

AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA CORREÇÃO DE EFEITOS DA ATMOSFERA EM AMBIENTE TROPICAL UTILIZANDO DADOS LANDSAT TM 5

STELLA C. DE PAULA¹; LAURA B. VEDOVATO²; DANIEL GOMES³; LUIZ E.
VICENTE⁴
Nº 12510

RESUMO

Os constituintes da atmosfera interferem nos valores de reflectância captados pelos sensores imageadores. Essa interferência decorre da interação dos gases e aerossóis com a radiação eletromagnética. Assim, comparamos respostas espectrais de alvos em imagem Landsat com e sem correção atmosférica, visando atestar a importância da correção. Para tanto, utilizamos dados de reflectância no sensor, influenciados pela atmosfera, e dados de reflectância na superfície, nos quais essa influência foi eliminada. A reflectância apresentou maiores valores no sensor que na superfície, principalmente nas bandas do visível (0,45 a 0,69 μm), devido aos efeitos de espalhamento. Portanto, a correção se mostra de grande importância, pois os dados corrigidos são mais fidedignos.

ABSTRACT

The atmospheric components interfere in imaging sensors' reflectance values. This modification is due to the interaction of gases and aerosols with electromagnetic radiation. Hence, we compared spectral profiles of different targets with corrected and uncorrected Landsat imagery, in order to demonstrate the importance of atmospheric correction. We used at-sensor reflectance data with atmospheric influence, and surface reflectance data, without atmospheric influence. At-sensor reflectance values were higher than surface reflectance values, especially at the visible spectral bands (0.45 to 0.69 μm), due to the scattering effects. Therefore, atmospheric correction is an important procedure, once corrected data are more reliable.

¹ Estagiária Embrapa Monitoramento por Satélite: Graduanda em Eng. Ambiental, PUC, Campinas-SP

² Estagiária Embrapa Monitoramento por Satélite: Graduanda em Ecologia, UNESP, Rio Claro-SP

³ Colaborador: Analista Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP

⁴ Orientador: Pesquisador Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP

INTRODUÇÃO

A atmosfera interage com a radiação eletromagnética, interferindo na identificação dos alvos terrestres captados pelas imagens de sensores remotos. Como consequências, temos alteração na faixa de valores digitais registrados pelo sensor, alteração do brilho de cada ponto da imagem e diminuição do contraste entre superfícies próximas (VICENTE, 2007; ZULLO JÚNIOR et al., 1996).

De todos os gases presentes na atmosfera, apenas alguns apresentam efeitos de absorção e espalhamento que resultam em variação da radiação eletromagnética na forma das feições de absorção. O que exerce maior influência é o vapor d'água, que constitui cerca de 2/3 da atmosfera, seguido pelo oxigênio, dióxido de carbono, metano e ozônio (VICENTE, 2007).

Em sensoriamento remoto, a correção dos efeitos atmosféricos é realizada para minimizar a influência dos gases e aerossóis sobre a radiação refletida por um determinado alvo e captada pelos sensores. A correção atmosférica também é de grande importância para estudos de sistemas ambientais baseados no comportamento espectral dos alvos/feições de interesse, já que sem ela os índices espectrais de cada feição podem diferenciar-se muito devido a interferências atmosféricas (LU et al., 2002).

Porém, para a supressão dos efeitos da atmosfera é necessária a utilização de parâmetros que nos forneçam dados reais das condições atmosféricas no dia em que a imagem de satélite foi obtida. Esses parâmetros correspondem a: (i) dados de altitude, (ii) coluna de vapor d'água, (iii) aerossóis, (iv) profundidade óptica das nuvens, (v) quantidade de CO₂ na atmosfera, (vi) coordenadas geográficas, (vii) data da passagem do satélite e (viii) horário de voo.

