

Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI

Ieda Del'Arco Sanches¹
Ricardo Guimarães Andrade¹
Carlos Fernando Quartaroli¹
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues¹

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
{ieda, ricardo, quarta, crisagr}@cnpm.embrapa.br

Abstract. The present study has compared three methods of atmospheric correction, two dark object subtraction (DOS) methods and one method based on the fourth component of the tasseled cap transformation (TC4), to obtain reflectance and NDVI values of Landsat 5 – TM satellite images. For each atmospheric correction method, reflectance and NDVI values of five targets (crop/pasture, forest, straw, bare soil and water) were analyzed in three images (Landsat path-row 222-75). The study area is localized in the west of Sao Paulo State, Brazil. The images were acquired on 29/10/2009, 02/02/2010 and 26/06/2010 with solar zenith angles of 28°, 34° and 55°, correspondingly. The TC4 was the only method which eliminated the haze in the image, but it is not recommended if the objective is to obtain reflectance values. The DOS methods did not removed the image haze but performed reasonably to obtain reflectance values. For the visible bands, both DOS methods analyzed performed well. The DOS method which considered the atmospheric transmittance (DOS2), although more indicated to correct the infrared bands, it is dependent of the image solar zenith angle. The image acquired under a zenith angle of 55°, after been corrected using the DOS2 method, presented reflectance values overestimated. Without the atmospheric correction the NDVI of vegetation targets tended to be underestimated.

Palavras-chave: dark object subtraction (DOS), tasseled cap transformation, remote sensing, multitemporal studies, solar zenith angle, subtração do pixel escuro, transformação tasseled cap, sensoriamento remoto, estudos multitemporais, ângulo zenital.

1. Introdução

A correção atmosférica de imagens de satélite é feita com a intenção de minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de uma cena, visto que a atmosfera, por causa dos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética, afeta a radiância refletida pela superfície que é captada pelo sensor. Dependendo da aplicação, nem sempre é necessário fazer a correção atmosférica, mas para estudos de monitoramento da superfície terrestre ao longo do tempo esse pré-processamento é imprescindível para deixar os dados multitemporais na mesma escala radiométrica (Song et al., 2001). A correção atmosférica também é necessária para o cálculo de índices de vegetação computados a partir de duas ou mais bandas espectrais, visto que as bandas são afetadas diferentemente pelo espalhamento atmosférico (Mather, 1999).

Técnicas e programas que visam corrigir os efeitos da atmosfera vêm sendo desenvolvidos e aprimorados. Para a aplicação de modelos baseados na teoria da transferência radiativa (Chandrasekhar, 1960), como o 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Vermote et al., 1997), é preciso ter informações sobre parâmetros da atmosfera local no horário de aquisição das imagens de satélite, o que permite um melhor embasamento físico na correção atmosférica. No entanto, a coleta de todos os parâmetros que permitam uma caracterização minuciosa e completa da atmosfera, sobre uma determinada área em um determinado instante, nem sempre é possível de ser realizada. Frequentemente modelos de atmosfera padrões (ex. tropical) são utilizados, mas isso resulta em perda de acurácia, a qual não pode ser avaliada (Mather, 1999). Além disso, a visibilidade atmosférica, que é um parâmetro de grande peso no resultado final da correção, muitas vezes é inferida. E como a visibilidade atmosférica varia bastante (Murakami et al, 2001), a chance de inferir

errado o valor desse parâmetro é grande. Neste contexto, o ideal seria um método de correção atmosférica baseado somente nos dados obtidos das imagens de satélite (Chavez, 2006).

