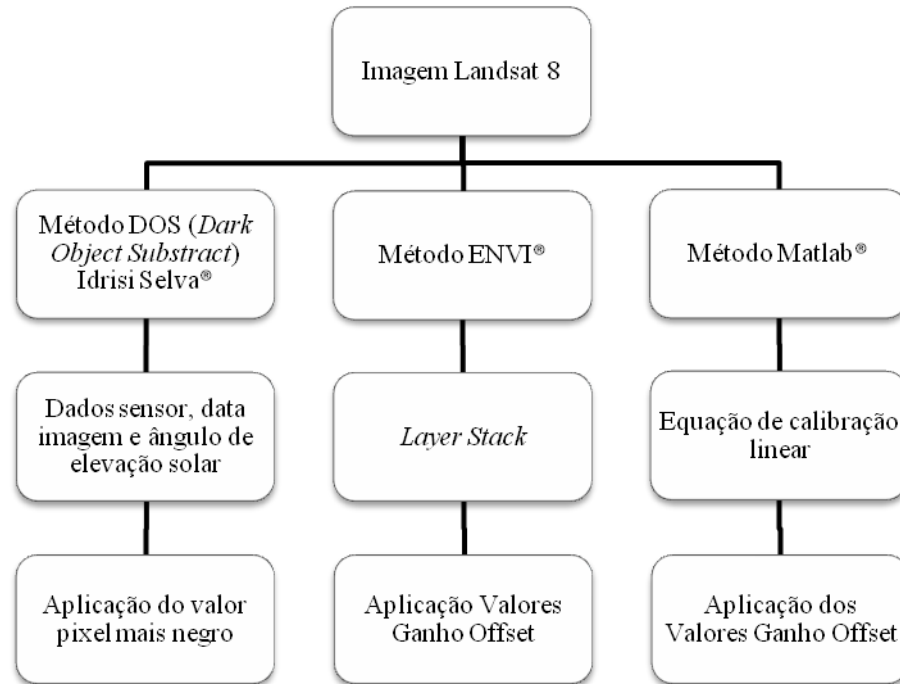


Figura 1. Organograma metodológico.

Para aplicação da metodologia DOS e transformação de ND para reflectância, foi utilizada a ferramenta *AtmosC* disponível no software Idrisi Selva®. Nesta ferramenta foram inseridas informações relativas ao arquivo metadados do produto, em que constam o ângulo de visada do satélite, dados referentes às radiâncias mínima (L_{min}) e máxima (L_{max}), a angulação solar e a data da aquisição da imagem. Foram calculados o Gain/Offset e o comprimento de onda central da banda; e foi consultado na imagem bruta o valor ND do pixel negro (pixel mais escuro na imagem).

Para o procedimento de correção atmosférica de calibração linear ponderada, a partir das bandas brutas da imagem, realizou-se a união das mesmas via ferramenta *Layer Stack*, posteriormente foi gerado um único arquivo, em que foi inserido o Gain/Offset calculado pela equação (Figura 2), esses valores foram inseridos individualmente em cada banda. Nesse contexto, com a aplicação da calibração linear ponderada, a imagem foi normalizada por meio da equalização de valores (Figura 3).

$$((\text{Banda} * \text{Ganho}) + \text{offset})$$

Figura 2. Equação ganho e offset.

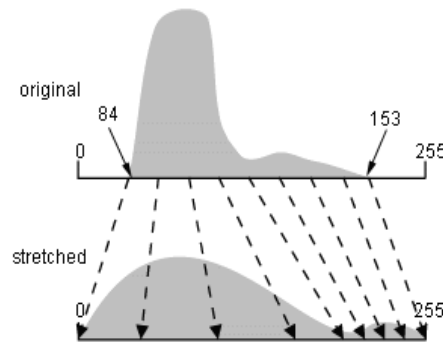


Figura 3. Stretch (equalização de valores) em uma imagem orbital.

Para a realização do processamento de calibração linear não ponderada foi utilizado o software Matlab®. As bandas brutas da cena foram importadas, e primeiramente sofreram a transformação de 16 bits (resolução radiométrica da LANDSAT 8) para 8 bits, com o intuito de acelerar o processamento. Em seguida foi aplicada a equação de calibração linear por meio dos valores de ganho e offset embutidos nos metadados da imagem. Por fim, as bandas calibradas foram corrigidas com valores de mínimo e máximo $((banda1 - \text{mínimo})/\text{máximo})$.

