

Comportamento espectral dos diferentes estágios fenológicos na cultura do feijão

¹Guilherme Fernando Capristo Silva
¹Marcos Rafael Nanni
²Carlos Antonio da Silva Junior
¹Luis Guilherme Teixeira Crusiol
¹Renato Herrig Furlanetto
³Cassiele Uliana Facco
¹Taiana Loan de Lima Campos
¹Jéssica Saldanha Souza
¹Monica Sacioto

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Avenida Colombo, 5790 – CEP 87020-900 – Maringá, Brasil.
(guilhermecapristo51@gmail.com; mrnanni@uem.br; luisguilherme_crusiol@hotmail.com;
renatohfurlanetto@hotmail.com; cassieleuliana@hotmail.com; taianacampos@hotmail.com;
jessicasaldanha.souza@gmail.com; monicasacioto@gmail.com)

²Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias (FACBA) – Alta Floresta - MT
Geotecnologia Aplicada em Agricultura e Floresta (GAAF). Av. Perimetral Deputado
Rogério Silva - Norte 2, Alta Floresta – MT, Brasil. (carlosjr@unemat.br)

³Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento - Universidade Estadual de
Maringá (UEM). Avenida Colombo, 5790 – Maringá, Brasil. (cassieleuliana@hotmail.com)

Abstract. Among the various methods available for the study of vegetated areas and cultures using the spectral reflectance highlights the use of vegetation indices, so that they can measure some parameters of interest, including, indicators of growth and vigor of the vegetation. Among them stands out the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) that relates the reflectance between the near infrared range (700-1000 nm) and red (600-650 nm). The aim of this work was to study the behavior of the NDVI vegetation index at different growth stages in the bean crop by using digital still images. The work was conducted in greenhouse using of plastic vessels with a volume of 0,008 m³, to compose the experimental plots in a completely randomized design (CRD) with five treatments (phenological stages V4, R6, R7, R8 and R9) and eight repetitions, seeded with the bean cultivar IPR Tangara. The acquisition and processing of images were performed at the phenological stages V4, R6, R7, R8 and R9 through the use of a digital camera Fujifilm IS Pro[®] 5 UVIR with filters in the visible and infrared. For the statistical analysis we used the SISVAR[®] program to verify the significance by t test at 5% probability. There was a significant difference for most phenological stages, concomitant with the gradual increase in NDVI values as the development of culture, especially in relation between the vegetative and reproductive stages, may be concluded that the use of properly prepared digital cameras capturing the spectral range referring to the index, it has great potential in the evaluation in monitoring the development of the bean crop.

Keywords: vegetation index, bean culture, time domain reflectometry, digital camera.

1.Introdução

O monitoramento de sistemas dinâmicos, como as culturas de ciclo anual, possui um grande desafio e demanda de recursos científicos e tecnológicos compatíveis com as escalas espaciais e temporais em que elas ocorrem (RISSO et al., 2012), sendo passível de constantes mudanças e necessitando de pesquisas na área.

Segundo Mather (1999), o estudo das relações entre a energia eletromagnética e as culturas agrícolas, aliado às técnicas de sensoriamento remoto, permite múltiplas utilizações

dessa metodologia relacionadas à agricultura. Além disso, fornece um conjunto de técnicas úteis na caracterização dinâmica dos fenômenos que ocorrem nas áreas agrícolas (PORTILLO et al., 2003).

O diferencial do sensoriamento remoto é a sua aquisição de informações para as diversas áreas de conhecimento, entre elas as ciências agrárias, sendo uma técnica rápida e menos onerosa, não somente para uso agrícola, mas também para os estudos ambientais (GENÚ, 2006).

Dentre as ferramentas, a mais utilizada em sensoriamento remoto são os índices de vegetação, principalmente o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Este contém uma capacidade de detectar de maneira sensível a presença de pigmentos fotossintetizantes, em particular a clorofila (HUETE et al., 2002). Consistindo a partir da razão e subtração de bandas no espectro do vermelho e infravermelho próximo (ARAÚJO et al., 2014), sendo um dos índices espectrais mais utilizados mundialmente.

O comportamento temporal do NDVI pode ser utilizado para detectar variações sazonais e interanuais na fenologia de culturas, seja no período inicial de crescimento, no pico de crescimento, mudanças fisiológicas na planta e períodos de senescência (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007), e tem-se obtidos resultados satisfatórios no monitoramento dessas mudanças na vegetação (JUNGES & FONTANA, 2009).