A dificuldade para obter os dados atmosféricos necessários à correção dos efeitos atmosféricos nas imagens e a dificuldade de acesso aos procedimentos mais confiáveis para essa correção fazem com que ela seja muitas vezes desconsiderada. Em outros casos, a correção baseia-se em métodos muito simplificados que podem produzir erros de estimativa da reflectância da superfície terrestre até superiores aos das imagens originais.

Existe grande dificuldade de encontrar parâmetros para regiões tropicais devido à falta de sensores que captam essas informações. Assim, apenas medidores terrestres alocados em pontos específicos são utilizados para a coleta dos parâmetros, tornando mais difícil a obtenção de dados precisos para todas as áreas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a diferença entre respostas espectrais de uma imagem de satélite não corrigida (valores de reflectância no sensor) e as respostas espectrais da mesma imagem corrigida para o efeito atmosférico

(valores de reflectância na superfície terrestre), destacando a importância da correção do espalhamento atmosférico para a análise espectral de alvos terrestres em ambiente tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foi utilizada uma imagem do satélite Landsat TM 5, com resolução espacial de 30 m, cuja data de passagem do sensor é 02/05/2010 (Figura 1). Essa imagem pode ser obtida no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A área foi escolhida por apresentar grande heterogeneidade de alvos, como áreas de agricultura, florestas, queimadas, áreas alagadas e solo exposto, oferecendo, assim, amplo gradiente de variações de características espectrais.

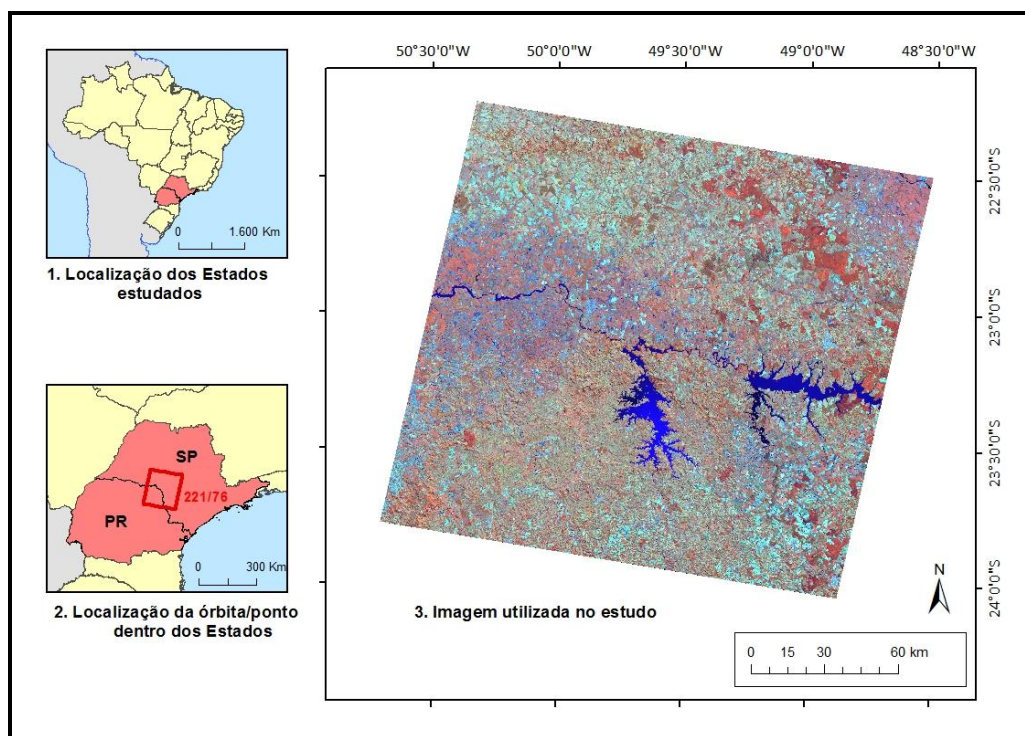


FIGURA 1. Área de estudo – Landsat TM 5, composição RGB 453.

