

Imagens fração de vegetação, solo e sombra geradas por modelo linear de mistura espectral para interpretação dos valores do NDVI em plantio de milho irrigado

Luan Peroni Venancio ¹
Cibele Hummel do Amaral ²
Roberto Filgueiras ¹

¹ Universidade Federal de Viçosa – DEA/UFV
Campus Universitário – 36570-900 - Viçosa - MG, Brasil
luan.venancio@ufv.br, betofilgueiras@gmail.com

² Universidade Federal de Viçosa – DEF/UFV
Avenida Purdue, s/n -Campus Universitário
Edif. Reinaldo de Jesus Araújo - 36.570-900
chamaral@ufv.br

Abstract. The aim of this study was to evaluate the contribution of fractions images, obtained from spectral mixture analysis, for interpretation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values in an area of corn irrigated by central pivot system, in western of Bahia, Brazil. We worked with seven images from OLI (Operational Land Imager) sensor onboard of the Landsat 8 satellite. The fraction images of green vegetation, soil and shade were generated in Viper Tools 1.5. In addition to the fraction images, the solar zenith angle was calculated for each one of the seven analyzed images. The results show that the fraction images of green vegetation, soil and shade, can provide a better interpretation of NDVI throughout the corn crop cycle. The shade component influences the NDVI of different forms during the cycle, as a function of the culture structural variations, since planting until harvest. Though the temporal variation of shade fraction has a high correlation with the solar zenith angle changes, the NDVI does not show the same behavior. Despite of the high correlation with fraction of green vegetation, the NDVI values were higher in all cycle phases. Thus, this index appears to overestimate the crop growing. Others vegetation indices must be tested for rightly monitoring the corn crop cycle through remote sensing.

Palavras-chave: remote sensing, vegetation index, fraction images, irrigated agriculture, sensoriamento remoto, índice de vegetação, imagens de fração, agricultura irrigada.

1. Introdução

Monitorar sistemas dinâmicos, como culturas de ciclo anual, é um desafio que demanda recursos científicos e tecnológicos compatíveis com as escalas espaciais e temporais em que eles ocorrem (Risso et al., 2012). Nesse contexto, o sensoriamento remoto orbital tem papel fundamental, pois através das suas tecnologias é possível, na maioria das vezes, realizar estudos de diversos processos que ocorrem no meio ambiente terrestres, dentro das escalas acima mencionadas. Os índices de vegetação talvez sejam a tecnologia mais simples derivada do sensoriamento remoto e, também, a mais utilizada no monitoramento de diversos sistemas agrícolas. Dentre os diversos índices de vegetação existentes, o mais comumente utilizado é o NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*; Rouse et al., 1973).

Para Jensen (2009), o NDVI apresenta diversas vantagens como permitir o monitoramento de mudanças sazonais e interanuais da atividade e do desenvolvimento da vegetação e a redução de ruídos, como sombras de nuvens, variações topográficas e diferença de iluminação solar, através da razão normalizada. O autor também enumera seus pontos negativos como sofrer a influência de radiação de trajetória atmosférica, apresentar saturação em relação a altos valores de Índice de Área Foliar (IAF) e ser sensível às mudanças do substrato sob o dossel (Jensen, 2009). Assim, sabendo que os pontos negativos do NDVI podem, em certos casos, comprometer sua eficiência, a utilização de informações adicionais

que permitam interpretar melhor o NDVI é de grande valia, como por exemplo, as imagens-fração derivadas dos modelos de análise de mistura espectral.