A sofisticação de algumas câmeras fotográficas digitais disponíveis no mercado mundial, tem sido estudada sua aplicação à campo em estudos de sensoriamento remoto, como na estimativa de crescimento e estado nutricional de nitrogênio do arroz (LEE e LEE, 2013), em doses de nitrogênio na cultura do milho (GASPAROTTO, 2014), no índice de área foliar em Eucalipto (MACFARLANE et al., 2007), nas respostas espectrais em diferentes fases de um pomar de laranjeira (PARISE e VETTORAZZI, 2005), entre outros.

Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento espectral da cultura do feijão utilizando o índice NDVI em diferentes estádios fenológicos, mediante a obtenção de imagens por câmera digital durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

2. Metodologia de Trabalho

O trabalho foi conduzido em ambiente protegido situado na unidade de pesquisa em agricultura irrigada, Centro Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), situado na Latitude de 23° 25' ao Sul e Longitude de 51° 57' a Oeste de Greenwich. O experimento foi realizado a partir do dia 13 de Março até o dia 11 de Junho com duração total de 90 dias.

O solo utilizado foi um NITOSSOLO VERMELHO distroférrico possuindo em sua composição granulométrica 175 g kg⁻¹ de areia, 90 g kg⁻¹ de silte e 735 g kg⁻¹ de argila. O solo para a construção das parcelas experimentais foi coletado a uma profundidade de 0,20 m e peneirado utilizando uma malha de 0,004 m, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). As parcelas experimentais foram constituídas por vasos de material plástico com volume total de 0,008 m³, possuindo um volume de solo útil de 0,006 m³.

A correção da fertilidade do solo foi realizada conforme sua análise química de acordo com a recomendação técnica para a cultura do feijoeiro (IAPAR, 2003). Para o cálculo da necessidade de adubo foi considerado uma planta por parcela experimental adotando-se uma densidade de semeadura de 200000 plantas por hectare com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 10 plantas por metro, correspondente à população recomendada para a cultivar IPR Tangará.

A semente utilizada neste experimento foi da cultivar IPR Tangará, tendo como características principais ser do grupo carioca, apresentar hábito de crescimento indeterminado, possuir o porte ereto com guias longas (tipo IIB) e ciclo médio de 87 dias da emergência a colheita, com potencial produtivo médio de 3.326 kg.ha⁻¹.

As sementes foram tratadas com fungicida Vitavax[®] e inseticida Tiodicarbe[®] 350 SE nas dosagens de 0,3 e 1,5 L/100kg de sementes. A semeadura foi realizada com cinco sementes por parcela, com posterior desbaste aos 15 dias após a semeadura, permanecendo apenas uma planta por parcela.

Para o manejo da água no solo, utilizou-se os potenciais limítrofes de água no solo correspondentes a umidade conforme o modelo que descreve a curva de retenção de água no solo ajustado por Blainski (2007), seguindo o modelo de Ross et al. (1991). Sendo assim, a densidade do solo (ρ_s) calculada neste experimento foi de $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$, e assumida a umidade do solo na capacidade de campo (θ_{CC}) com potencial de -60 hPa correspondente ao valor de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Em relação ao momento adequado de reposição de água, foi utilizado o valor de $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ correspondente ao potencial de -300 hPa , considerada como a umidade limite.

A umidade das parcelas experimentais foi monitorada duas vezes ao dia, sendo no início da manhã e no fim da tarde, utilizando-se o aparelho TDR (*Time Domain Reflectometry*) modelo 6050X1 TRASE SYSTEM 1. Nas parcelas continham sondas artesanais com hastes de 0,20 m de comprimento fixadas após a realização da saturação com água conforme a metodologia descrita por Trintinalha et al. (2001). As medidas da constante dielétrica aparente (K_a) foram obtidas diariamente e a densidade do solo das parcelas foram inseridas no modelo apresentado na Equação 1, proposta por Trintinalha (2005), para obter o valor da umidade do solo. Este valor permitiu realizar a irrigação com auxílio de uma proveta graduada em mililitros.

$$\theta = (0,842538 - 0,725175 * \rho_s) + (-0,049601 + 0,060353 * \rho_s) * K_a + (0,001044 - 0,001061 * \rho_s) * K_a^2 \quad (1)$$

Durante a execução do experimento foi aplicado inseticida Abamectina[®] na dosagem de $1,8 \text{ mL.L}^{-1}$ contra a incidência de ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*). A inserção de um tutor foi necessária conforme o avanço do ciclo da cultura para o melhor desenvolvimento das plantas.