O método de correção atmosférica DOS (*Dark Object Subtraction*) proposto por Chavez (1988 e 1989) é um método de correção do espalhamento atmosférico 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. No método DOS assume-se que há uma grande probabilidade de existir alvos (pixels) escuros nas imagens, como sombras ocasionadas pela topografia ou por nuvens, os quais deveriam apresentar um ND muito baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de reflectância (Chavez, 1989). Contudo, esses pixels sombreados apresentam valores de ND nas imagens superiores aos esperados, consequência do espalhamento atmosférico, e por isso esses pixels escuros servem de referência para a correção do espalhamento atmosférico. Para a aplicação da correção DOS, a partir da análise do histograma de frequência de NDs de uma das bandas da imagem, de preferência a banda de menor comprimento de onda, um valor de pixel escuro é escolhido. Em seguida, um modelo de espalhamento atmosférico é selecionado e o valor de espalhamento é estimado por banda espectral, sendo os valores de espalhamento estimados normalizados de acordo com os ganhos e *offsets* usados pelo sistema imageador para coletar os dados. A correção é feita pela subtração dos valores estimados para toda a imagem, assumindo um espalhamento uniforme em toda a cena, o que raramente acontece (Chavez 1988).

No método DOS mencionado acima (DOS1), o efeito aditivo do espalhamento atmosférico é corrigido, mas esse método não leva em conta a transmitância da atmosfera, que tem um efeito multiplicativo causado por espalhamento e absorção. Visando corrigir ambos os efeitos aditivos e multiplicativos, Chavez (1996) propôs uma modificação no método DOS1; ao invés de se adotar o valor um, a transmitância da atmosfera passou a ser estimada pelo cosseno do ângulo zenital. No presente estudo o método DOS1 modificado é denominado de DOS2.

Outro método de correção atmosférica foi proposto por Lavreau (1991). O autor desenvolveu um algoritmo para corrigir os efeitos causados por partículas de aerossóis (como bruma, fumaça, nuvens, etc., denominados pelo autor de *haze*) presentes nas imagens digitais de satélite. O método utiliza informações obtidas da própria imagem, e baseia-se no fato de que os efeitos atmosféricos nos dados obtidos na faixa espectral do infravermelho são diferentes dos efeitos atmosféricos na faixa espectral do visível. Na metodologia proposta por Lavreau (1991) o *haze* é quantificado usando-se o quarto parâmetro da transformação *tasseled cap* (TC4), o qual foi definido por Crist et al. (1986). Na transformação *tasseled cap* a maior parte da informação relacionada com os pixels da cena é explicada pelos três primeiros parâmetros (TC1 = brightness, TC2 = greenness and TC3 = wetness) sendo o quarto parâmetro (TC4 = haze) associado aos efeitos atmosféricos. O TC4 é computado a partir da combinação das seis bandas espectrais reflectivas do sensor TM do Landsat. Este parâmetro não depende da cena da imagem, sendo dependente apenas do sensor, ou seja, uma vez definido para um sensor específico (como exemplo o Landsat 5 - TM) o mesmo parâmetro funciona para qualquer cena obtida por este sensor. A fórmula para o Landsat 5 - TM é: $TC4 = 0,8461*TM1 - 0,7031*TM2 - 0,4640*TM3 - 0,0032*TM4 - 0,0429*TM5 - 0,0119*TM7 + 0,7879$ (Crist et al., 1986). Após ser computada, a componente *haze* (TC4) é removida e uma transformação *tasseled cap* inversa é aplicada, gerando a imagem corrigida.

O presente estudo objetivou analisar comparativamente os valores de reflectância de superfície e de NDVI obtidos a partir de três métodos de correções atmosféricas baseadas somente em dados das imagens Landsat 5 - TM (DOS1, DOS2 e correção baseada na componente *haze* da transformação *tasseled cap*).

2. Material e Métodos

O presente estudo foi realizado para cenas de imagens Landsat 5 - TM referentes à órbita-ponto 222-75, região oeste do Estado de São Paulo (Figura 1). Para as análises quantitativas foi delimitada uma área menor, a qual está destacada na Figura 1. Esse estudo faz parte do projeto MAPASTORE – Sustentabilidade e recuperação de pastagens: aspectos técnicos, ambientais e econômicos com transferência de tecnologia e tomada de decisão (CNPq processo 577174/2008-8). A área de estudo do projeto MAPASTORE está inserida nessa área delimitada para as análises quantitativas.