Os principais modelos de mistura espectral são o modelo linear de mistura espectral (MLME) e o modelo de análise de mistura espectral com múltiplos membros finais (MESMA), desenvolvidos por Shimabukuro e Smith (1991) e Roberts et al. (1998), respectivamente. O MESMA é a técnica de análise de mistura espectral mais utilizada e eficaz atualmente (Somers et al., 2011), sendo mais indicada para a decomposição espectral do pixel de regiões heterogêneas, como por exemplo as áreas urbanas, especialmente quando se utiliza dados hiperespectrais (Herold et al., 2003; Franke et al., 2009). Em áreas como as de milho irrigado por pivô central, que apresentam grande homogeneidade, o MLME pode ser eficientemente aplicado em detrimento ao MESMA, isso é vantajoso, pois o MESMA é uma técnica um pouco mais trabalhosa.

O MLME é considerado um modelo geral, mais simples, em que se busca a identificação de alvos básicos na natureza, comuns a qualquer imagem de satélite, como a vegetação fossinteticamente ativa (verde), o solo exposto e os corpos hídricos (Ferreira et al., 2008). Por meio desta técnica pode-se gerar imagens-fração de vegetação, solo e sombra, úteis para estudos de mapeamento, classificação, e também, estudos envolvendo a compreensão da dinâmica do NDVI e da influência por ele sofrida, principalmente da sombra presente no cultivo.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição das imagens-fração, principalmente da fração sombra, provenientes do modelo de linear de mistura espectral para interpretação dos valores do NDVI em uma área de milho irrigado por pivô central, no oeste da Bahia, Brasil.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado utilizando um pivô central cultivado com milho grão, com uma área de aproximadamente 90 hectares, localizado nas coordenadas geográficas 13°12'11.95" S e 43°43'10.55" O. A área de estudo fica no município de Serra do Ramalho, oeste do estado da Bahia, Brasil. O milho foi semeado no dia 06 de maio de 2015, *day of year* 126 (DOY 126) e colhido no dia 02 de setembro de 2015 (DOY 245), com um ciclo de 119 dias.

2.2 Processamentos

A obtenção das imagens fração de vegetação, solo e sombra foi feito no software ENVI 5.1 por meio da ferramenta *Viper Tools 1.5 (Visualization and Image Processing for Environmental Research Tools)*, desenvolvida por Roberts et al. (2007). O *Viper Tools* permite a aplicação da *Spectral Mixture Analysis - SMA* (como o MLME) e também da *Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis - MESMA*. Ele é uma ferramenta de distribuição gratuita que possui várias opções para auxiliar a geração e a edição de bibliotecas espectrais, a criação de arquivos metadados e principalmente, para auxiliar a seleção dos melhores *endmembers* em uma imagem.

O primeiro passo do processo foi realizar o empilhamento (*Layer Stacking*) das bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do sensor OLI (*Operational Land Imager*) a bordo do satélite Landsat 8 e fazer uma composição colorida RGB 654, visando destacar os alvos vegetação e solo. A partir desta imagem colorida, fez-se a seleção dos “candidatos” à membros-finais, no inglês, chamados de *endmembers*. A partir dos *endmembers* “candidatos” definidos, fez a aplicação do SMA, gerando as imagens-fração de vegetação, solo e sombra. Essas frações foram carregadas na composição RGB, na ordem solo, vegetação e sombra, respectivamente, o que gerou um destaque individual dos componentes vegetação, solo e sombra, contribuindo para a

seleção dos *endmembers* definitivos, que são pixels cuja a resposta espectral está de acordo com a assinatura espectral dos alvos em questão (Adams et al., 1993; Roberts et al., 1998). Para tal, contou-se com o auxílio de um gráfico contendo tais assinatura nos diversos comprimentos de onda de espectro ótico (i), um gráfico de dispersão em 2 dimensões (fração de sombra, no eixo x, e fração de solo ou de vegetação, no eixo y) (ii), e a imagem com valores de erro quadrático médio (RMSE). A Figura 1, mostra a resposta espectral dos componentes vegetação e solo nas diversas bandas do sensor OLI, selecionados como *endmembers* definitivos. O *Viper Tools* permite que a componente sombra seja calculada pela diferença entre o somatório definido pelo usuário e os valores das outras componentes, dispensado o usuário da seleção de *endmembers* desta componente.

