

Desempenho dos índices de vegetação NDVI e PVI para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo

Tatiana Silva de Almeida¹, Denise Cybis Fontana¹

¹UFRGS. Faculdade de Agronomia/DPFA
Avenida Bento Gonçalves, 7712. CEP 91540-000 Porto Alegre, Brasil
almtatiana@yahoo.com.br, dfontana@vortex.ufrgs.br

Abstract. The state of Rio Grande do Sul, in the far south of Brazil, is one of the great soybean producers in the country, which justifies using remote sensing techniques to monitor crops in real time. The purpose of this study was to compare the performance of some vegetation indices as indicators of soybean growth conditions, when the crops are submitted to different management and irrigation systems. During the cycle, reflectance of plants and soil was measured between 11am and 1pm, using an LI-1800 spectroradiometer. The experiment was conducted in area of 0.5 ha, located in Estação Experimental Agrônômica the UFRGS, in Eldorado do Sul. The cultivar used was the RS10, with distance between lines and a total of plants to 300,000 plants/ha. The analysis of the data presented shows that two vegetation indices tested presented lower values at the beginning of the cycle, increased with the growth of plants and decreased at the end of the cycle. The PVI showed better performance than the NDVI, statistically the differing treatments. It is concluded that the vegetation indices NDVI and PVI may be used as remote estimators of the soybean crop, and may be very useful in harvest monitoring and forecasting programs.

Palavras-chaves: vegetation indices, índices de vegetação, foliar area index, índice de área foliar, soybean, soja, reflectance, reflectância.

1. Introdução

O cultivo da soja vem mostrando-se como uma das atividades economicamente importantes no meio rural, estando presente em grande parte das indústrias alimentícias, na qual é usada como matéria-prima. Devido à grande produção desta oleaginosa, o Brasil aumentou suas exportações obtendo, assim, maior entrada de recursos financeiros.

O Estado do Rio Grande do Sul, situado no extremo sul do Brasil, é um dos grandes produtores nacionais de soja, sendo responsável por cerca de 17% da produção nacional. Entretanto, as condições hídricas normais do Estado podem ser limitantes à produção desta cultura. Em longos períodos de estiagem pode haver uma queda muito significativa na produção de grãos. Como consequência, observa-se grande variabilidade interanual do rendimento da soja no Rio Grande do Sul, associado também à alta variabilidade das condições de precipitação pluvial.

Dada a importância econômica e social da cultura da soja e a alta variabilidade dos rendimentos observados no Estado do Rio Grande do Sul, é relevante o desenvolvimento de técnicas e métodos que possibilitem o monitoramento das condições de desenvolvimento das plantas na região onde se concentra a produção. Uma das alternativas interessantes e, que têm contribuído muito neste sentido, é o uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital, as quais permitem um estudo em escala regional e com adequada periodicidade. Na literatura são abundantes os trabalhos desenvolvidos neste tema, mostrando a contribuição de imagens de satélite em um sistema de previsão de safras, tanto para estimativa de área cultivada como para o acompanhamento da evolução temporal das plantas. Para dar suporte a esta proposta é necessária a condução de estudos básicos, usando radiometria terrestre, nos quais é possível estabelecer relações úteis entre as respostas espectrais da soja e parâmetros de crescimento.

A radiação solar ao atingir a folha pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Este balanço de radiação está diretamente relacionado às características de superfície da folha, bem como a outras características internas da espécie vegetal. Estudos mostram que há uma alta correlação entre a partição da radiação incidente nas folhas e as características fisiológicas de cada espécie. Torna-se, então, possível o monitoramento remoto da biomassa e do estado fisiológico das plantas.