A imagem foi composta por seis bandas: 1 (0,45 – 0,52 μm), 2 (0,52 – 0,6 μm) e 3 (0,63 – 0,69 μm), cobrindo a região do visível (VIS); banda 4 (0,76 – 0,9 μm) na região do infravermelho próximo (IVP); e bandas 5 (1,55 – 1,75 μm) e 7 (2,08 – 2,35 μm) no infravermelho de ondas curtas (IVOC). Em seguida, a imagem foi georreferenciada utilizando pontos de controle de referência do Global Landcover no sistema de coordenadas UTM zona 22 sul, datum WGS-84.

A imagem de satélite nos fornece informações em números digitais, que são valores de 0 a 255 que representam a radiância. De acordo com a variação de latitude, época do ano e condições atmosféricas, esses valores sofrem alteração e torna-se necessária uma normalização, a qual é realizada pela recuperação dos valores de reflectância. As imagens com valores em reflectância são mais apropriadas para análise de alvos por meio de suas assinaturas espectrais, pois permitem comparação com espectros de outras bibliotecas, já que não variam de acordo com o tempo e lugar, somente com o alvo (CARVALHO et al., 2002).

As etapas metodológicas foram realizadas de acordo com o fluxograma ilustrado pela Figura 2.

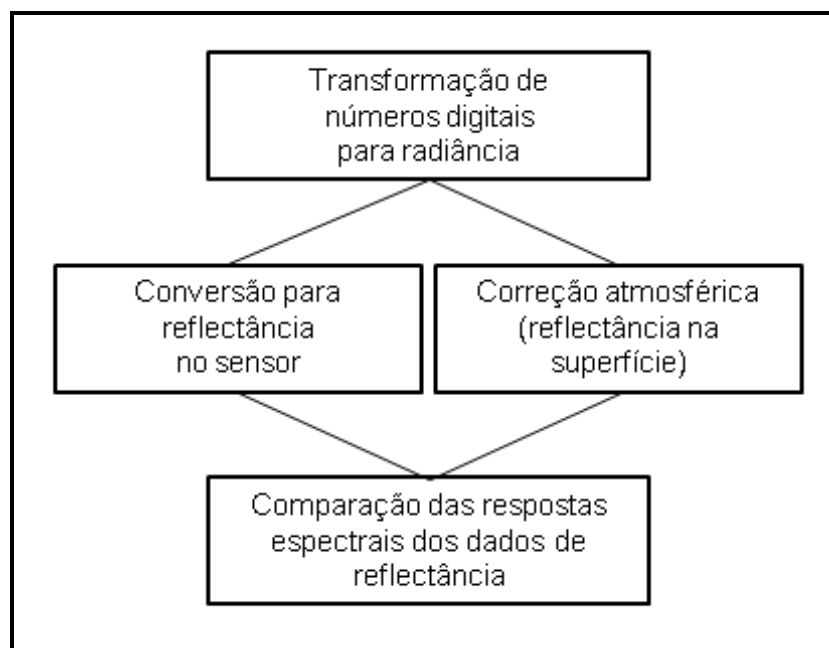


FIGURA 2. Etapas de processamento.

Transformação de números digitais para radiância

Para realizar a conversão para valores de reflectância tanto no sensor como atmosféricamente corrigidos, o primeiro passo foi transformar os números digitais para valores de radiância. Para tal procedimento, é necessário utilizar a Equação 1 (NASA, 1998):

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

Em que:

L_{λ} é a radiância espectral na abertura do sensor em watts/ (metros quadrados * ster* μm);

$QCAL$ é o valor em números digitais para cada pixel;

$LMIN_{\lambda}$ é a radiância espectral escalonada para QCALMIN em watts/ (metros quadrados* ster* μm);

$LMAX_{\lambda}$ é a radiância espectral escalonada para QCALMAX em watts/ (metros quadrados* ster* μm);

$QCALMIN$ é a quantização mínima do valor de pixel calibrado (correspondente a $LMIN_{\lambda}$) em números digitais = 0;

$QCALMAX$ é a quantização máxima do valor de pixel calibrado (correspondente a $LMAX_{\lambda}$) em números digitais = 255.