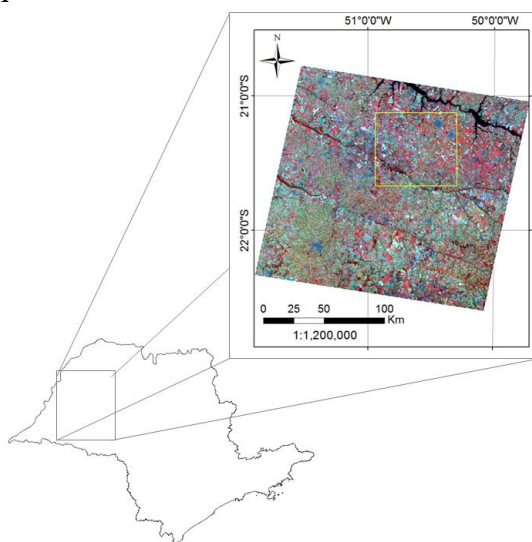


Figura 1. Localização da órbita-ponto 222-75 do satélite Landsat-5. Destacado em amarelo a área onde foram feitas as análises quantitativas do presente estudo.

Foram utilizadas três cenas Landsat 5 - TM adquiridas em 29/10/2009, 02/02/2010 e 26/06/2010. O Fluxograma com as etapas da metodologia utilizada pode ser observado na Figura 2. Efetuou-se o processamento das imagens no software ERDAS IMAGINE 2010. Primeiro, todas as imagens foram registradas com base no mosaico GeoCover 2000 por meio de transformações polinomiais de 1º grau e interpolação pelo método do vizinho mais próximo. Em seguida, realizou-se a correção atmosférica das imagens e a conversão dos níveis digitais (ND) em reflectância de superfície. Posteriormente, as imagens NDVI foram obtidas.

Para se fazer o cálculo da correção atmosférica segundo o método DOS juntamente com a conversão de ND para reflectância, foi utilizada a planilha eletrônica de Gurtler et al. (2005). Na planilha eletrônica os dados referentes às radiâncias mínima (L_{min}) e máxima (L_{max}) e à irradiância (E) do sensor TM foram atualizados de acordo com Chander et al. (2009). Para o cálculo do espalhamento atmosférico a banda TM1 foi utilizada como banda referência. Além do histograma da banda 1, os dados de entrada na planilha foram o tipo de sensor, a data da imagem e o ângulo de elevação solar. Para a aplicação do modelo DOS2 uma modificação foi feita na planilha eletrônica de Gurtler et al. (2005), para levar em conta a estimativa da transmitância da atmosfera pelo cosseno do ângulo zenital do sol. Em sequência, para obtenção das imagens corrigidas, utilizou-se a ferramenta *model maker* do software ERDAS IMAGINE 2010.

O algoritmo desenvolvido por Lavreau (1991) está disponível no software ERDAS IMAGINE 2010, na ferramenta denominada *Haze Reduction*. Neste trabalho adotou-se o termo TC4 para se referir a essa correção.

