

Uso de dados MODIS e AIRS para obtenção de parâmetros de correção atmosférica

Daniel Gomes¹
Luiz Eduardo Vicente¹
Ramon Felipe Bicudo da Silva^{1,2}
Stella Carvalho de Paula¹
Renan Pfister Maçorano¹
Daniel de Castro Victoria¹
Mateus Batistella¹

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 13070-115 Campinas, SP
{danielgomes, vicente, stella, renan, daniel, mb}@cnpm.embrapa.br

² Universidade Estadual de Campinas / Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais
Cidade Universitária Zeferino Vaz 13083-970 Campinas, SP
ramon@cnpm.embrapa.br

Abstract. Remote sensing by spectral imaging of the Earth's surface can be widely used to characterize the surface objects' composition, but only when the atmospheric influence is corrected and the data are transformed to surface reflectance units. If atmospheric correction is performed using the MODTRAN radiative transfer code, users have to supply input parameters in order to characterize the atmospheric conditions of the imaging time. Since these parameters are difficult to obtain, especially in tropical regions, we propose a methodology to estimate them from MODIS atmospheric products. We used aerosol optical thickness (τ), Ångström exponent (α) and H₂O total column data in order to retrieve initial visibility (V), retrieve aerosol scale height (z_a) and select the fittest MODTRAN atmospheric model to be used in the atmospheric correction. CO₂ mixing ratio complementary data were retrieved from AIRS and AMSU sounders onboard the Aqua satellite. As results, the atmospheric correction improved reflectance values and widened the NDVI values range of the corrected images. The correction produced good attenuation in shorter wavelength visible spectral bands' reflectance values and achieved augmentation in longer wavelength infrared spectral bands' reflectance values. These results point out that the parameterization has enhanced the atmospheric correction procedure, generating more reliable surface reflectance information from satellite images.

Palavras-chave: Correção atmosférica, MODTRAN, Visibilidade inicial, Altura de escala de aerossol, Produtos atmosféricos MODIS, AIRS, Atmospheric correction, MODTRAN, Initial visibility, Aerosol scale height, MODIS atmospheric products, AIRS.

1. Introdução

As informações espectrorradiométricas dos dados de sensoriamento remoto podem ser extensamente utilizadas para caracterizar a composição dos alvos na superfície terrestre, mas apenas quando a influência atmosférica estiver removida e os dados reduzidos a unidades de refletância (Adler-Golden et al., 1999). A correção atmosférica tem papel crítico no processamento de dados de imagens de sensoriamento remoto, especialmente em relação à identificação do conteúdo do pixel (Berk et al., 2002).

Os principais efeitos observados nas imagens de satélite, em resposta à presença da atmosfera entre o satélite e a superfície terrestre, são a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelos sensores, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e a alteração do brilho de cada ponto da imagem (Zullo et al., 1996).

Abordagens para a correção atmosférica baseadas na transferência radiativa normalmente não enfrentam problemas como nos modelos de propagação da radiação eletromagnética solar através da atmosfera (Ju et al., 2012). Embora modelos baseados

na transferência radiativa sejam propícios a sistematizar grande volume de dados de processamento de sensores orbitais, requerem dados de caracterização atmosférica temporalmente e espacialmente explícitos (Vermote et al., 2002).

O código MODTRAN4 derivado da série MODTRAN (*Moderate-Resolution Atmospheric Radiative Transfer Model*), um código de transferência radiativa, desenvolvido pela *Spectral Sciences, Inc.* (SSI) utilizado para correção atmosférica, é capaz de gerar dados primários do espectro da reflectância de superfície, mapas da coluna de vapor de água, mapas com a superfície relativa de elevação além de conter uma ferramenta de simulação de radiância, um algoritmo para recuperação de visibilidade e um algoritmo para “polimento” espectral (Adler-Golden et al., 1999).

O “estado da prática” de métodos para correção atmosférica baseados na transferência radiativa para Landsat ETM+ são, de acordo com Ju et al. (2012), o *Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS) e o *MODIS-based*. A pesquisa de Ju et al. (2012) demonstrou que o método *MODIS-based* tem melhor acurácia para imagens ETM+ nas bandas do vermelho e para os demais comprimentos de onda. O método *MODIS-based* utiliza os dados derivados do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, espessura ótica da camada aerossol, tipo de aerossol e vapor d’água para corrigir atmosféricamente cenas Landsat ETM+ adquiridas em cada órbita coincidente (Ju et al., 2012).