A reflectância da vegetação varia com o comprimento de onda. Na região do visível a reflectância não ultrapassa os 10% da radiação incidente, caracterizando-se pela absorção acentuada, produzida pelos pigmentos presentes nos cloroplastos das folhas (Steffen & Moraes, 1993). Destaca-se ainda um pico de reflectância em torno de 500nm, correspondente a região verde

do espectro, o que explica a coloração verde das plantas saudas. A partir de 700nm, nota-se um gradiente acentuado que marca a transição para uma elevada reflectância no infravermelho próximo, a qual corresponde a, aproximadamente, 40 a 60% da radiação incidente. Até cerca de 1.300nm a reflectância mantém-se alta e está relacionada à estrutura interna da folha, onde ocorrem múltiplas reflexões e refrações, associadas a descontinuidades de índices de refrações. A partir do infravermelho médio (1.100 a 3.000nm) a reflectância da vegetação passa a ser modulada pelas bandas de absorção da água, cujos picos ocorrem em 1.400, 1.900 e 2.700nm. Com isso, considera-se que a reflectância nesta faixa do espectro é função do teor de água presente na vegetação (Steffen & Moraes, 1993; Fontana, 1995).

O comportamento descrito acima refere-se a uma única folha verde isolada e sadia. Sabe-se, porém, que a medida de reflectância espectral da vegetação depende de uma série de fatores como espécie, índice de área foliar, biomassa, forma e posição das folhas, teor de água, conteúdo de pigmentos, características do solo (granulometria, água e seus nutrientes), tipo de sistema sensor, assim como das condições atmosféricas. Todos estes fatores devem ser levados em consideração para que se obtenha uma adequada identificação e quantificação da vegetação.

Índices de vegetação têm sido extensamente utilizados como sensíveis indicadores da presença e condição de vegetação. Estes índices baseiam-se em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais. Assim, reduz-se todos os dados espectrais a um único valor, realçando a contribuição espectral da vegetação verde minimizando a do solo, a do ângulo solar, a da vegetação senescente e a da atmosfera.

Os principais índices de vegetação conhecidos são obtidos através de uma combinação de valores de reflectância ou de radiância da vegetação em duas faixas de comprimento de onda, visível (350-700nm) e infravermelho (730-1.100nm). Na faixa do visível há grande absorção da radiação incidente pelas clorofilas das plantas, enquanto que no infravermelho próximo há grande reflectância do mesófilo das folhas. O contraste entre as duas faixas de comprimento ressalta a vegetação, permitindo uma clara identificação desta e das suas propriedades, conforme demonstrado por Antunes et al. (1993), para a cultura da soja, Fonseca et al. (2002) para *paspalum notatum*, Luz et al. (2003), entre outros.

O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho de dois índices de vegetação, NDVI e PVI, como indicadores das condições de crescimento da cultura da soja, submetida a diferentes sistemas de manejo e irrigação.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em uma área de 0,5ha, localizada na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul. A cultivar utilizada foi a RS10, com espaçamento entre linhas de 0,40m e uma população de 300.000 plantas/ha. A semeadura ocorreu no mês de novembro de 2003. Para este experimento foi adotado o delineamento experimental em faixas com quatro repetições. Foram comparados quatro tratamentos: dois sistemas de manejo do solo (plantio direto e plantio convencional) e dois níveis de irrigação (com e sem irrigação).

Durante todo o ciclo foram realizadas medidas da reflectância das plantas utilizando um Espectroradiômetro LI-1800, com uma resolução espectral de 2nm, nos comprimentos de onda compreendidos entre 300nm e 1.100nm. O Espectroradiômetro foi instalado em um tripé de forma que as medições foram tomadas a 1m acima do topo da cultura. A referência utilizada foi uma placa plana cujo espectro de reflectância é conhecido, marca Labsphere modelo SRT-50-050. As medições da reflectância foram realizadas de modo que a cada leitura foram medidas a quantidade de energia refletida pelo dossel e, imediatamente após, a energia refletida pela placa de referência. As três medições da reflectância, em cada um dos tratamentos, foram feitas entre 11 e 13 horas, ou seja, com o ângulo de elevação solar superior a 75°. Foram também registrados dados de reflectância de solo exposto e coberto com palha (seco e úmido), em três datas de medições foliares.