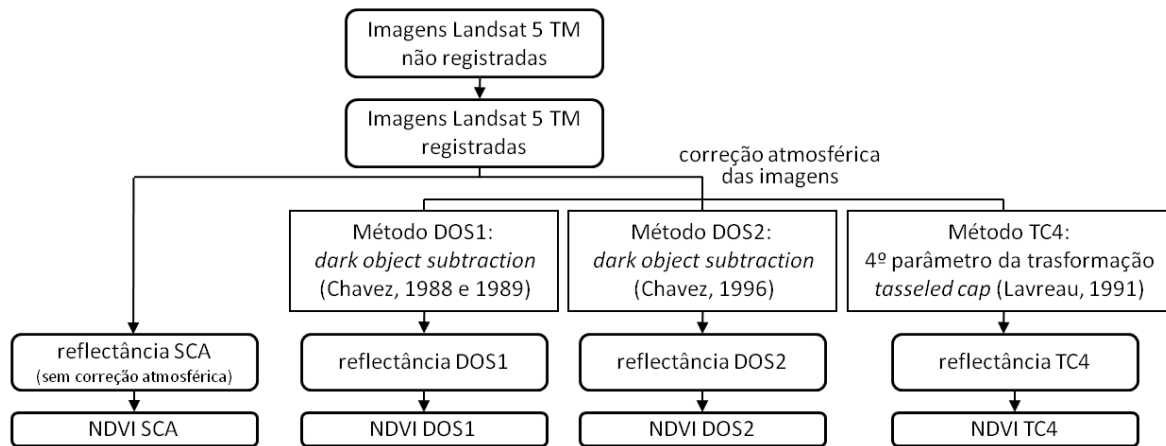


Figura 2. Fluxograma com as etapas da metodologia utilizada no trabalho para a obtenção dos valores de reflectância e NDVI.

Foram definidos cinco alvos para este estudo: vegetação1 (culturas agrícolas e pastagens), vegetação2 (mata), palhada, solo exposto e água. Em cada imagem foram selecionadas 10 áreas representativas de cada alvo. Na imagem do dia 02/02/2010 não foram encontradas áreas de solo exposto, por isso nessa data apenas quatro alvos foram analisados. Polígonos de no mínimo 25 pixels (5x5) foram criados no meio de cada área selecionada. Os valores de reflectância e NDVI apresentados neste trabalho correspondem à média da reflectância e NDVI, respectivamente, dos 10 polígonos (10x25 pixels) de cada alvo. Um teste-t pareado com nível de significância de 95% foi utilizado para verificar se as diferenças observadas entre as médias de NDVI são significativas.

3. Resultados e Discussão

Das três imagens analisadas, apenas uma pequena parte da cena do dia 02/02/2010 apresenta cobertura por neblina. Após fazer as correções atmosféricas nesta imagem, notou-se que a correção TC4 eliminou totalmente a neblina da imagem. As correções DOS1 e DOS2 não foram capazes de eliminar esse efeito atmosférico da imagem (Figura 3).

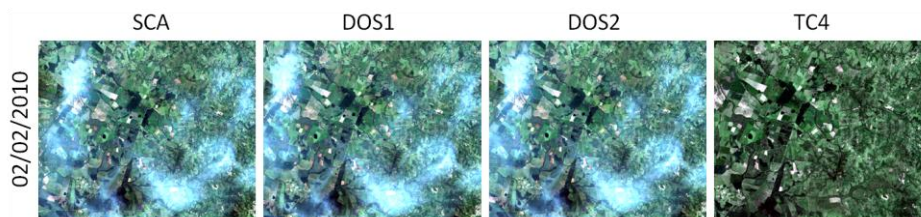


Figura 3. Recorte de uma área da cena 222-75 da imagem Landsat-5, do dia 02/02/2010, sem correção atmosférica (SCA) e com correção atmosférica segundo os métodos DOS1, DOS2 e TC4, na composição colorida RGB 321.

No presente estudo, ao se comparar os valores de reflectância aparente (SCA) com os de reflectância de superfície obtidos pelos três métodos de correção atmosférica aplicados (Figura 4), percebe-se que a reflectância TC4 pouco se diferencia da reflectância SCA. Ressalta-se que a área da cena 222-75 utilizada para esta comparação entre valores de reflectância (Figura 1) é uma área que estava livre de cobertura de neblina nas três datas analisadas, ou seja, a área mostrada na Figura 3 não entrou nessa análise. Com a correção TC4 a reflectância se manteve a mesma em todas as bandas espectrais ou teve uma pequena diminuição, para todos os alvos com exceção da palhada. No caso da palhada os valores de

reflectância tiveram um pequeno aumento em todas as bandas. Isso aconteceu porque a palhada foi espectralmente confundida com a neblina, principalmente nas bandas 1 e 2.