Desde 2000 o sensor MODIS tem sido capaz de recuperar propriedades aerossóis sobre a superfície da Terra, através da combinação observada da reflectância espectral com aquela simulada para uma seleção de modelos óticos de aerossóis, cargas de aerossóis, comprimentos de ondas e condições geométricas, em uma estratégia de *lookup table* (LUT) (Levy et al., 2007). O algoritmo MODIS segue uma estratégia LUT, desta forma, assumindo que um pequeno conjunto de tipos de aerossóis, cargas e geometria podem abranger a gama global das condições de aerossóis (Levy et al., 2007).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de obtenção de parâmetros de entrada para modelos de correção atmosférica, tendo como base os produtos atmosféricos gerados pelos sensores MODIS e AIRS. Esta metodologia foi desenvolvida com o objetivo de permitir a correção de imagens obtidas em regiões tropicais, onde a obtenção dos parâmetros atmosféricos é mais difícil. Esta metodologia atende à crescente demanda por dados confiáveis de reflectância da superfície que permitam o estudo de alvos estratégicos da agricultura (Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012).

2. Metodologia de Trabalho

A região delimitada para o estudo corresponde a doze municípios do Estado de São Paulo (Figura 1). Esta área representa bem a dinâmica de uso da terra no Vale do Paraíba, região que possui dois grandes compartimentos geomorfológicos: o montanhoso, com desnivelamentos superiores a 700 m e o de colinas convexo-côncavas que apresenta desnivelamentos inferiores a 200 m na região central, que corresponde ao vale (Vianna et al., 2009).

A região é influenciada por duas massas de ar: Tropical Atlântica e Polar Atlântica, sendo que o choque entre elas causa chuvas, que são concentradas entre os meses de dezembro e março (Rocha Leão, 2005). Os choques entre as massas de ar e a proximidade do mar fazem com que a região tenha altos índices de nebulosidade. Por este motivo, as imagens de satélite do Vale do Paraíba geralmente necessitam de procedimentos de correção atmosférica para a realização de estudos de espectrorradiometria de reflectância.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram selecionadas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O trabalho foi realizado utilizando as seis bandas do espectro ótico da cena de órbita 218 e ponto 76, de 15/05/2005 e 14/06/2010.

A correção atmosférica das imagens foi realizada pelo módulo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) do aplicativo ENVI, que incorpora o código de transferência radiativa MODTRAN 4. O módulo FLAASH requer uma série de dados de entrada em seu modelo, dependentes dos seguintes dados atmosféricos:

- Visibilidade inicial (V);
- Modelo atmosférico do MODTRAN;
- Altura de escala do aerossol (z_a);
- Razão de mistura de CO₂.