Conversão para reflectância

Para a obtenção de parâmetros de reflectância no sensor, desconsiderando o espalhamento atmosférico, a Equação 2 pode ser aplicada:

$$\rho_p = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{ESUN_{\lambda} \cos \theta_s} \quad (2)$$

Em que:

ρ_p é a reflectância aparente;

L_{λ} é a radiância no sensor;

θ_s é o ângulo solar zenital;

d é a distância Terra-sol;

$ESUN_{\lambda}$ é a irradiância solar média no topo da atmosfera para as diferentes bandas (tabelado).

Correção atmosférica

Para realizarmos o procedimento da correção atmosférica, utilizamos a imagem com valores de radiância e aplicamos o modelo MODTRAN (Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model). Esse modelo tem como objetivo gerar um algoritmo de correção atmosférica com melhor resolução espectral, que modele a absorção atmosférica molecular em função da temperatura e pressão. O MODTRAN calcula parâmetros de banda para 12 moléculas e proporciona a integração do LOWTRAN 7, modelo de resolução espacial e espectral menos sensível, em novos algoritmos (LATORRE et al., 2002).

O MODTRAN calcula a radiância corrigida (L) de acordo com a Equação 2 (ANDERSON et al., 1999):

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad (2)$$

Em que:

ρ é a superfície de reflectância do pixel;

ρ_e é a média da superfície de reflectância do pixel e das regiões vizinhas;

S é o albedo esférico da atmosfera;

L_a é a radiância espalhada na atmosfera;

A e B são os coeficientes que dependem de condições atmosféricas e geométricas não relacionadas com a superfície.

O primeiro termo da Equação 2 corresponde à radiância que é refletida da superfície e viaja diretamente ao sensor, já o segundo termo corresponde à radiância a partir da superfície que é espalhada pela atmosfera até o sensor. A distinção entre ρ e ρ_e decorre do efeito de adjacência, uma mistura da radiância entre pixels próximos, causado pelo espalhamento atmosférico. Essa diferença não pode ser ignorada devido aos significativos erros de reflectância gerados.

Os valores de A , B e L_a são determinados por meio do algoritmo proposto no MODTRAN 4, usando visibilidade, ângulo solar e medidas de superfície de elevação. O modelo assume um padrão atmosférico, níveis de aerossol e de visibilidade. Esses valores são muito dependentes da quantidade de vapor d'água na coluna atmosférica, a qual geralmente não é muito conhecida e varia de acordo com a cena (ANDERSON et al., 1999).

Os parâmetros necessários para a realização da correção atmosférica são obtidos especificamente para cada imagem, respeitando datas e horários, por meio do portal *Giovanni* pelo site da NASA (National Aeronautics and Space Administration), o qual agrega diversos dados atmosféricos obtidos por inúmeras plataformas. O sensor utilizado é o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo do satélite Terra. Esse sensor é capaz de gerar as informações necessárias à correção atmosférica. A exceção fica para os valores de CO_2 , que são gerados pelo sensor AIRS (Atmospheric InfraRed Sounder) a bordo do satélite Aqua e disponibilizados no portal *Mirador* do site da NASA.

Análise dos dados de radiância e reflectância

Após corrigir a imagem, selecionamos áreas com alvos diversos, como solo exposto, vegetação fotossinteticamente ativa (VFA), área de queimada e água (Figura 3). A partir de cada alvo foram retiradas duas curvas espectrais: uma da imagem em reflectância com correção atmosférica e outra da imagem em reflectância sem correção atmosférica. Em seguida, as duas curvas de cada alvo foram comparadas entre si. A partir dessa comparação, foi possível analisar como as diferenças observadas entre as duas curvas podem influenciar a análise espectral dos alvos estudados.

