

NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação

NEIVERTH, W.¹; CRUSIOL, L. G. T.²; CARVALHO, J. F. C.³; FERREIRA, L. C.⁴; RIO, A.⁵; SIBALDELLI, R. N. R.⁶; NEUMAIER, N.⁷; FARIAS, J. R. B.⁷;

¹Bolsista CNPq/DTI, Embrapa Soja, Londrina, Paraná. ²Bolsista CNPq/PIBIC, Embrapa Soja, Londrina, Paraná. ³Pós doutoranda/CAPES, Embrapa Soja, Londrina, Paraná. ⁴Pós doutorando/CNPq, Embrapa Soja, Londrina, Paraná. ⁵Mestrando USP/ESALQ Bolsista CAPES, Embrapa Soja, Londrina, Paraná. ⁶Mestrando UTFPR, Londrina, Paraná. ⁷Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, Paraná.

e-mail:walkyria@cnpso.embrapa.br

Introdução

O cultivo da soja no Brasil tem crescido gradativamente a cada ano. Dentre os principais fatores que contribuem para esse aumento estão os avanços tecnológicos, práticas de manejo sustentável e eficiência dos produtores. Da área de 53,04 milhões de hectares cultivados com as principais culturas no país, aproximadamente 52,2% (27,713 milhões de hectares) destinam-se à produção de soja. Desta, 4,71 milhões estão no Estado do Paraná. Estimativas para a produção de soja no Brasil na safra 2012/2013 apontam uma produção de 81,94 milhões de toneladas, 23,4% maior que a safra anterior. No Paraná, a boa distribuição das chuvas na maior parte do estado contribuiu para os bons níveis de produtividade de 3.305 kg ha⁻¹, a segunda maior do país (CONAB, 2013).

Dentre as cultivares de soja mais utilizadas, verifica-se uma tendência na preferência por aquelas precoces e de tipo de crescimento indeterminado, pois permitem a semeadura antecipada sem que haja redução na altura das plantas proporcionada pela reação ao fotoperíodo. Esta prática viabiliza o cultivo de duas culturas no período primavera/verão, possibilitando melhor aproveitamento da área, além de reduzir os danos causados pela ferrugem da soja (GARCIA et al., 2007). Cober e Morrison (2010), afirmam que uma das vantagens do cultivo de plantas com este tipo de crescimento é o maior porte (altura), que, por consequência, pode refletir em maior produção média de grãos. Além desta característica, Saturno (2013) afirma que plantas com tipo de crescimento indeterminado na haste principal tendem a apresentar maior número de nós.

Além de melhorias no uso de cultivares diferenciadas e manejos utilizados, investimentos têm sido realizados em tecnologias que facilitem o monitoramento das culturas. Dentre as várias tecnologias disponíveis destacam-se as técnicas de sensoriamento remoto, que permitem a obtenção de informações sobre um determinado objeto, área ou fenômeno sem que haja contato direto, não interferindo, portanto, em seu desenvolvimento. Os materiais ou áreas a serem analisados são caracterizados e diferenciados de acordo com a capacidade de absorção e reflectância dos feixes luminosos (CARTOGRAFIA, 2013). A reflectância é dividida em regiões do comprimento de onda visível e do infravermelho próximo, médio e distante (MOREIRA, 2007 apud GROFF, 2010). Em vegetais, a reflexão da luz é determinada pela clorofila, que reflete luz verde (visível) e absorve luz azul e vermelha. Portanto, quanto maior a taxa de clorofila na célula, maior será a reflectância de luz no comprimento de onda entre 0,5 e 0,6 µm e maior absorção de luz nas regiões de comprimento de onda entre 0,4 e 0,5 µm e entre 0,6 e 0,7 µm (TAIZ e ZEIGER, 2009).

No sensoriamento remoto, há vários índices disponíveis para serem utilizados, sendo o uso determinado de acordo com o objetivo da pesquisa. Os índices que melhor se correlacionam com a vegetação são os que utilizam como base informações obtidas através da combinação de dados espectrais no comprimento de onda vermelho e infravermelho próximo, diretamente relacionados às regiões fotossintéticas ativas das plantas (JESUS e MIURA, 2009). Um dos índices que se baseia neste princípio é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*), capaz de transformar em números as informações recebidas por meio da reflectância dos feixes luminosos. O NDVI varia de -1 a 1, onde -1 se refere à ausência total de reflectância do infravermelho, 0 corresponde a ausência de clorofila e 1 representa alta concentração de folhas verdes (GOPALAPILLAI et al., 1999 apud POLSAPALLI, 2005).