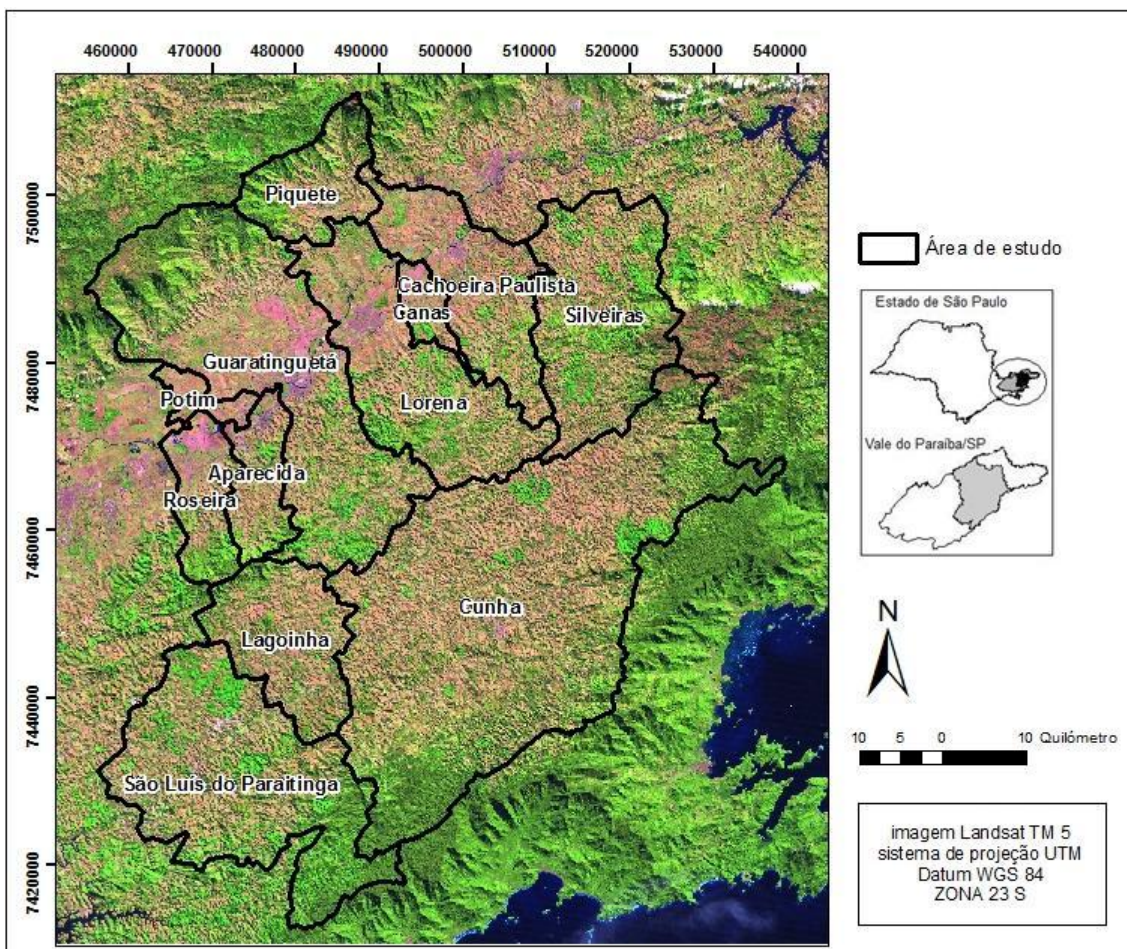


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.1 Visibilidade inicial

Dado que o parâmetro de visibilidade inicial não é recuperado de forma sistemática na área de estudo, seus valores foram obtidos por meio das Equações 1 e 2 (Ponzoni et al., 2007):

$$\tau_{a(\lambda)} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

$$\beta = 0.613e^{\frac{-V}{15}} \quad (2)$$

onde λ é o comprimento de onda em micrômetros, $\tau_{a(\lambda)}$ é a profundidade óptica dos aerossóis no comprimento de onda λ , β é o coeficiente de turbidez de Ångström, α é o expoente de Ångström (relacionado ao tamanho médio do aerossol) e V é a visibilidade inicial. Ao isolar β na Equação 1 e V na Equação 2, é possível obter as Equações 3 e 4:

$$\beta = \tau_{a(\lambda)} \lambda^\alpha \quad (3)$$

$$V = (-15) \frac{\log\left(\frac{\beta}{0.613}\right)^2}{2} \quad (4)$$

A Equação 4 foi modificada para evitar resultados negativos. Ao substituir β na Equação 4, temos a Equação 5:

$$V = (-15) \frac{\log\left(\frac{\tau_{a(\lambda)} \lambda^\alpha}{0.613}\right)^2}{2} \quad (5)$$

na qual a visibilidade inicial passou a ser uma variável dependente da profundidade óptica dos aerossóis e do expoente de Ångström, que são parâmetros gerados como produtos MODIS pela NASA diariamente em escala global. Os valores de profundidade óptica dos aerossóis e do expoente de Ångström para as áreas de estudo foram obtidos no portal Giovanni, da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*, 2012a; Acker; Leptoukh, 2007).

2.2 Modelo atmosférico MODTRAN

Os modelos atmosféricos fornecem soluções diferenciadas de correção atmosférica, de acordo com características relacionadas à latitude e à época do ano em que a imagem é obtida. A seleção do modelo mais apropriado para cada imagem pode ser feita por meio dos valores de vapor de água ou da temperatura atmosférica no momento em que a imagem é gerada pelo sensor (*Research Systems Inc.*, 2005).

Neste trabalho, o modelo foi selecionado de acordo com os valores da coluna total de vapor de água (H₂O) na atmosfera, conforme Tabela 1. Este parâmetro também é recuperado diariamente pelo sensor MODIS e distribuído no portal Giovanni, da NASA.

Tabela 1. Quantidade de vapor na atmosfera para cada modelo atmosférico do MODTRAN.