Após a aplicação da correção para os três métodos em questão, foi possível a composição de uma imagem com 9 bandas, as quais foram inseridas novamente no software ENVI, para a obtenção das estatísticas da área de interesse (média da reflectância para cada banda) e geração dos gráficos de curvas espectrais dos alvos para cada método, possibilitando a comparação entre eles.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da comparação dos três métodos propostos foi possível observar que a curva de assinatura espectral gerada pela calibração linear ponderada (Gráfico 1) mostrou um pico de vegetação na banda 4 (vermelho), valores de máximo para o alvo água na banda 1 (azul profundo, *coastal*) e índices de reflectância maiores na banda 5 (infra-vermelho próximo). Por outro lado, as curvas geradas pelo método de correção linear (Gráfico 2) mostraram o pico de reflectância na banda 2 para todos os alvos analisados. Por fim, o método DOS (Gráfico 3) apresentou picos de máxima reflectância para vegetação e solo exposto, nas bandas 5 e 8, respectivamente. O método de calibração linear ponderada do software ENVI® demonstrou ser mais apto à correção do sensor OLI, diferenciando melhor os alvos e representando um valor de reflectância mais próximo do real. Na tabela 2 pode-se observar a média de reflectância dos alvos, obtidos no software ENVI® por meio de curvas espectrais dos alvos nas imagens corrigidas de cada método.

Tabela 2. Dados da média de reflectância dos alvos em suas respectivas bandas.

Bandas	ENVI			IDRISI			MatLab		
	Água	Vegetação	Solo exposto	Água	Vegetação	Solo exposto	Água	Vegetação	Solo exposto
B1	0.075526	0.070116	0.130176	0.153187	0.028115	0.937075	0.174292	0.168921	0.228558
B2	0.063125	0.054374	0.13286	0.234946	0.028616	0.974463	0.501216	0.474327	0.715482
B3	0.045823	0.039695	0.148516	0.282876	0.150575	0.998841	0.407423	0.390301	0.694342
B4	0.02311	0.23574	0.172845	0.047717	0.056147	0.999836	0.320466	0.321667	0.710242
B5	0.006473	0.155184	0.225224	0.001829	1	0.99967	0.171294	0.410541	0.52322
B6	0.001053	0.038703	0.226781	0.000435	0.105621	0.628107	0.161493	0.221661	0.522229
B7	0.000826	0.013939	0.199932	0.000009	0.011803	0.180935	0.102199	0.115491	0.3021018
B8	0.036335	0.032459	0.157125	0.192683	0.112849	0.997725	0.149855	0.145595	0.282623
B9	0.000548	0.000443	0.004144	0.002494	0.002016	0.01889	0.398559	0.398143	0.412814

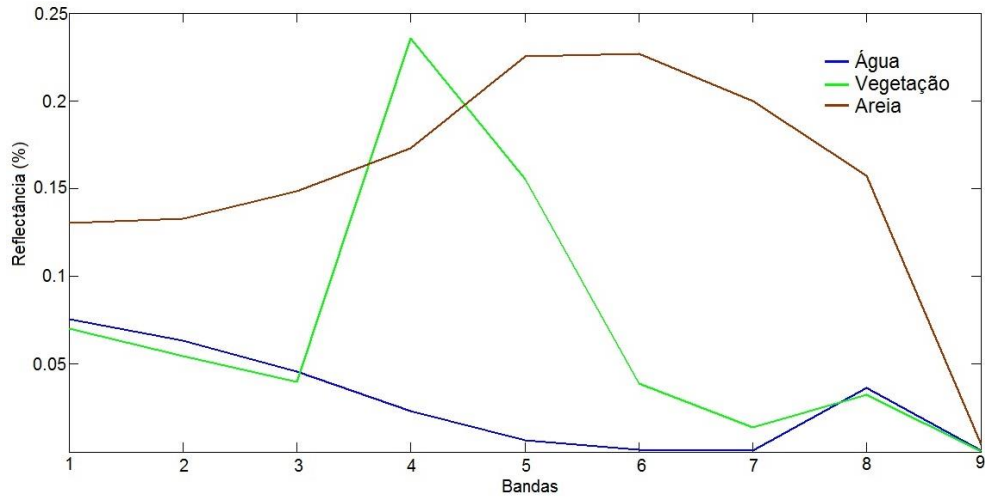


Gráfico 1 – Curvas espectrais geradas pela calibração linear ponderada.