A aquisição das imagens e sua transformação para reflectância (ρ) foi realizada conforme a metodologia proposta por Gasparotto (2014) mediante o uso de uma câmera fotográfica digital Fujifilm IS Pro[®] 5 UVIR (12.1 megapixels), a qual não possui filtro interno bloqueador da luz infravermelha. A câmera constitui-se de um sensor Super CCD SR PRO (16 bits) com sensibilidade para captar a luz da radiação ultravioleta (UV) ao infravermelho (IV) do espectro (380nm - 1000nm), tendo assim uma gama muito maior de captação dos comprimentos de onda que as câmeras digitais convencionais. Este sensor possui os pixels "S" com sensibilidade normal, captando a mesma gama de luz como um *photosite* CCD convencional, porém os pixels "R" presentes são ainda menores, projetado para capturar detalhes acima do ponto de saturação do pixel "S". As informações do "S" e "R" pixels são combinadas para produzir uma gama dinâmica alargada, bem como evitar a perda de detalhes devido ao excesso de exposição (JOINSON et al., 2007).

Para a captura das imagens em infravermelho foi utilizado o filtro de 720nm que permitiu o registro de imagens a partir da reflectância dos alvos numa faixa espectral acima de 720 nm. A eficiência deste filtro foi estudada por Gasparotto (2014), realizando leituras espectrais em placa de espectralon por meio do espectrorradiômetro.

O balanço de branco (WB) foi realizado para que houvesse padronização na qualidade das imagens de acordo com a luminosidade presente ao ambiente, sendo assim personalizado e pré-definido para cada filtro utilizado e também juntamente ao uso do índice de sensibilidade ISO 100 garantindo menos ruído à imagem (MONTANARI, 2011).

Para fins de cálculos dos índices de vegetação, foram capturadas imagens na luz visível com a banda vermelha (filtro UV-IR cut) de forma a impedir o registro dos comprimentos de ondas menores que 350nm e maiores que 700nm.

Portanto, todos os registros fotográficos foram realizados com dois filtros (IR 720nm e UV-IR cut) em todos os tratamentos com suas respectivas fases fenológicas estudadas. O equipamento foi montado sempre no mesmo local entre 12:00 às 14:00 horas para fins de padronização de iluminação solar, e utilizando-se um tripé com distância de 0,5 m da planta com inclinação de 45°, os quais foram escolhidas e adaptadas de acordo com Souza et al. (2009) e Crimmins et al. (2008).

O índice NDVI foi obtido pela equação de Rouse et al, (1974), onde seus valores variam de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo de 1 mais sadia encontra-se a vegetação, conforme a seguir:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_v}{\rho_{IVP} + \rho_v}$$

em que: ρ_{IVP} e ρ_v - reflectâncias na faixa espectral do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

Todos os processos referentes aos índices de vegetação e transformação de níveis de cinza para reflectância foram executados na plataforma IDRISI Selva, desenvolvido pela *Graduate School of Geography* da Universidade de Clark. A plataforma apresenta recursos para gerenciamento ambiental de recursos naturais. Para o módulo de índices de vegetação foi utilizado o *plugin VegIndex* e para os demais cálculos fez-se o uso do *MacroModeler*, uma calculadora por meio de fluxograma.

Adotou-se o delineamento inteiramente ao acaso, dispondo-se de 5 tratamentos com 8 repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em T1: estágio fenológico V4; T2: estágio fenológico R6; T3: estágio fenológico R7; T4: estágio fenológico R8 e T5: estágio fenológico R9. Para a análise estatística, foi realizada a análise de variância e comparação de médias pelo teste de t (LSD) com nível de 1% de significância, mediante o programa computacional SISVAR[®]. Na comparação entre o índice de vegetação e os estádios fenológicos ao longo do ciclo foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk para verificar se os dados possuem distribuição normal e de Hartley que verifica a homogeneidade de variâncias. Quando essas duas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise de regressão a 0,05 de significância pelo teste F, e também foi realizado o ajuste de modelos lineares de primeiro e segundo grau.

3.Resultados e Discussão

O acréscimo gradual dos valores de NDVI procedeu conforme o desenvolvimento da cultura, principalmente no que se refere à transição dos estádios vegetativo e reprodutivo (V4 – R6), apresentando valores de 0,63 e 0,74, ocorrendo um aumento de 14,8%.

Dentre os estádios reprodutivos do feijoeiro, o R7 apresentou o maior valor de NDVI, 0,80, apresentando assim um alto índice de área foliar e também por ser caracterizado o pico de frutificação da cultura com a emissão e enchimento das vagens.