Coluna total de H ₂ O na atmosfera (cm)	Modelo atmosférico
Até 0,42	Subártico de inverno (SAW)
Maior que 0,42 até 0,85	Média latitude de inverno (MLW)
Maior que 0,85 até 1,42	Padrão estadunidense (US)
Maior que 1,42 até 2,08	Subártico de verão (SAS)
Maior que 2,08 até 2,92	Média latitude de verão (MLS)
Maior que 2,92	Tropical (T)

Fonte: Adaptado de *Research Systems Inc.* (2005).

2.3 Altura de escala do aerossol (z_a)

A altura de escala do aerossol (z_a) é um parâmetro utilizado no FLAASH para o cálculo da reflectância espalhada da região adjacente (*Research Systems Inc.*, 2005; Adler-Golden et al., 1999). A Equação 6 descreve como o valor da altura de escala do aerossol pode ser obtido, considerando apenas as condições da troposfera (Wong et al., 2009; Qiu et al., 2005):

$$z_a = \frac{\tau_{a(\lambda)}}{\frac{3.912}{V} - \tau_{a(\lambda)} \lambda^\alpha} \quad (6)$$

2.4 Razão de mistura de CO₂

Os valores de razão de mistura de CO₂ foram obtidos no portal Mirador, da NASA. O produto diário de CO₂ do portal Mirador é recuperado a partir dos dados de duas sondas instaladas a bordo da plataforma Aqua: o *Atmospheric InfraRed Sounder (AIRS)* e o *Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU)* (*National Aeronautics and Space Administration*, 2012b).

Para imagens geradas antes de 2002, a razão de mistura de CO₂ pode ser estimada por meio dos mapas do portal *Carbon Tracker CO₂ Weather*, da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2012; Peters et al., 2007). Os valores de CO₂ são utilizados no FLAASH para escalonar as bandas de absorção localizadas próximas de 2.0 µm (Gao et al., 2009; Adler-Golden et al., 1999).

2.5 Parâmetros utilizados

Na Tabela 2 estão todos os parâmetros que foram gerados pela metodologia proposta neste trabalho. Dado que a Serra do Mar dificulta a presença de ventos marítimos na área de estudo, o modelo de aerossol do MODTRAN selecionado para o processamento foi o rural e não o marítimo.

Outros parâmetros não meteorológicos também foram inseridos no FLAASH, a maioria relacionada aos metadados das imagens, como: coordenadas centrais da cena processada, data e horário de passagem do satélite. A altitude média da região imageada foi obtida pelo modelo de elevação gerado pelo *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* e disponibilizado pelo INPE.

Tabela 2. Parâmetros atmosféricos adotados nas imagens corrigidas pelo FLAASH.

Imagem	α ^{a,b}	$\tau_{a(0.55\mu m)}$ ^{a,b}	H ₂ O (cm) ^{a,b}	CO ₂ (ppm) ^{a,c}	Z _a (km)	V (km)	Modelo Atmosférico
15/05/2005	1,809	0,005	2,027	376,00	0,12	88,35	SAS
14/06/2010	1,927	0,080	1,733	391,25	1,42	47,83	SAS

^a Média para a área de estudo; ^b Fonte: Giovanni/ NASA (2012); ^c Fonte: Mirador/ NASA (2012).

3. Resultados

As imagens TM da área de estudo foram corrigidas, utilizando os parâmetros atmosféricos obtidos de acordo com a metodologia descrita neste trabalho.

Quando comparadas com imagens não corrigidas (reflectância do topo da atmosfera), as imagens corrigidas (reflectância de superfície) apresentaram valores mais baixos na banda azul (0,485 µm) (Fig. 2). Isto demonstra que o espalhamento atmosférico que ocorre neste comprimento de onda foi compensado pela correção atmosférica. Em áreas cobertas por vegetação densa, esta atenuação se estendeu às outras bandas do espectro visível.

A reflectância nas bandas do espectro infravermelho das imagens corrigidas tiveram seus valores ampliados. Nas áreas com maior exposição de solo, a ampliação de valores foi mais intensa no espectro infravermelho de ondas curtas (1,65 – 2,215 µm), enquanto que nas áreas com vegetação densa a ampliação foi mais intensa no infravermelho próximo (0,83 µm) (Fig. 2).