A medição do índice de área foliar foi realizada semanalmente a partir da coleta de plantas de um segmento de linha de 0,5m de cada uma das repetições dos quatro tratamentos. A área foliar foi medida em planímetro eletrônico marca LICOR 3100+100. Inicialmente, foram utilizadas todas as

plantas coletadas. Posteriormente, devido a grande produção de biomassa, optou-se por medir somente trinta por cento das folhas das plantas coletadas de cada parcela.

Os índices de vegetação determinados, neste experimento, foram: razão simples (SR); índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); índice de vegetação transformado (TVI); índice de vegetação perpendicular (PVI); índice de vegetação ponderado (WDVI). Para este trabalho foi testado, estatisticamente, o desempenho de dois índices de vegetação:

Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI):

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (1)$$

Índice de vegetação perpendicular (PVI):

$$PVI = \left[\left(\frac{1}{\sqrt{a+1}} \right)^2 (\rho_{iv} - a\rho_v - b) \right] \quad (2)$$

Onde: ρ_{iv} é a reflectância no infravermelho (compatível com a banda do visível: 630 e 690nm); ρ_v é a reflectância no visível (compatível com a banda do visível: 760 e 900nm); a e b são os coeficientes ajustados para a linha do solo e c é o coeficiente correspondente à inclinação da linha do solo quando esta passa pela a origem.

A partir dos dados coletados durante o período experimental, foram realizadas várias análises, entre elas, a comparação entre os índices de vegetação avaliados nos diferentes tratamentos. O teste de comparação de médias entre tratamentos foi feito no programa estatístico SAS, considerando o nível de probabilidade de 95%.

3. Resultados e discussão

Na Figura 1 foram plotados os valores dos dois índices de vegetação determinados em função dos dias após a emergência (DAE), o que é denominado de perfil temporal. Estes são muito utilizados em monitoramento da biomassa regional feito com imagens de satélite, pois evidenciam as variações temporais da biomassa. Para os dois índices de vegetação, NDVI (Figura 1A) e PVI (Figura 1B), foi observado um padrão de comportamento semelhante, porém com diferentes valores, devido à faixa de variação de cada um deles. Os índices apresentaram valores menores no início do ciclo, cresceram com o crescimento das plantas e decresceram na senescência.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos índices de vegetação para a cultura da soja nas três datas (41, 102 e 144 DAE) em que não houve dados faltantes, nas diferentes condições de manejo e de irrigação, assim como o teste das diferenças entre os índices (teste t a 5% de probabilidade).

A análise estatística mostrou que houve interação entre sistema de manejo e época de avaliação ($p \leq 0,05$) evidenciando que os sistemas de manejo comportaram-se de maneira diferente durante o período de avaliação.

Houve também diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os níveis de irrigação. Na Figura 1 observa-se que para os dois índices testados, a tendência foi dos tratamentos irrigados apresentarem valores maiores quando foram comparados aos tratamentos não irrigados. Este tipo de resposta espectral já era esperada, pois os tratamentos irrigados apresentaram maior crescimento da vegetação. As diferenças observadas na Figura 1A para o NDVI, entretanto, não foram estatisticamente significativas (Tabela 1). Somente o índice PVI (Figura 1B) mostrou diferenças significativas quanto ao nível de irrigação nas três datas de medição.