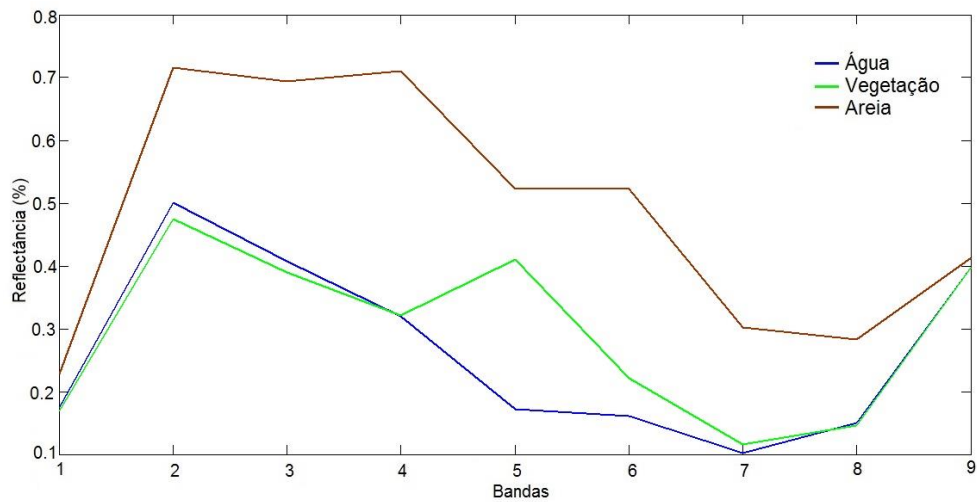


Gráfico 2 – Curvas espectrais geradas pela calibração linear.

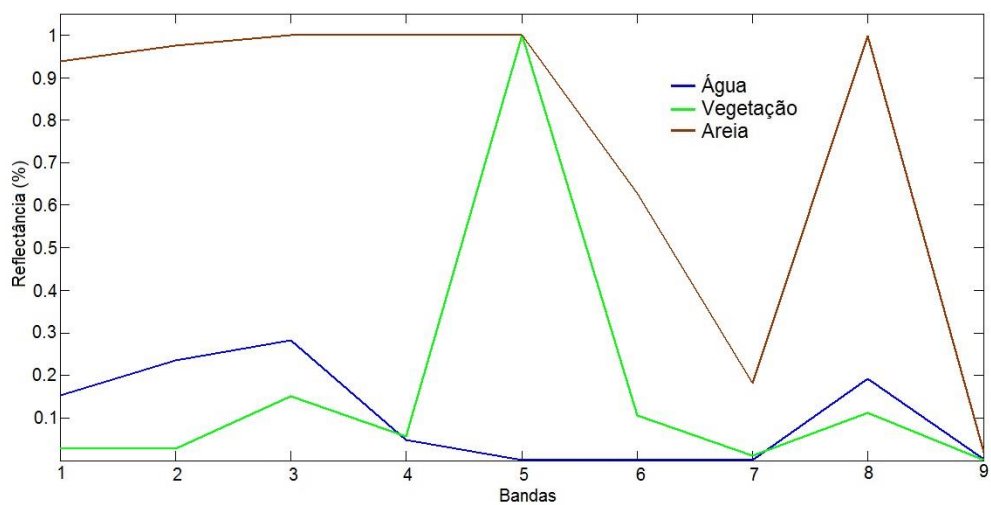


Gráfico 3 – Curvas espectrais geradas pelo método DOS.

Para a validação e a devida comparação entre os métodos de correção atmosférica, fez-se uso das curvas espectrais disponíveis na literatura (Gráfico 4). Nas curvas utilizadas como padrão, pode-se observar o aumento nos índices de reflectância na banda do vermelho para o infra-

vermelho próximo (no caso da vegetação), a tendência de elevada absorção da radiação eletromagnética pela água e de um aumento gradual para a amostra de solo exposto. Dessa forma, o método que mais se aproximou das curvas de reflectância da literatura foi o de calibração linear ponderada, afirmando a sua maior eficiência para correção de imagens da plataforma Landsat 8, considerando os alvos utilizados.