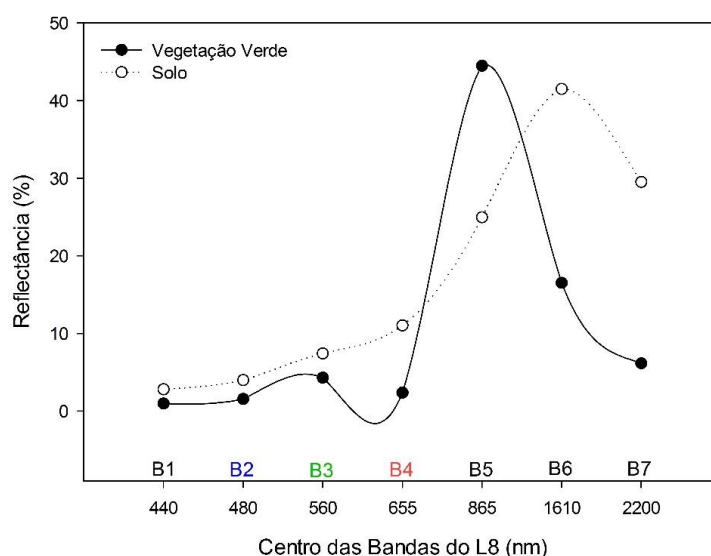


Figura 1. Espectros selecionados como *endmembers*, obtidos do mosaico de sete bandas do sensor OLI para obtenção das imagens-fração.

Com a aplicação do MESMA ou SMA simples no *Viper Tools* 1.5, os erros de fração são minimizados através da seleção de um modelo matemático de melhor ajuste para cada pixel da imagem. O ajuste do modelo é feito com base erro quadrático médio (*Root Mean Square Error*, RMSE), no qual o valor máximo foi estabelecido em 2,5% neste trabalho. Além disso, estabeleceu-se a restrição de que os somatórios das frações fossem igual a 1. Como passo final, o modelo para cada pixel com menor RMSE é identificado e as frações definidas. A Figura 2, representa o resultado do final da aplicação do SMA na geração das imagens-fração.

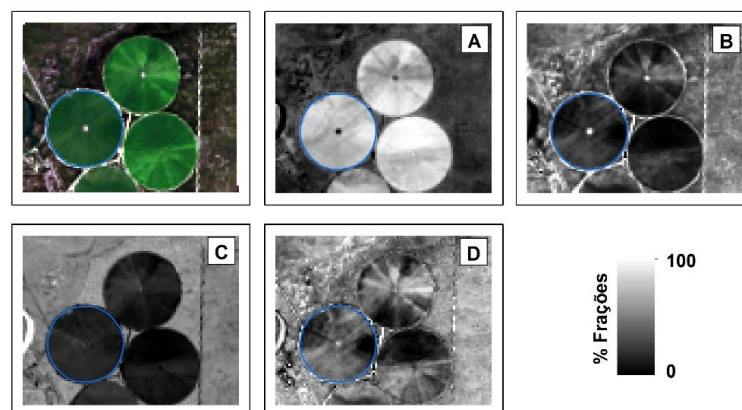


Figura 2. Composição colorida RGB (432) e imagens fração de vegetação (A), solo (B) e sombra (C) e imagem resíduo (D) resultante da aplicação do MLME para o DOY 170.

A interpretação das imagens-fração é feita da seguinte forma, quanto mais a cor do pixel se aproxima do branco, maior a proporção do componente naquele pixel. Por exemplo, na imagem fração vegetação (A), o pivô analisado (circulado de azul) está com a tonalidade esbranquiçada o que significa que há grande proporção de vegetação naqueles pixels, que é confirmado pela imagem RGB432. Na imagem fração solo (B) e sombra (C), observa-se que a mesma área está bem escura, o que significa pouca presença dos componentes solo e sombra, nas respectivas imagens fração. A imagem resíduo (D), representa os pixels que não foram modelados e assim, fornecem uma ideia sobre a eficiência do modelo.