O menor valor do índice de vegetação é observado no estágio R9 (0,62), sendo semelhante ao estágio V4 com 0,63. Este fato decorreu com a ótima condição de rega da cultura até o final do ciclo, tendo ainda a presença de algumas folhas verdes na parte superior da planta com alto turgor celular, porém com percebida redução da área fotossinteticamente ativa e a presença de vagens secas, devido a cultivar ter hábito de crescimento indeterminado mantendo o “stay green”.

O número de camadas de folhas num dossel maduro e sadio influencia diretamente na reflectância no infravermelho próximo. Com isso, a ordem de grandeza do infravermelho

próximo num dossel com folhas esparsas é menor, porque a energia que é transmitida através das camadas das folhas pode ser absorvida pela cobertura do solo (JENSEN, 2009). Este afirmativa corrobora ao ocorrido neste trabalho, onde foi realizado experimento em vasos no qual foram espaçados uns dos outros.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados da análise de variância da regressão para comportamento do índice de vegetação NDVI ao longo do desenvolvimento da cultura.

Tal índice apresentou normalidade e homogeneidade de variância, obtendo significância para regressão quadrática com coeficiente de variação de 12,74 %, como mostrado na Tabela 1.

O coeficiente de determinação demonstrado na equação da Figura 1 possui uma forte correlação entre os valores do NDVI e os estádios fenológicos do feijoeiro com R^2 de 0,95. É possível observar que ocorre aumento dos valores do NDVI à medida que a planta se desenvolveu nos estádios fenológicos.

De acordo com Jensen (2009), a reflectância no infravermelho próximo é aumentada conforme o desenvolvimento das plantas, pois as plantas cada vez mais aumentam sua biomassa em função do aumento de fotossíntese.

O comportamento do NDVI ao longo dos estádios estudados são semelhantes ao encontrado por Neiverth et al. (2013), onde houve maiores valores do índice para o estágio de formação e enchimento de vagens na cultura da soja cultivado em casa de vegetação. A maior biomassa resulta em aumento da taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior absorção de CO₂ atmosférico (BELTRÃO et al., 2007). De acordo com Liu et al. (2012), o teor de clorofila na planta é o fator de maior influência no NDVI.

Portanto, nota-se que foi possível mediante uso do índice NDVI identificar os estádios fenológicos da cultura de maneira isolada e também durante todo seu ciclo de desenvolvimento.

Tabela 1. Resultado do teste F da análise de variância do índice NDVI no desenvolvimento da cultura do feijão.

I.V.	Shapiro-Wilk W_{calc}	Hartley F_{calc}	Falta de Ajuste F_{calc}	R. L. F_{calc}	R.Q. F_{calc}	C.V. %
NDVI	0,980 ^{ns}	6,023 ^{ns}	19,776 ^{ns}	0,143 ^{ns}	4,434 [*]	12,74

* significativo ($p < 0,05$) pelo teste t; ^{ns} não significativo

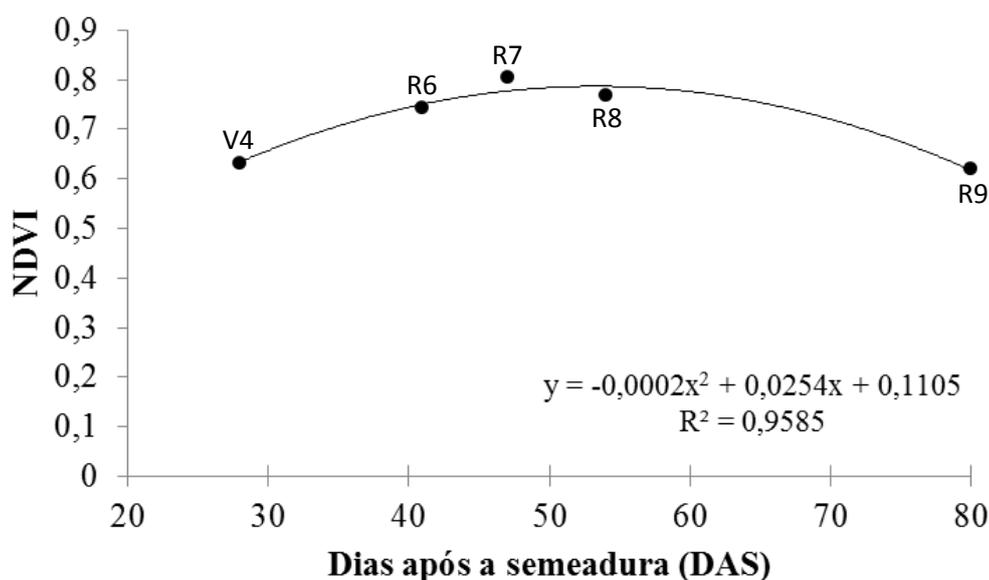


Figura 1. Valores de NDVI médios em função estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 da cultura do feijão, correspondentes aos 28, 41, 47, 54 e 80 DAS.