Após a correção atmosférica pelo método DOS1, de forma geral os valores de reflectância diminuíram nas bandas do visível (bandas 1, 2 e 3), se mantiveram ou diminuíram um pouco no infravermelho próximo (banda 4), e se mantiveram ou aumentaram um pouco nas bandas do infravermelho médio (bandas 5 e 7). Visto que o método DOS1 corrige somente o efeito do espalhamento atmosférico, uma correção maior nas bandas do visível era esperada. O espalhamento atmosférico possui um efeito aditivo sobre os valores de reflectância dos alvos que chegam ao sensor, e sendo esse efeito inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (espalhamento de Rayleigh), as bandas localizadas nas faixas espectrais de comprimentos de onda menores sofrem maior influência do espalhamento atmosférico. (Mather 1999). Com a aplicação do método DOS2, observou-se uma correção efetiva tanto nas bandas do visível como nas do infravermelho, o que era esperado, pois esse método leva em conta também a transmitância da atmosfera, que tem um efeito multiplicativo causado por espalhamento e absorção. A absorção atmosférica tem um efeito de subtração dos valores de reflectância nos comprimentos de onda maiores (infravermelho), o que é consequência da absorção da energia eletromagnética, nesta região do espectro, pelas moléculas de água na atmosfera (Mather 1999). Após a correção DOS2 das imagens de 29/10/2009 e 02/02/2010, a reflectância de todos os alvos analisados diminuiu nas bandas do visível e aumentou nas bandas do infravermelho. No caso da imagem de 26/06/2010 esse mesmo comportamento foi observado com exceção da reflectância da banda 3 dos alvos vegetação1, palhada e solo exposto, a qual aumentou.

No trabalho de Chavez (1996) os valores de reflectância de alvos de vegetação e solo exposto obtidos pelo método DOS2 (referido pelo autor como COST) diferem bastante dos valores de reflectância obtidos com o DOS1 (referido pelo autor como DOS). No presente estudo a correção DOS1 e DOS2 geraram resultados mais parecidos. Analisando a reflectância dos alvos de vegetação (Figura 4), nota-se que ambos os métodos DOS1 e DOS2 foram eficientes na correção das bandas do visível. Nos dados apresentados por Chavez (1996), para a vegetação, a melhor correção das bandas do visível foi obtida utilizando o método DOS1 enquanto o método DOS2 propiciou melhor correção no infravermelho (banda 4). Para a imagem corrigida do dia 26/06/2010 (Figura 4), observa-se que a correção DOS2 diferenciou-se mais da correção DOS1, em todas as bandas espectrais analisadas. No entanto, nas três imagens analisadas o modelo de espalhamento utilizado nas correções DOS foi o mesmo (λ^4), o pixel escuro adotado com base no histograma de frequência da banda 1 de cada imagem teve valor menor que 56, correspondendo a condição atmosférica muito limpa (Chavez, 1988). Na imagem do dia 26/06/2010 o ângulo zenital era de 55°, enquanto que nas imagens dos dias 02/02/2010 e 29/10/2009 esse ângulo era de 34° e 28°, respectivamente. Quanto maior o ângulo zenital, maior é o efeito da atmosfera. Na correção DOS2 a transmitância da atmosfera é estimada pelo cosseno do ângulo zenital, e mantido os outros parâmetros constantes, quanto maior o ângulo zenital, maior será o valor da reflectância corrigida e maior será a diferença entre os métodos DOS2 e DOS1. Segundo Chavez (1996), a aproximação da transmitância da atmosfera pelo cosseno do ângulo zenital é válida para ângulos zenitais entre 30° e 55°, supondo que a profundidade óptica esteja também dentro da faixa aceitável (0.08 e 0.3). Pesquisadores da Universidade do Arizona recomendam atenção para imagens com ângulo de elevação menor que 40° (ângulo zenital maior que 50°). Neste contexto, com a aplicação da correção DOS2, é possível que os valores de reflectância da imagem do dia 26/06/2010 tenham sido superestimados, assim como a reflectância da imagem do dia 29/10/2009 pode ter sido subestimada.