O SMA foi aplicado a todas as sete imagens disponíveis sem a presença de nuvem ao longo do ciclo da cultura do milho, iniciado em 06 de maio de 2015 (DOY 126) e finalizado em 02 de setembro de 2015 (DOY 245). Utilizou-se um único conjunto de *endmembers* selecionados no DOY 138, para geração das imagens fração em todas as setes imagens. A partir das imagens fração de vegetação, solo e sombra e do NDVI, foram escolhidos aleatoriamente, dentro da área do pivô central estudado, 236 pixels para extração das informações e, posteriormente, construiu-se gráficos de dispersão entre o NDVI e as frações para compreender a dinâmica desse índice com as variações destas frações. Determinou-se também, o ângulo zenital solar (AZS) para cada uma das sete imagens, para auxiliar no entendimento, principalmente do fator sombra sobre o NDVI.

2.3 Softwares Utilizados

Foram utilizados simultaneamente em diferentes etapas do trabalho os seguintes softwares: Arcgis 10.3 (ESRI, Redlands, Califórnia, USA), QGIS 2.8.8 (OSGeo, Oregon, USA) e ENVI 5.3 (Exelis VIS, Boulder, Colorado, USA) através da ferramenta *Viper Tools* 1.5 (Roberts et al., 2007).

3. Resultados e Discussão

Na Figura 3 estão apresentados os gráficos de dispersão que correlacionam o NDVI com as frações de vegetação, solo e sombra, para cada uma das sete imagens, com seus respectivos modelos resultantes da regressão linear. Verifica-se altos coeficientes de determinação ($R^2 > 0,92$) entre o NDVI e a fração vegetação nos DOY 154 e DOY 186, período em que o milho se encontra em pleno desenvolvimento vegetativo. O NDVI e a fração solo são caracterizados por uma correlação negativa, em que o aumento do NDVI implica na redução da fração solo, resultado esperado em função da cobertura do solo pelas folhas do milho. A inclinação da regressão é acentuada com o aumento da área foliar.

A fração sombra, no aspecto quantitativo, apresentou pequena variação, com valor mínimo de 10 e máximo de 16%. No aspecto qualitativo, a sombra influenciou o NDVI de forma diferenciada em função da fase fenológica. No começo do ciclo, DOY 138 e DOY 154, observa-se um aumento do NDVI com o aumento da componente sombra, apesar dos baixos valores de R^2 . Já nos DOY 170 e DOY 186 observa-se diminuição dos valores de NDVI, com o aumento do fator sombra. E nas demais datas, pouca influência é observada.