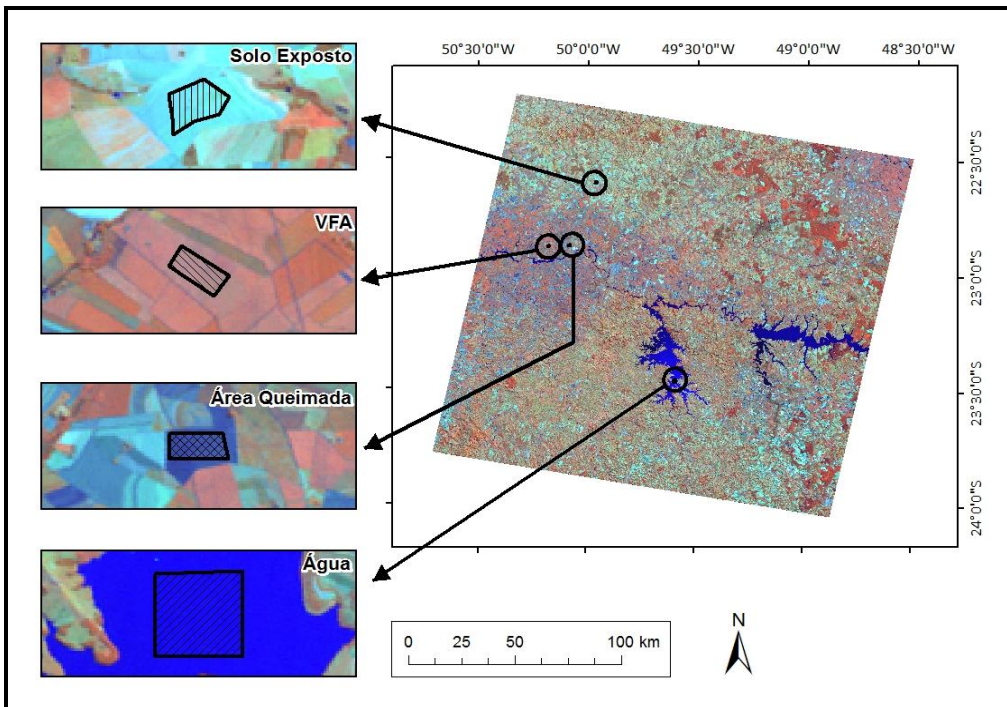


FIGURA 3. Localização dos alvos amostrados – Landsat TM 5, composição RGB 453.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da execução da metodologia, obtivemos duas respostas espectrais dos alvos selecionados: uma para reflectância no sensor e outra para reflectância na superfície (Figura 4). Comparando-as, obtivemos os seguintes resultados:

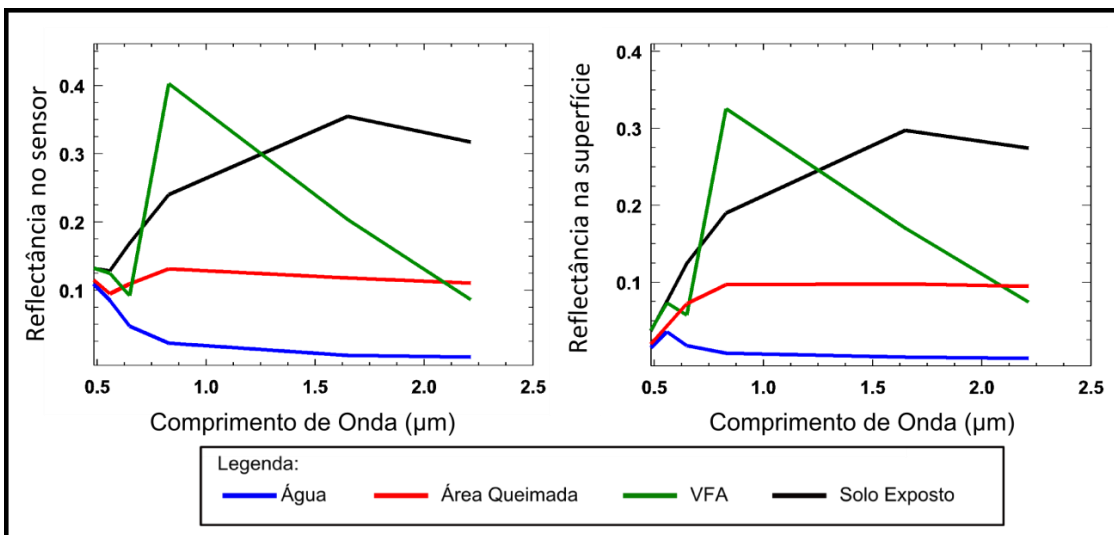


FIGURA 4. Bibliotecas espectrais para dados de reflectância no sensor e na superfície.

Para as curvas espectrais de todos os alvos, os valores de reflectância obtidos no sensor e os obtidos na superfície são mais divergentes nas bandas do visível que nas do infravermelho. Na Tabela 1, é possível verificar que a diferença pode chegar a

mais de 600% na banda do azul (0,485 μm) e a apenas 64% no infravermelho médio (2,215 μm) para a curva espectral da água.

TABELA 1. Aumento da reflectância no sensor em relação à reflectância na superfície para os alvos identificados.

| Comp. de onda (μm) | Reflectância da água | | | Reflectância da área queimada | | |
|---------------------------------|----------------------|-----------|-------------|-------------------------------|-----------|-------------|
| | Na superfície | No sensor | Aumento (%) | Na superfície | No sensor | Aumento (%) |
| 0,485 | 0,015 | 0,109 | 625 | 0,020 | 0,115 | 483 |
| 0,560 | 0,035 | 0,085 | 140 | 0,043 | 0,095 | 118 |
| 0,650 | 0,017 | 0,048 | 172 | 0,072 | 0,109 | 52 |
| 0,830 | 0,008 | 0,022 | 189 | 0,097 | 0,131 | 36 |
| 1,650 | 0,002 | 0,004 | 79 | 0,098 | 0,118 | 21 |
| 2,215 | 0,001 | 0,002 | 64 | 0,095 | 0,110 | 16 |
| Comp. de onda (μm) | Reflectância da VFA | | | Reflectância do solo exposto | | |
| | Na superfície | No sensor | Aumento (%) | Na superfície | No sensor | Aumento (%) |
| 0,485 | 0,038 | 0,132 | 253 | 0,036 | 0,132 | 264 |
| 0,560 | 0,073 | 0,125 | 70 | 0,075 | 0,128 | 70 |
| 0,650 | 0,057 | 0,092 | 61 | 0,125 | 0,169 | 36 |
| 0,830 | 0,326 | 0,403 | 24 | 0,190 | 0,240 | 26 |
| 1,650 | 0,170 | 0,204 | 20 | 0,297 | 0,354 | 19 |
| 2,215 | 0,074 | 0,086 | 16 | 0,274 | 0,317 | 16 |

Esse efeito pode ser explicado pelo espalhamento de Rayleigh (também conhecido como espalhamento molecular), causado pelas moléculas da atmosfera que têm diâmetro muito menor que o comprimento de onda. O efeito desse tipo de espalhamento é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda da radiação eletromagnética. Por isso, os valores de reflectância no comprimento de onda do visível sofrem mais efeito que no infravermelho (JENSEN, 2009).

A superestimação de valores nas medidas de reflectância do sensor, mais acentuada nas bandas do visível e infravermelho próximo, descaracterizaram importantes feições espectrais diagnósticas associadas principalmente a sesquióxidos de ferro no solo, clorofilas (a, b) e carotenoides na vegetação (MENESES; FERREIRA JUNIOR, 2001; PONZONI, 2001), prejudicando importantes aplicações relacionadas a índices espectrais e algoritmos de classificação comuns como: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index) ou modelos lineares de mistura espectral.