Com o aumento da reflectância no infravermelho e a diminuição da reflectância no visível, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI, na sigla em inglês) apresentou uma amplitude maior de valores quando aplicado às imagens corrigidas. De acordo com Guyot e Gu (1994) e Zullo et al. (1996), os valores de NDVI em áreas vegetadas sempre aumentam em imagens corrigidas e a intensidade deste aumento varia

em função das condições atmosféricas no momento em que a imagem é gerada pelo sensor.

No caso das imagens utilizadas neste estudo, a reflectância com correção atmosférica em quarenta amostras selecionadas na imagem de 2005 apresentou valores em média 14,7% superiores aos da reflectância não corrigida. Para a imagem de 2010, a média de aumento da reflectância corrigida foi de 16,4%. Nas duas imagens, o aumento

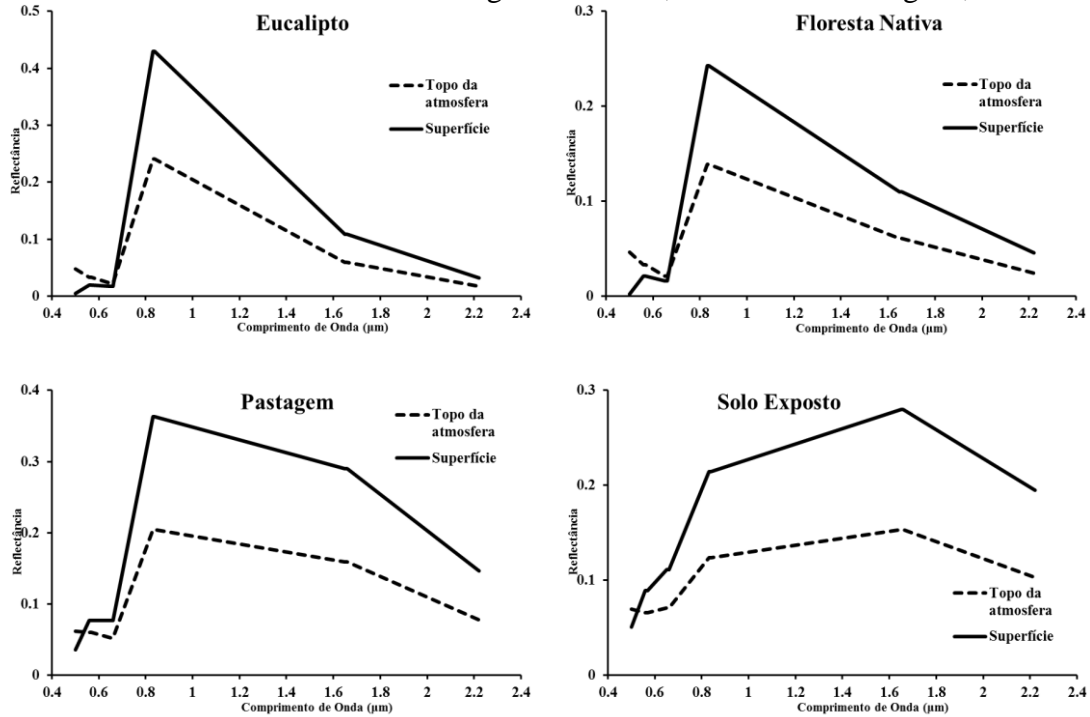


Figura 2. Reflectância de diferentes alvos obtida antes da correção atmosférica (topo da atmosfera) e depois da correção atmosférica (superfície) para a imagem TM de 2005.

da reflectância corrigida foi maior nas áreas de vegetação nativa (20,4% em 2005 e 23,6% em 2010) e de solo exposto (16,5% em 2005 e 19,5% em 2010). As áreas de pastagem tiveram aumento de 10,7% na reflectância corrigida de 2005 e 10,4% nas imagens de 2010, enquanto as áreas de plantações de eucalipto tiveram aumento de 11,3% em 2005 e 12,1% em 2010.

O coeficiente de determinação (R^2) entre os valores de NDVI com e sem correção atmosférica apresentou valores muito altos nas classes de solo exposto e pastagem (Figuras 3 e 4). O mesmo não ocorreu nas classes de eucalipto e floresta nativa, já que o NDVI satura em áreas com biomassa densa (Huete et al., 2002). Ainda assim, o valor de R^2 entre as imagens com e sem correção foi bastante alto quando as imagens foram analisadas como um todo (Figura 5).