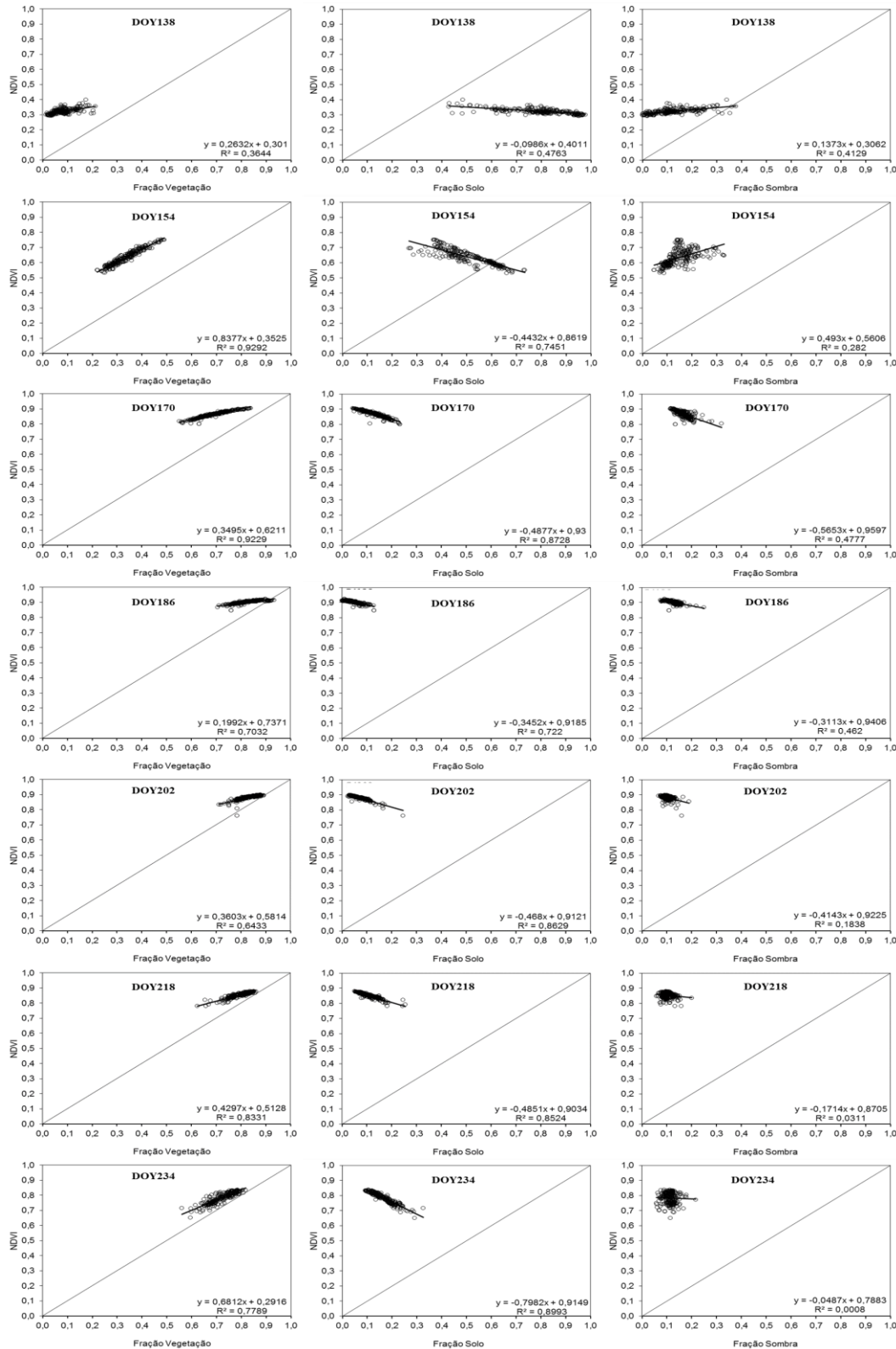


Figura 3. Gráficos de dispersão entre o NDVI e as imagens-fração de vegetação, solo e sombra em diferentes DOY.

A discussão da influência do fator sombra sobre os índices de vegetação, não é uma tarefa simples, pelo fato da sombra interagir com diferentes elementos presentes na área de interesse à medida que a cobertura do solo muda, resultando em respostas espectrais diferentes. Nas primeiras semanas do ciclo da cultura do milho, a sombra provocada pela cultura, acaba incidindo mais fortemente sobre o solo e, ou, palhada do que sobre as folhas mais baixas da

cultura e, como o solo ainda se encontra exposto, é possível ter reflectância registrada pelo sensor imageador de um “solo sombreado” (Figura 4A). Quando se avança para a 7 e 8ª semana, pelo solo estar coberto, o sensor imageador passa a registrar a resposta espectral das “folhas sombreadas” e não mais de um solo e, ou, palhada sombreada (Figura 4B). Como “solo sombreado” é diferente espectralmente de uma “folha sombreada” a influência da sombra sobre os índices será diferenciada nas diferentes fases da cultura.