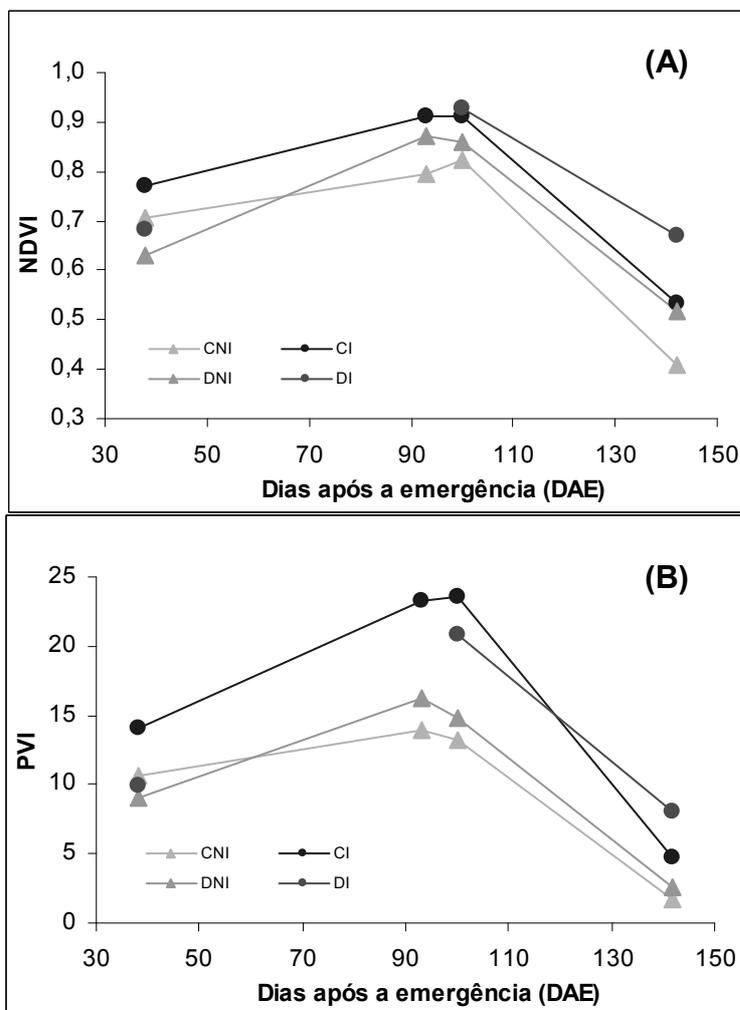


Figura 1. Índices de vegetação NDVI e PVI, para dossel de soja submetida aos tratamentos: direto irrigado (DI), direto não irrigado (DNI), convencional irrigado (CI) e convencional não irrigado (DNI), dias após a emergência (DAE). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

No início do ciclo a tendência foi do tratamento convencional apresentar maiores valores de índice de vegetação do que os demais tratamentos (Figura 1). Desta forma, mesmo as plantas em sistema convencional não irrigado (CNI) apresentaram maior desenvolvimento quando comparadas às plantas em sistema direto (DI ou DNI), conseqüentemente apresentaram também os maiores valores para índices de área foliar na primeira data de medições. Segundo Martorano (2007), trabalhando com dados do mesmo experimento, isto se deve ao fato das plantas em sistema convencional apresentarem maior crescimento inicial do que as plantas em sistema direto devido ao seu crescimento ser dependente apenas dos nutrientes presentes no solo. O maior crescimento está diretamente relacionado à disponibilidade de nitrogênio no solo, como conseqüência da incorporação de restos culturais, o que não ocorre nos sistemas diretos.

Aos 41 DAE a tendência foi do tratamento convencional irrigado (CI) apresentar maiores valores do que o tratamento direto irrigado (DI) para os dois índices de vegetação testados. Entretanto a diferença entre o tratamento convencional irrigado (CI) e o tratamento direto irrigado (DI) foi estatisticamente significativa apenas para o índice PVI.