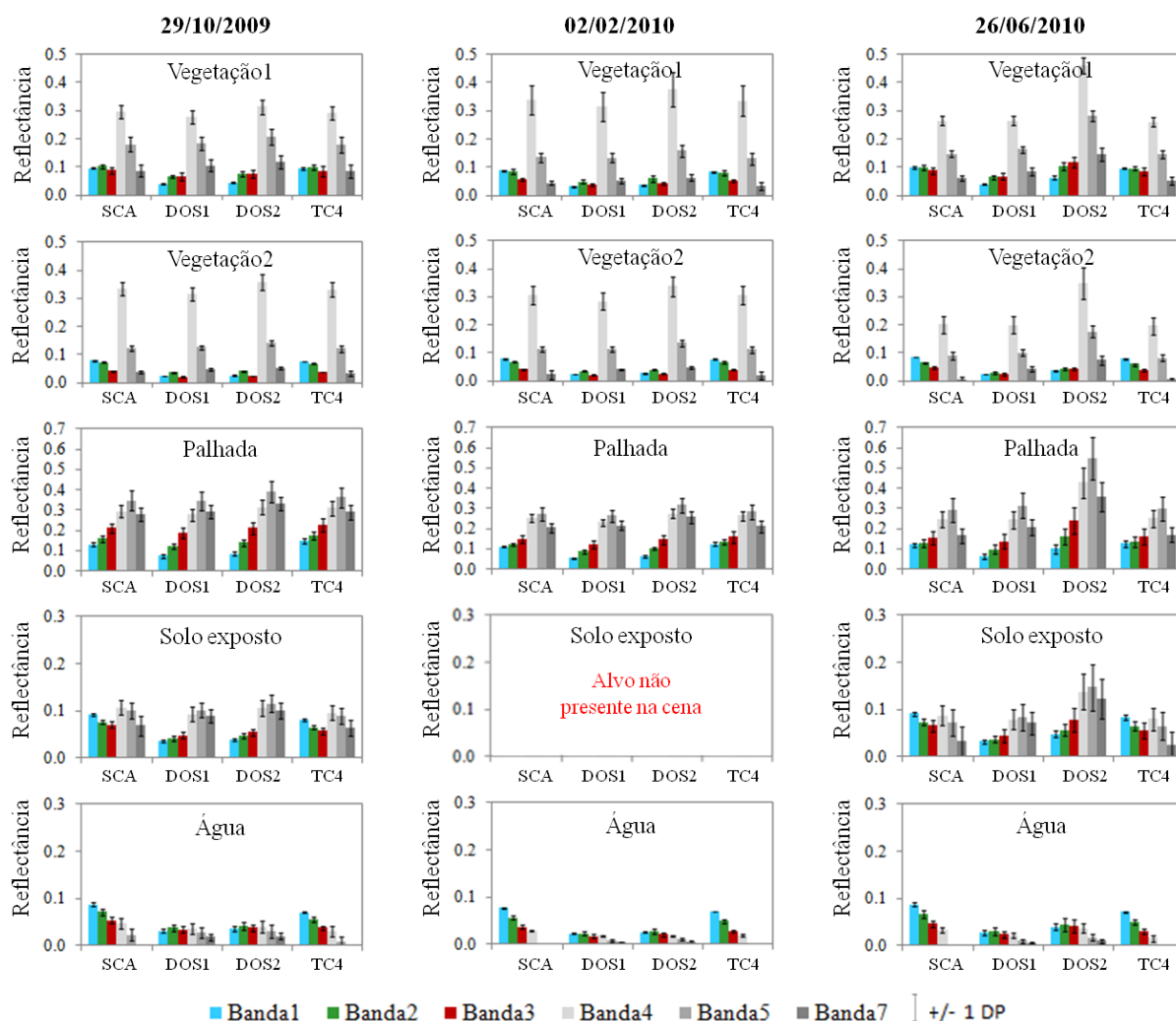


Figura 4. Valores médios de reflectância obtidos sem correção atmosférica (SCA) e com correção atmosférica (DOS1, DOS2 e TC4), por alvo (vegetação1, vegetação2, palhada, solo exposto e água), nas datas de 29/10/2009, 02/02/2010 e 26/06/2010.