Figura 4. Exemplo de um plantio de milho com 4 e 5 semanas (A) e milho na fase adulta, com 7 a 8 semanas (B).

Fonte: AgroServices (2016) e Embrapa (2015).

Na Figura 5 encontram-se os valores médios de NDVI, fração vegetação, solo e sombra para os 236 pixels selecionados em cada uma das sete imagens, além do AZS. Observa-se pouca variação do fator sombra ao longo do ciclo, com um valor médio de 12,7 %. A fração solo e a fração vegetação apresentaram uma relação inversamente proporcional ao longo de todo o ciclo. Os valores de NDVI, foram superiores aos da fração vegetação ao longo de todo ciclo. Levando em conta essa superestimativa do NDVI em relação a imagem fração de vegetação, somada a sua susceptibilidade aos efeitos de *background* e ao fator sombra, o NDVI pode não ser a melhor opção para estudos de mudanças de cobertura vegetal, interpretações biofísicas e da fenologia da cultura do milho. Porém, índices de vegetação, como o NDVI, acabam sendo mais utilizados nestes estudos em detrimento as imagens fração vegetação pela sua simplicidade de obtenção.

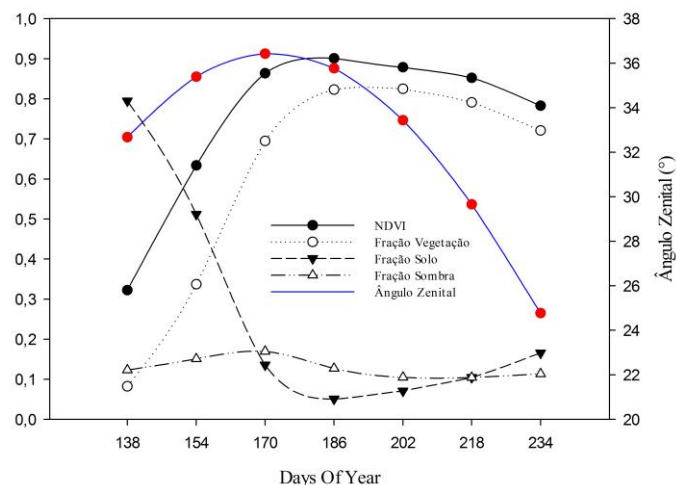


Figura 5. Valores médios de NDVI, fração vegetação, fração solo, fração sombra e ângulo zenital solar para os diferentes DOY analisados.

O AZS é um fator importante em estudos de sensoriamento remoto e que pode auxiliar no entendimento da influência da sombra sobre o NDVI, pois as suas variações provocam mudanças na projeção das sombras. Observa-se na Figura 5 um aumento do AZS a partir do DOY 138 até o DOY 170, aonde atinge seu maior valor ($36,43^\circ$) dentre as datas estudadas. Nos DOY posteriores o AZS decrescente linearmente até atingir seu menor valor ($24,77^\circ$) no DOY 234. Em complementação, observa-se na Tabela 1 que a fração sombra é influenciada pelo AZS ($R = 0,62$). Porém, o AZS não demonstrou correlação com NDVI, considerando as sete imagens analisadas. Isso indica que a influência da fração sombra no NDVI varia ao longo do ciclo, parecendo estar associada tão somente às variações estruturais da vegetação. O NDVI não apresentou correlação com o AZS. Galvão et al. (2004) estudaram o efeito do AZS e do ângulo de visada sobre o NDVI e verificaram aumento dos valores de NDVI com o aumento no ângulo zenital para diversas superfícies analisadas, especialmente em áreas com influência do *background*, ou seja, locais com o solo mais exposto.

Tabela 1. Análise de correlação entre as frações, NDVI e AZS.