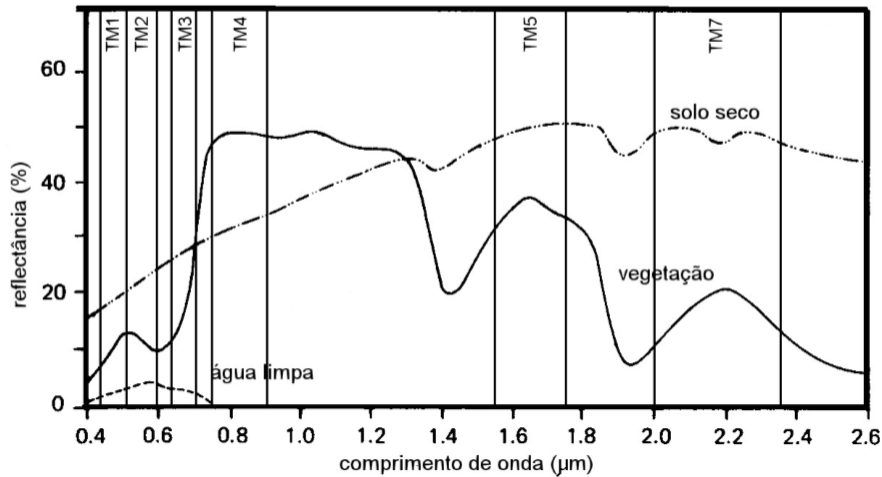


Gráfico 4 – Curvas de reflectância espectral dos alvos na literatura. Adaptado de Lillesand & Kiefer(1987).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os métodos utilizados, a calibração linear ponderada demonstrou ser mais adequado para a aplicação da correção atmosférica, pois permitiu a melhor distinção dos alvos e se assemelhou às curvas de assinatura espectral utilizadas como referência. Por outro lado, não foi possível a validação dos métodos propostos por meio de dados primários obtidos em campo, visto que o presente trabalho não empregou o medidor de reflectância de alvos *in situ* (o espectrorradiômetro).

Podemos destacar como principais dificuldades encontradas na aplicação dos métodos de correção: a ausência de informações sobre o sensor; a falta de ferramentas adequadas que levem em consideração os parâmetros da imagem do sensor; a transformação da resolução radiométrica original (16 bits) para 8 bits; dificuldade de armazenamento de elevada quantidade de informação.

A aplicação da correção atmosférica em imagens orbitais, por meio de algoritmos adequados ao propósito da investigação, é essencial para o desenvolvimento de projetos, implicando na redução de efeitos que possam subestimar os índices de reflectância esperados.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS – Rio Grande) pela disponibilização dos softwares utilizados.

1. Song C, et al. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*. 2001; 75: 230-244.
2. Tanré D, et al. Description of a Computer Code to Simulated the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code. *Int. J. Remote Sens.* 1990; 11(4): 659-668.
3. Zullo Jr J. Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações. Tese de Doutorado, DCA / FEE / UNICAMP; 1994.

4. Mather PM. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. New York: John Wiley & Sons; 1999. p. 292.
5. Carvalho Jr OA. Avaliação e Desenvolvimento de Métodos de Processamento de Imagens Hiperspectrais – Análise em Depósito de Níquel (Niquelândia, GO). Tese de doutorado, Instituto de Geociências - Universidade de Brasília; 2000.
6. Chavez Jr PS. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 1988; 24: 459-479.
7. Chavez Jr PS. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1989; 55: 1285-1294.
8. Sanches ID, et al. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. *Anais Xv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: Anais*. Curitiba; 30 abr. 2013; 1: 7564-7571.
9. Chandrasekhar S. Radiative transfer. New York: Dover Publications Inc. 1960. p. 393
10. Chavez Jr. PS. Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1996; 62 (9): 1025-1036.
11. Murakami T, et al. Crop discrimination with multitemporal SPOT/HRV data in the Saga Plains, Japan. *International Journal of Remote Sensing*. 2001; 22 (7): 1335-1348.
12. USGS (Org.). Landsat 8. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em: 06 dez. 2013.
13. USGS. Frequently Asked Questions about the Landsat Missions. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php>. Acesso em: 13 out. 2013.
14. Lillesand TM, Kiefer RW. Remote sensing and image interpretation. Second edition. New York. John Wiley & Sons; 1987.