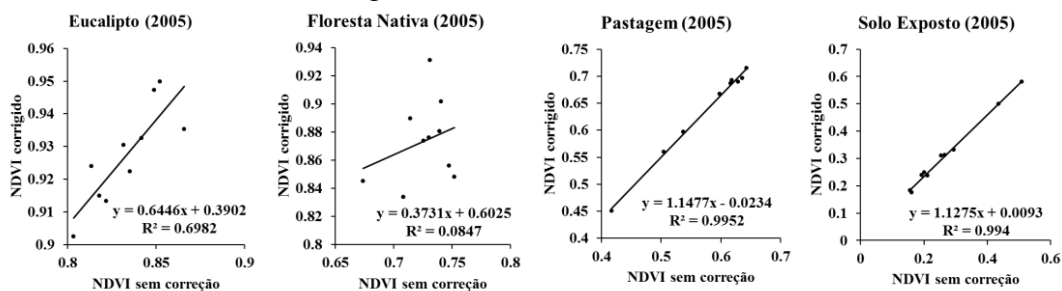


Figura 3. Comparação entre os valores de NDVI da imagem de 2005 sem e com correção atmosférica, linhas de tendência e valores do coeficiente de determinação (R^2) para cada classe de uso analisada.

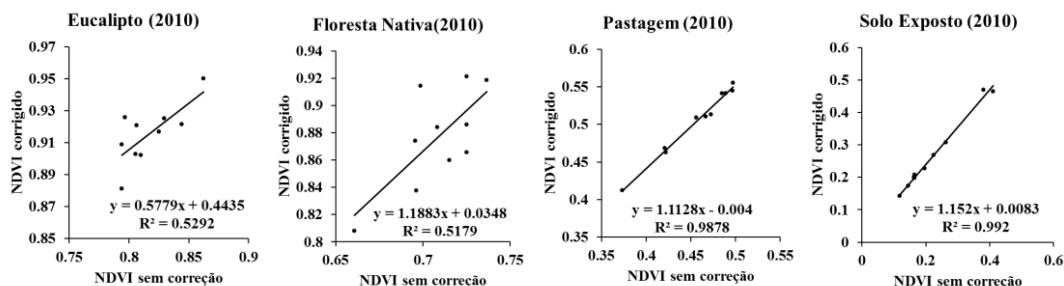


Figura 4. Comparação entre os valores de NDVI da imagem de 2010 sem e com correção atmosférica, linhas de tendência e valores do coeficiente de determinação (R^2) para cada classe de uso analisada.

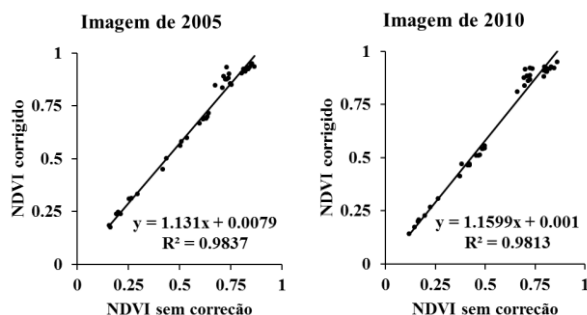


Figura 5. Comparação entre os valores de NDVI das imagens de 2005 e 2010 sem e com correção atmosférica, linhas de tendência e valores do coeficiente de determinação (R^2).

4. Considerações finais

Este trabalho apresentou uma metodologia de obtenção de parâmetros de entrada para modelos de correção atmosférica, baseada em produtos atmosféricos gerados pelo sensor MODIS.

Conforme esperado, os valores de NDVI dos alvos nas imagens corrigidas foram mais altos que os das imagens não corrigidas. A reflectância corrigida apresentou valores mais altos no espectro infravermelho e valores mais baixos no espectro visível, especialmente na banda do azul. Todos estes resultados indicam que a correção atmosférica foi realizada de maneira satisfatória.

Através desse método espera-se contribuir sobremaneira em procedimentos de correção atmosférica voltados para a comunidade científica. Nesse contexto, maiores detalhes sobre os procedimentos supracitados, assim como acervo de imagens corrigidas, podem ser acessadas no site www.cnpm.embrapa.br/projetos/agspec.

5. Agradecimentos

À equipe de pesquisa e desenvolvimento do projeto Agspec da Embrapa Monitoramento por Satélite, pela orientação e suporte às atividades desenvolvidas nesse trabalho.