4. Conclusões

A utilização de câmeras digitais adequadamente preparadas para a captura na faixa espectral referente ao índice possui grande potencial na avaliação do acompanhamento do desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Agradecimentos

À Financiadora de Estudos e Pesquisa (FINEP) pelo apoio na aquisição da câmera fotográfica digital Fujifilm IS Pro[®] 5 UVIR (12.1 megapixels).

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, T.D.; ARRUDA, D.C.; RODRIGUES, B.D.; FONTANA, D.C. Comparação do perfil temporal do NDVI em lavouras de soja entre regiões do Maranhão e do Rio Grande do Sul. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia / V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento / XXV Expositiva. Anais... Gramado: XXCI CBC / V CBG / XXV Expositiva, 2014. p. 1-6.

BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. Balanço energético e “sequestro” de carbono em culturas oleaginosas. **Campina Grande: Embrapa Algodão**, 2007. 22 p.

BLAINSKI, E. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada**. Dissertação de mestrado em agronomia - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

CRIMMINS, M. A.; CRIMMINS, T. M. Monitoring Plant Phenology Using Digital Repeat Photography. **Environmental Management**. v.1, n.6, p. 949-58. 2008.

GASPAROTTO, A. C. **Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação com produtividade em diferentes doses de nitrogênio**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

GENÚ, A. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos**. 2006. 120p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006.

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.

IAPAR, INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná.** p.17. 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres.** Tradução de José Carlos Ephifanio (coord.) et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JOINSON, S.; BRITTON, B.; BARNETT, S. et al. **Fujifilm IS Pro, third UV & IR camera, DPVIEW,** 2007. Disponível em: <<http://www.dpreview.com/news/2007/7/13/fujifilmispro>>. Acesso em: 06 jun.2013.

JUNGES, A.H.; FONTANA, D.C. Avaliação do desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. *Ciência Rural*, v.39, p.1-15, 2009.

LEE, K. J.; LEE, B. W. Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis. **European Journal of Agronomy.** v.48, p. 57- 65, 2013.

LIU, J.; PATTEY, E.; JÉGO, G. Assessment of vegetation indices for regional crop green LAI estimation from Landsat images over multiple growing seasons. **Remote Sensing of Environment**, v.123, p. 347-358, 2012.

MACFARLANE, C.; MEGAN HOFFMAN A, DEREK EAMUS C, NAOMI KERP D, SIMON HIGGINSON E, ROSS MCMURTRIE F, MARK ADAMS. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology.** v.143 p.176 –188. 2007.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction.** 2 ed. Chichester: Jon Wiley & Sons, 292p. 1999.

MONTANARI, L.L. **A Sensibilidade ISO.** 2011.

NEIVERTH, W. ; CRUSIOL, L. G. T. ; CARVALHO, J. F. C. ; FERREIRA, L. C. ; RIO, A. ; SIBALDELLI, R. N. R. ; NEUMAIER, N. ; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação. **In: VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 2013, Londrina. VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja - Resumos expandidos.** Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 202-207.

PARISE, F. J. O. & VETTORAZZI, C. A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras hamlin: Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira Fruticultura,** Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 43-47, 2005.

PONZONI, F. J.; SHIMABOKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

PORTILLO, J. E.; EPIPHÂNIO, J. C. N.; GURTLER, S.; BARRETO LUIZ, A. J. Evolução da superfície cultivada com as principais culturas agrícolas em Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP, via imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. P. 215-222.

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, R.D.V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.9, p.1317-1326, set. 2012.

ROSS, P. J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K. L. Equations for extending water retention curves to drynees. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 55, p. 923-927, 1991.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation.** Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974.

SOUZA, E.G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M.A. et al. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, p.865–872, 2009.

TRINTINALHA, M. A. **Distribuição espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em um NITOSSOLO, medido utilizando-se a técnica de TDR.** 2005. 139p. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

TRINTINALHA, M. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M V.; TORMENA, C. A.; BERTONHA, A.; TSUKADA, J. Efeito da instalação e da variabilidade entre sondas no uso da técnica de TDR em um Nitossolo Vermelho Distroférrico. **Acta Scientiarum.** Maringá, v. 23, n. 5, p. 1165-1171, 2001.