O NDVI é sensível a influência atmosférica, e pode ter seu valor aumentado ou diminuído dependendo das condições atmosféricas durante a aquisição da imagem (Holben, 1986). Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de NDVI calculados com as reflectâncias SCA, DOS1, DOS2 e TC4, por alvo, para as três datas analisadas. Observa-se que sem a correção atmosférica o NDVI dos alvos de vegetação tende a ser subestimado. O mesmo foi relatado por Zullo Jr et al. (1996) ao comparar valores médios de NDVI calculados a partir de reflectância aparente e de reflectância de superfície obtida pelo programa SCORADIS.

Apesar da reflectância TC4 ter se diferenciado pouco da reflectância SCA, o NDVI TC4 foi diferente (teste-t, $p < 0,05$) do NDVI SCA em todos os casos com exceção da vegetação2 em 02/02/2010. Em algumas situações os quatro métodos utilizados geraram NDVIs diferentes (teste-t, $p < 0,05$) uns dos outros (vegetação2 e solo exposto em 29/10/2009, palhada em 02/02/2010 e vegetação2 e palhada em 26/06/2010), em outros casos o NDVI DOS1 e o NDVI DOS2 foram iguais (teste-t, $p < 0,05$) (vegetação1 e palhada em 29/10/2009 e vegetação1 e vegetação2 em 02/02/2010). Em três situações o NDVI SCA foi igual (teste-t, $p < 0,05$) ao NDVI DOS (vegetação1 em 29/10/2009 e 26/06/2010 e solo exposto em 26/06/2010). O NDVI DOS2 se diferenciou (teste-t, $p < 0,05$) do NDVI dos três outros métodos, para todos os alvos, na imagem de 26/06/2010.

Tabela 1. Valores médios de NDVI calculados com base na reflectância aparente (SCA) e nas reflectâncias de superfície (DOS1, DOS2 e TC4), por alvo (vegetação1, vegetação2, palhada e solo exposto), nas datas de 29/10/2009, 02/02/2010 e 26/06/2010.

	NDVI	Vegetação1	Vegetação2	Palhada	Solo exposto
29/10/2009	SCA	0,54 a	0,78 a	0,17 a	0,20 a
	DOS1	0,55 ab	0,86 b	0,09 b	0,22 b
	DOS2	0,54 a	0,84 c	0,09 b	0,21 c
	HR	0,55 b	0,79 d	0,16 c	0,25 d
02/02/2010	SCA	0,71 a	0,76 a	0,27 a	-
	DOS1	0,74 b	0,83 b	0,21 b	-
	DOS2	0,74 b	0,83 b	0,20 c	-
	HR	0,72 c	0,77 a	0,26 d	-
26/06/2010	SCA	0,52 a	0,62 a	0,23 a	0,14 a
	DOS1	0,53 ab	0,72 b	0,18 b	0,14 a
	DOS2	0,56 c	0,76 c	0,20 c	0,22 b
	HR	0,54 b	0,66 d	0,22 d	0,16 c

Valores médios seguidos de letras diferentes são diferentes (teste-t, $p < 0,05$).

- alvo não presente na cena nesta data.