	NDVI	Vegetação	Solo	Sombra	AZS
NDVI	1				
Vegetação	0,970732	1			
Solo	-0,98447	-0,99648	1		
Sombra	-0,05993	-0,26512	0,183337	1	
AZS	0,020767	-0,14334	0,091525	0,629671	1

4. Conclusões

O estudo mostrou que as imagens-fração de vegetação fotossinteticamente ativa, de solo e de sombra, podem propiciar uma melhor interpretação do NDVI ao longo do ciclo da cultura do milho.

A componente sombra influencia o NDVI de forma diferenciada ao longo do ciclo dessa cultura, o que parece ser função das variações estruturais da cultura, do plantio à colheita. Embora a variação temporal da fração sombra apresente alta correlação com as mudanças em ângulo zenital solar, o NDVI não demonstra apresentar o mesmo comportamento.

Apesar da alta correlação com a imagem fração de vegetação, o NDVI foi superior a mesma em todas as datas estudadas, o que indica que este índice superestima a dinâmica vegetal da cultura do milho. Assim, recomenda-se a avaliação da aplicabilidade de outros índices de vegetação para o monitoramento remoto dessa cultura.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro e ao terceiro autor. A empresa IRRIGER - Gerenciamento e Engenharia de Irrigação pelo fornecimento de informações da área de estudo. Os autores também agradecem à Sulsoft pela cessão de licença temporária do software ENVI, para processamento dos dados.

Referências Bibliográficas

Adams, J.B.; Smith, M.O.; Gillespie, A.R. Imaging spectroscopy: Interpretation based on spectral mixture analysis. In: Pieters, C.M.; Englert, P.A.J. (Eds.). **Remote Geochemical Analysis: Elemental and Mineralogical Composition**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. v. 7, p. 145-166.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Milho segunda safra: a bola da vez**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-lpf/busca-de-noticias/-/noticia/5051619/milho-segunda-safra-a-bola-da-vez>>. Acesso em: 04 out. 2016.

Ferreira, L.G.; Ferreira, N.C.; Ferreira, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

Franke, J.; Roberts, D.A.; Halligan, K.; Menz, G. Hierarchical multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA) of hyperspectral imagery for urban environments. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 8, p. 1712-1723, 2009.

Galvão, L.S.; Ponzoni, F.J.; Epiphanyo, J.C.N.; Rudorff, B.F.T.; Formaggio, A.R.L. Sun and view angle effects on NDVI determination of land cover types in the Brazilian Amazon region with hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1861-1879, 2004.

Herold, M.; Gardner, M.E.; Roberts, D. A. Spectral resolution requirements for mapping urban areas. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 41, n. 9, p. 1907-1919, 2003.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Rede Agroservice - pelo desenvolvimento do agronegócio. **Período de plantio da safrinha do milho no Centro-Sul começa na sexta**. 2016. Disponível em:<<https://www.redeagroservices.com.br/Noticias/2016/01/Periodo-de-plantio-da-safrinha-do-milho-no-Centro-Sul-comeca-na-sexta.aspx>>. Acesso em: 04 out. 2016.

Risso, J.; Rizzi, R.; Rudorff, B.F.T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y.E.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1317-1326, 2012.

Roberts, D.A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G.; Green, R.O. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 267-279, 1998.

Roberts, D.A.; Smith, M.O.; Adams, J. B. Green vegetation, nonphotosynthetic vegetation, and soils in AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, n. 2, p. 255-269, 1993.

Roberts, D.A.; Halligan, K.; Dennison, P. **VIPER Tools User Manual (Versão 1.5)**. Santa Barbara: University of Califórnia Santa Barbara, 2007, 91 p.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with erts**. In: Third ERTS Symposium. [S.l.]: NASA, v. 1, p. 309-317, 1973.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

Somers, B.; Asner, G.P.; Tibs, L.; Coppin, P. Endmember variability in spectral mixture analysis: A review. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 7, p. 1603-1616, 2011.