Corroborando nossos resultados, outros trabalhos são fidedignos ao pré-processamento da imagem de satélite utilizando a correção atmosférica, principalmente para se obter resultados corretos em medições e modelamento de

biomassa, classificação de múltiplos estágios de sucessão, modelamento de direções e estruturas de cobertura da terra/mudanças do uso da terra e obtenção de assinaturas espectrais que sejam consistentes nas diferentes áreas de estudo (LU et al., 2002). Para outros sensores além do TM, como o MODIS, por exemplo, a correção atmosférica também é de grande relevância para a credibilidade dos produtos da reflectância de superfície (VERMOTE et al., 2002). Além destes, a correção do espalhamento atmosférico também tem grande relevância para se calcular o albedo de imagens com sensor Landsat ETM+ (SILVA; VALERIANO, 2003).

CONCLUSÃO

Diante do exposto, podemos concluir que:

- o rígido controle dos parâmetros de calibração e correção atmosférica, incluindo o uso dos dados do sensor MODIS, considerando aspectos tropicais locais mostrou-se altamente eficiente na minimização dos efeitos atmosféricos;
- o espalhamento da radiação causa maior influência nas bandas do visível, por isso a correção atmosférica é tão importante para esses comprimentos de onda;
- a imagem corrigida apresentou menos interferências externas causadas pela absorção e pelo espalhamento dos constituintes da atmosfera, permitindo que seus dados de reflectância fossem comparados a bibliotecas espectrais de referência e preservando valores físico-químicos intrínsecos aos alvos;
- os procedimentos de correção e calibração demonstraram ser fundamentais para possíveis aplicações de algoritmos de classificação de alto nível, viabilizando o uso das imagens TM com maior eficiência.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Monitoramento por Satélite e aos demais membros do projeto AgSpec, pela oportunidade de estágio e estrutura de trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, G. P.; PUKALL, B.; ALLRED, C. L.; JEONG, L. S.; HOKE, M.; CHETWYND, J. H. FLAASH and MODTRAN4: state-of-art atmospheric correction for hyperspectral data. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE. 1999, Snowmass at Aspen. **Proceedings...**, Snowmass at Aspen: IEEE, 1999. p. 177-181.

CARVALHO, A. P. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, É. S.; ROCHA, V. M. S.; CÉSAR, C. S. Análise multitemporal de imagens NDVI em ações de reforma agrária. **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.

LATORRE, M.; JÚNIOR, O. A. C.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.

JENSEN, J. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2651-2671, 2002.

MENESES, P. R.; FERREIRA JUNIOR, L. G. Comportamento espectral de minerais e rochas. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Ed.). **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Editora da Universidade de Brasília; Embrapa Cerrados, 2001. p. 61-124.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Ed.). **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: Editora da Universidade de Brasília; Embrapa Cerrados, 2001. p. 195-199.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 7 science data users**. 1998. Disponível em: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf>. Acesso em: 15 maio 2012.

SILVA, B. S. G; VALERIANO, D. M. Georeferenciamento e Análise da Correção Atmosférica para o Cálculo de Albedo Usando o Sensor Landsat ETM+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2143-2150.

VERMOTE, E. F.; SALEOUS, N. Z. E.; JUSTICE, C. O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, v. 83. p. 97-11. 2002

VICENTE, L. E. **Caracterização de Sistemas Ambientais Tropicais Complexos utilizando análise Sistêmica e Classificação Hiperespectral de dados do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)**. 2007. 192 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ZULLO JUNIOR., J.; BEZERRA, P. C.; GUYOT, G.; GU, X. Importância prática da correção atmosférica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE,, 1996. p. 977-978.