Na agricultura, este índice permite estimar produção, vigor vegetativo das culturas, deficiência de nutrientes, presença de patógenos, estresse hídrico, dentre outros (RIZZI e RUDORFF, 2007; PICOLI et al., 2009; MOTOMIYA et al., 2009; MOLIN et al., 2010; GODOY e HENNING, 2008; OVIEDO e RUDORFF, 2000). Contudo, não foram encontrados, na literatura, trabalhos que caracterizem pontualmente os estádios fenológicos da soja por meio deste índice.

O presente estudo objetivou avaliar o perfil espectral temporal de soja cultivar BRS 284 em alguns estádios de seu ciclo de crescimento, em condições de casa de vegetação.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2012/2013 na Embrapa Soja, localizada no município de Londrina, PR. As plantas foram mantidas em casa de vegetação a qual possuía cobertura de plástico e temperatura e umidade relativa do ar monitoradas periodicamente por meio de um termohigrógrafo modelo Hobo U14-002 (Onset®).

Utilizou-se para o experimento a cultivar de soja BRS 284, de tipo de crescimento indeterminado, ciclo precoce e de ampla aceitação comercial. As sementes foram previamente tratadas com Vitavax® Thiram 200 SC (200 g L⁻¹) (DU PONT) e Standak® (250 g L⁻¹) (BASF) para manutenção de sua sanidade. Minutos antes da semeadura, foram inoculadas com Gelfix 5® (Nitral Urbana), constituído por cepas de *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 e SEMIA 5019 na concentração de 200 mL de inoculante para cada 50 kg de semente. A semeadura foi realizada no dia 09 de novembro de 2012, colocando-se cinco sementes por vaso (5 L), os quais foram preenchidos com substrato preparado à base de solo, areia e composto orgânico da marca Humorgan, na proporção 3:1:1. Aos doze dias após a semeadura (DAS), no estágio V1, realizou-se o desbaste, mantendo-se uma planta por vaso. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, composto por oito repetições.

O estágio de desenvolvimento fenológico (EDF) das plantas foi avaliado três vezes por semana, a partir da data de germinação das sementes (5 DAS), de acordo com a classificação estabelecida pela Embrapa Soja (2010), com base em Fehr e Caviness (1977) e em Ritchie et al (1977). Os valores de NDVI foram obtidos através do equipamento GreenSeeker® modelo 505 HandHeld Sensor, fabricado pela *Ntech Industries, Inc*, que calcula o NDVI a partir da equação $NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v)$, onde ρ_{ivp} é a reflectância no infravermelho próximo (0,725-1,1 μm) e ρ_v é a reflectância no vermelho (0,58-0,68 μm).

Nessas leituras manteve-se o sensor posicionado a uma distância fixa do topo do dossel dentre a faixa de altura recomendada pelo fabricante. O horário das leituras foi padronizado para as 9 horas da manhã, conforme estabelecido por Crusiol et al. (2012). Os DAS e estádios de

desenvolvimento fenológicos nos quais as leituras de NDVI foram obtidas bem como os valores médios de NDVI por estágio fenológico podem ser observados na Tabela 1.

Os dados apresentaram distribuição normal da média e atenderam aos demais pressupostos da análise de variância (ANOVA). Desta forma, os dados foram submetidos à ANOVA com posterior ajuste do modelo de regressão polinomial quadrática e comparações múltiplas de médias (teste Tukey), os quais foram realizadas por meio do programa computacional Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2010).

Resultados e Discussão

Foram realizadas 11 leituras de NDVI ao longo do ciclo da cultivar BRS 284, distribuídas entre os estádios V3 e R7 (Tabela 1). Pode-se verificar um constante aumento na média de NDVI até atingir o estágio R 5.4, correspondente aos 69 DAS, no qual se atingiu o ponto máximo, passando a decrescer a partir deste ponto. O valor médio de NDVI observado e identificado como ponto máximo foi igual a 0,908, que representou um aumento de 73,28% em relação ao estágio V3 (0,524) (Tabela 1). A planta de soja em estágio de desenvolvimento fenológico V3 é caracterizada por apresentar dois trifólios totalmente desenvolvidos, enquanto em R 5.4 esta se apresenta em fase de enchimento de grãos (EMBRAPA, 2010).

Tabela 1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) comparativo aos estádios de desenvolvimento fenológico da soja, cultivar BRS 284. **DAS - EDF:** dias após a semeadura da realização da leitura do estágio de desenvolvimento fenológico. **DAS - NDVI:** dias após a semeadura da realização da leitura de NDVI. **NDVI:** valores médios de NDVI para os referidos dias e estádios.