6. Referências bibliográficas

- Acker, J. G.; Leptoukh, G. Online analysis enhances use of NASA Earth Science data. *Eos*, Transactions AGU, v. 88, n. 2, p. 14 e 17, 9 jan. 2007.
- 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., 1999. **Proceedings ...** v. 3753, 9 p. 1999.
- Berk, A.; Adler-Golden, S. M.; Ratkowski, A. J.; Felde, G. W.; Anderson, G. P.; Hoke, M. L.; Cooley, T.; Chetwynd, J. H.; Gardner, J. A.; Matthew, M. W.; Bernstein, L. S.; Acharya, P. K.; Miller, D.; Lewis,

P. Exploiting MODTRAN radiation transport for atmospheric correction: The FLAASH algorithm. In: International Conference on Information Fusion, 5., 2002. **Proceedings...**, v. 2, p. 798-803, 2002.

Embrapa Monitoramento por Satélite. **Projeto Agspec**. Disponível em: < <http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/agspec/index.html> >. Acesso em: 01 nov 2012.

Gao, B. C.; Montes, M. J.; Davis, C. O.; Goetz, A. F. H. Atmospheric correction algorithms for hyperspectral remote sensing data of land and ocean. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, Suplemento 1, p. S17-S24, 2009.

Guyot, G.; Gu, X. F. Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT-HRV and Landsat-TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 169-180, 1994.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

Ju, J.; Roy, D. P.; Vermote, E.; Masek, J.; Kovalsky, V. Continental-scale validation of MODIS-based and LEDAPS Landsat ETM+ atmospheric correction methods. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 175-184, 2012.

Levy, R. C.; Remer, L. A.; Dubovik, O. Global aerosol optical properties and application to Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer aerosol retrieval over land. **Journal of Geophysical Research – Atmospheres**, v. 112, n. D13, art. n. D13210, 2007.

National Aeronautics and Space Administration. **Giovanni - (GES) Data and Information Services Center – NASA**. Disponível em: < <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/index.html> >. Acesso em: 20 jul 2012a.

National Aeronautics and Space Administration. **Mirador Earth Science Data Search Tool – NASA**. Disponível em: <<http://mirador.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 20 jul 2012b.

National Oceanic and Atmospheric Administration . **CarbonTracker 2011 - ESRL Global Monitoring Division – NOAA**. Disponível em: < <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/carbontracker/> >. Acesso em: 20 jul 2012.

Peters, W.; Jacobson, A. R.; Sweeney, C.; Andrews, A. E.; Conway, T. J.; Masarie, K.; Miller, J. B.; Bruhwiler, L. M. P.; Petron, G.; Hirsch, A. I.; Worthy, D. E. J.; van der Werf, G. R.; Randerson, J. T.; Wennberg, P. O.; Krol, M. C.; Tans, P. P. An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange: CarbonTracker. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 48, p. 18925-18930, 2007.

Ponzoni, F. J.; Zullo Jr., J.; Lamparelli, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos, SP: Editora Parêntese, 2007. 80 p.

Qiu, J.; Zong X.; Zhang, X. A study of the scaling height of the tropospheric aerosol and its extinction coefficient profile. **Journal of Aerosol Science**, v. 36, n. 3, p. 361-371, 2005.

Research Systems Inc. FLAASH Module User's Guide. In: **IDL Assistant**, 2005.

Rocha Leão, O. M. **Evolução regressiva de redes de canais por fluxos de água subterrânea em cabeceiras de drenagem**: bases geo-hidroecológicas para a recuperação de áreas degradadas com controle de erosão. 2005. 247 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

Vermote, E. F.; El Saleous, N.; Justice, C. O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n. 1-2, p. 97-111, 2002.

Vianna, L. G. G.; Sato, A. M.; Coelho Netto, A. L. Expansão do eucalipto no vale do Rio Paraíba do Sul: subsídios aos estudos hidrológicos de bacias. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13., 2009. **Anais...**, seção 2, 13 p., 2009

Wong M. S.; Nichol, J. E.; Lee, K. H. Modeling of aerosol vertical profiles using GIS and remote sensing. **Sensors**, v. 9, p. 4380-4389, 2009.

Zullo Jr., J.; Bezerra, P. C.; Guyot, G.; Gu, X. Importância prática da correção atmosférica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 977-978.