Para o monitoramento de alvos de vegetação é comum analisar a dinâmica temporal do NDVI. No presente estudo (Tabelas 1 e 2), de acordo com o NDVI SCA, o NDVI médio da vegetação2 teve um redução de 2% da data de 29/10/2009 para 02/02/2010, e uma redução de 19% do dia 02/02/2010 para 26/06/2010. No entanto, ao considerar o NDVI DOS2 a redução dos valores de NDVI entre essas datas correspondem a 2% e 8%, respectivamente. Observa-se que a diferença de NDVIs da primeira para a segunda imagem não é muito grande entre os métodos de correção testados (-3% a -2%). Mas a diferença de NDVIs entre as imagens dos dias 02/02/2010 e 26/06/2010 teve grande variação (-19% a -8%). Esse exemplo mostra a importância de fazer uma correção atmosférica adequada para não gerar uma informação que não condiz com a realidade observada no campo.

Tabela 2. Diferença em porcentagem dos valores médios de NDVI da vegetação2 entre as datas de 29/10/2009 e 02/02/2010 e 02/02/2010 e 26/06/2010, para os quatro métodos comparados (SCA, DOS1, DOS2 e TC4).

Diferença (%) entre NDVIs	SCA	DOS1	DOS2	TC4
29/10/2009 - 02/02/2010	-2%	-3%	-2%	-3%
02/02/2010 - 26/06/2010	-19%	-13%	-8%	-14%

4. Conclusões

Recomenda-se a correção atmosférica baseada na componente *haze* da transformação *tasseled cap* (TC4) disponível no software ERDAS IMAGINE 2010 se o objetivo for remover neblina de imagens Landsat 5 - TM, no entanto essa correção não é indicada para a obtenção da reflectância de superfície de alvos. Os métodos DOS1 e DOS2 foram eficientes na correção atmosférica para obtenção da reflectância de superfície das bandas TM do visível. Para a correção das bandas TM do infravermelho o método DOS2 é mais indicado por considerar a transmitância da atmosfera, a qual é considerada igual a 1 no DOS1. No entanto, o DOS2 estima a transmitância atmosférica pelo cosseno do ângulo zenital, e a eficiência dessa estimativa depende do valor desse ângulo. Imagens com ângulos zenitais elevados, como a

imagem do dia 26/06/2010 (ângulo zenital de 55°), podem ter os valores de reflectância superestimados com a correção DOS2.

O NDVI é sensível a influência da atmosfera, e sem correção atmosférica o NDVI dos alvos de vegetação tende a ser subestimado. No entanto, é necessário fazer uma correção atmosférica adequada, caso contrário pode-se gerar uma informação que não corresponda à realidade observada no campo.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pelo auxílio à pesquisa (processo 577174/2008-8) e a CAPES pela bolsa de pós-doutorado.

5. Referências Bibliográficas

Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.

Chandrasekhar, S. **Radiative transfer**. New York: Dover Publications Inc., 1960, 393 p.

Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

Chavez Jr., P.S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, p. 1285-1294, 1989.

Chavez Jr., P.S. Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1025-1036, 1996.

Crist, E.P.; Laurin, R.; Cicone, R.C. Vegetation and soils information contained in transformed thematic mapper data. In: IGARSS '86 Symposium, 1986. **Proceedings...** European Space Agency SP-254, Paris, pp. 1465-1470, 1986.

Gurtler, S.; Epiphanyo, J.C.N.; Luiz, A.J.B.; Formaggio, A.R. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n.02, p. 162-167, 2005.

Holben, B.N. Characterization of maximum value composites from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.

Lavreau, J. De-hazing Landsat thematic mapper images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, n. 10, p. 1297-1302, 1991.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. New York: John Wiley & Sons, 1999, 292p.

Murakami, T.; Ogawa, S.; Ishitsuka, N.; Kumagai, K.; Saito, G. Crop discrimination with multitemporal SPOT/HRV data in the Saga Plains, Japan. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 7, p.1335-1348, 2001.

Song, C.; Woodcock, C.E.; Seto, K.C.; Pax-Lenney, M.; Macomber, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 230-244, 2001.

Vermote, E.F.; Tanré, D.; Deuzi, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum: an overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 675-686, 1997.

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