Leituras	Estádio de Desenvolvimento Fenológico										
	V3	V5	R1	R 5.1	R 5.3	R 5.4	R 5.5	R6	R6	R7	R7
DAS - EDF	19	26	33	55	61	68	75	81	90	109	117
DAS - NDVI	20	27	34	55	62	69	76	83	90	109	118
NDVI	0,524	0,712	0,805	0,878	0,898	0,908	0,865	0,882	0,870	0,748	0,704

O aumento dos valores médios de NDVI de acordo com o desenvolvimento da planta está diretamente relacionado ao aumento de sua biomassa devido à maior área verde. 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, podendo a margem de erro da leitura ser aumentada ou diminuída de acordo com as alterações no índice de área foliar.

Entre os estádios R1 e R 5.4 observou-se aumento de 12,7% no valor de NDVI, possivelmente pelo aumento da biomassa após o início do florescimento. De acordo com Nogueira et al. (2009) e Liu et al. (2010), cultivares de crescimento indeterminado mantêm crescimento vegetativo da gema apical após o início do florescimento devido à presença do gene *Dt1*. Além disso, Heatherly e Smith (2004) verificaram aumento significativo na altura e no número de nós em plantas com tipo de crescimento indeterminado após o florescimento, podendo este aumento variar de acordo com a época de semeadura.

A menor média de NDVI no estágio R 5.5 (0,865) seguido de leve aumento no índice em R6 (0,882) justifica-se devido à infestação de ferrugem asiática nas plantas as quais, após a aplicação de fungicida, apresentaram leve recuperação do índice. A presença de ferrugem nas plantas afeta a área fotossinteticamente ativa, reduzindo assim o valor médio de NDVI (KOGA et al., 2007).

A redução nos valores médios de NDVI, no estágio R6 (90 DAS), ocorreu devido ao amarelecimento das folhas e redução da área fotossinteticamente ativa. O estágio R6 caracteriza-se como a fase final de enchimento de grãos, ou seja, as vagens ainda possuem grãos verdes, porém com suas cavidades completamente preenchidas (EMBRAPA, 2010).

Do estágio R6 (90 DAS) ao R7 (118 DAS), houve redução de 19,08% no valor de NDVI. No estágio R7 as plantas apresentam características de início de maturação, principalmente, o amarelecimento de vagens. Considera-se o início do estágio quando pelo menos uma vagem normal no caule apresenta coloração de madura (EMBRAPA, 2010).

Aplicando-se uma linha de tendência aos dados obtidos pelas leituras de NDVI ao longo do ciclo da soja (Figura 1), observa-se relação entre os dados de NDVI e desenvolvimento da soja, onde o índice vegetativo confirma o estágio de desenvolvimento da planta. A linha de tendência tende a subir na fase vegetativa e início da fase reprodutiva, decrescendo no final do ciclo, onde há redução da área fotossintética ativa na planta.

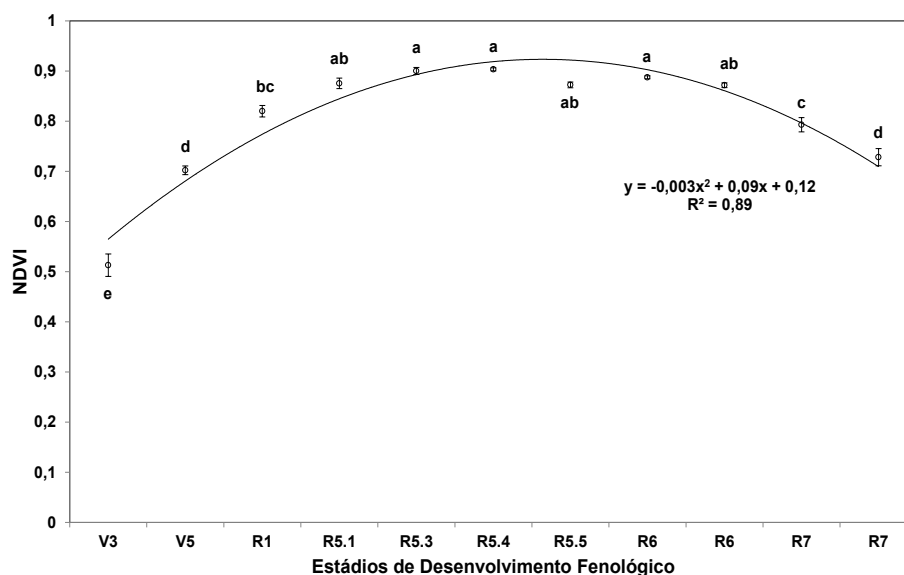


Figura 1. Valores de NDVI ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento fenológico da soja BRS 284. $n = 6 \pm$ erro padrão da média. Médias seguidas de mesmas letras entre os diferentes estádios de desenvolvimento fenológico não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Com base nos resultados obtidos por meio do teste de Tukey (Figura 1), observaram-se valores significativamente menores de NDVI nos estádios iniciais e finais do ciclo da soja. No período de enchimento de grãos (R5) e R6, não houve diferença significativa entre os valores de NDVI nos diferentes estádios, indicando saturação dos valores médios do índice neste período.

Conclusões

- A utilização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite a diferenciação entre os principais estádios fenológicos analisados
- O ponto máximo de NDVI observado (0,908) ocorreu aos 69 dias após a semeadura, com as plantas no estágio R 5.4
- As plantas apresentaram aumento de 12,7% no valor médio de NDVI após o início do florescimento
- A redução da área fotossintética ativa na planta refletiu em redução do valor médio de NDVI

Referências

- BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. **Balço energético e “sequestro” de carbono em culturas oleaginosas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 22 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 167).
- CARTOGRAFIA. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Disponível em: <<http://www.cartografia.eng.br/artigos/senso01.php>>. Acesso o 02 de abril de 2013.
- COBER, E. R.; MORRISON, M. J. Regulation of seed yield and agronomic characters by photoperiod sensitivity and growth habit genes in soybean. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 120, p. 1005-1012, 2010.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, abril 2013**. Brasília: Conab, 2013. 28 p.
- CRUSIOL, L. G. T.; CARVALHO, J. F. C.; SIBALDELLI, R. N. R.; PROCÓPIO, S. O.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; FARIAS, J. R. B. Influência do horário das medições nos valores de NDVI. In: Congresso Brasileiro de soja, 6. Cuiabá, 2012. **Resumos...** Brasília: Embrapa, 2012. Artigos, p. 82. Disponível em <http://www.cbsoja.com.br/anais/trabalhos/127_s323.pdf>. Acesso em 10 de abril 2013.
- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2011**. Londrina: Embrapa Soja. 2010. 255 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 14).
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report, 80).
- FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. UFLA, Lavras, 2010.
- GARCIA, A.; PÍPOLO, A. E.; LOPES, I. O. N.; PORTUGAL, F. A. F. **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Londrina: Embrapa Soja. 2007. 12 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 51).
- GODOY, C. V.; HENNING, A. A. Tratamento de semente e aplicação foliar de fungicidas para o controle da ferrugem-da-soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1297-1302, 2008.
- GROFF, E. C. **Comportamento do NDVI da cultura da soja e sua relação com as variáveis agrônomicas**. 2010. 50 p. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- HEATHERLY, L. G.; SMITH, J. R. Effect of soybean stem growth habit on height and node number after beginning bloom in the mid southern USA. **Crop Science**, v. 44, p. 1855-1858, 2004.
- JESUS, S. C.; MIURA, A. K. Análise de regressão linear múltipla para estimativa do índice de vegetação melhorado (EVI) a partir das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, p.1103-1110, 2009.
- KOGA, L. J.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 4, p. 571-580, 2007.

LIU, B.; WATANABE, S.; UCHIYAMA, T.; KONG, F.; KANAZAWA, A.; XIA, Z.; NAGAMATSU, A.; ARAI, M.; YAMADA, T.; KITAMURA, K.; MASUTA, C.; HARADA, K.; ABE, J. The soybean stem growth habit gene *Dt1* is an ortholog of Arabidopsis TERMINAL FLOWER1. **Plant Physiology**, v. 153, p.198-210, 2010.

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.

MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n. 2, p.137-145, 2009.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, B. H.; TEIXEIRA, R. C. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, p. 7-16, 2009.

NOVO, M. L. de M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. 2ª ed. 3ª reimpressão. São José dos Campos, 1998. 308 p.

OVIEDO, A. F. P.; RUDORFF, B. F.T. Índice de área foliar e resposta espectral da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) submetida ao estresse hídrico. **Revista de biociências**, v. 6, n. 2, p. 39-47, 2000.

PICOLI, M. C. A.; RUDORFF, B. F.T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

POLSAPALLI, S. **Development of software to process aerial images for agricultural purposes**. 2005. 151 p. Thesis, Master of Science in Biological and Agricultural Engineering, Graduate Faculty of the Louisiana State University, Louisiana, 2005.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 20 p. (Special Report, 53).

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 73-80, 2007.

SATURNO, D. F. **Efeito do N-mineral sobre a fixação biológica de nitrogênio, em cultivares de soja de hábito de crescimento determinado e indeterminado**. 2013. 52 p. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: as reações luminosas. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009, p. 147-181.