Aos 102 DAE foram observados os maiores valores nos dois índices testados, o que está associado com o maior desenvolvimento da cultura (IAF = 6,2 no tratamento convencional irrigado). Entretanto, neste dia apenas o PVI mostrou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Índices de vegetação para a cultura da soja. EEA-UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

IV	Tratamento	41 DAE	102 DAE	144 DAE
NDVI	CI	0,77 aB	0,91 aA	0,53 bC
	CNI	0,71 aB	0,82 aA	0,41 bC
	DI	0,68 aB	0,93 aA	0,67 aC
	DNI	0,63 aB	0,86 aA	0,52 aC
PVI	CI	14,02 aB	23,59 aA	4,67 bC
	CNI	10,70 bB	13,25 cA	1,70 cC
	DI	9,91 bB	20,83 bA	8,00 aB
	DNI	9,08 cB	14,81 cA	2,56 bC

Médias não seguidas de mesma letra minúscula na vertical (tratamentos) e maiúscula na horizontal (datas) diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

No final do ciclo, dada a senescência das plantas, os valores dos índices de vegetação apresentaram uma queda acentuada, sendo observados valores inferiores aos observados no início do ciclo. Os maiores valores de índices de vegetação ocorreram no tratamento DI (Figura 1A) consequência da condição de planta. Na última data de medição (144 DAE) os dois índices de vegetação testados apresentaram diferença estatisticamente significativa, sendo que o NDVI apresentou diferença estatisticamente significativa apenas entre os sistemas de manejo, mas não diferiu sistemas de irrigação. Nesta data de medição o PVI apresentou diferença estatisticamente significativa entre três dos tratamentos.

Quando comparados os tratamentos não irrigados (CNI e DNI) aos 41 DAE, também foram observadas diferenças estatisticamente significativas apenas no PVI, mesmo esses tratamentos tendo apresentado valores médios bem próximos para este índice de vegetação. Quando a cultura estava em pleno desenvolvimento (102 DAE), em ambos os índices testados, não foram observadas diferença estatisticamente significativa para os tratamentos não irrigados. Enquanto que, no final do ciclo, os dois índices de vegetação testados apresentaram diferença estatisticamente significativa para esses tratamentos.

Em termos estatísticos as diferenças apareceram no índice PVI, índice que considera a chamada linha do solo nas suas equações como forma de reduzir a influência do fundo (no caso solo) na resposta do dossel. Neste trabalho, a linha do solo foi ajustada para o solo exposto (sistema de plantio convencional) e para o solo coberto com palha (sistema plantio direto) e os coeficientes das equações ajustadas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes determinados para a linha do solo em condições de solo exposto e coberto com palha.

Tipo	a	b	c
Coberto	1,300	5,156	1,453
Exposto	1,293	3,472	1,543

a e b - são os coeficientes inclinação e intercepto equação de regressão linear que define a linha do solo; c - é o coeficiente de inclinação da reta do solo quando esta passa pela origem.

4. Conclusões

O PVI apresentou melhor desempenho do que o NDVI, diferindo estatisticamente os tratamentos. O NDVI, apesar de ser um dos índices mais conhecidos e utilizados em pesquisas, não considera a contribuição de reflectância do solo em suas equações, fato que pode interferir no desempenho deste índice.

Conclui-se que os índices de vegetação NDVI e PVI podem ser utilizados como estimadores remotos da cultura da soja, podendo ser extremamente úteis em programas de monitoramento e previsão de safras.

Referências Bibliográficas

- ANTUNES, M. A. H.; Variação das Medidas Espectrais Tomadas com Espectrorradiômetro ao Longo do Ciclo de Crescimento da Soja. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1993. **Anais**. Curitiba, Vol.3, p. 1-9. 1993.
- BISOTO, V., FARIAS, A.D. Algumas considerações sobre a cultura da soja. In: XXIX Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul, 2001. **Indicações Técnicas 2001**. Porto Alegre, p.7-17.
- CONAB, 2004 <http://www.conab.gov.br/> acesso em 08/010/04
- FONSECA, E. L; Caracterização Espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesq Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.365-371, 2002.
- FONTANA, D.C.; **Índice de Vegetação Global para o Monitoramento da Vegetação e a sua Correlação com Elementos Agrometeorológicos e Rendimento de Grãos de Soja**, Porto Alegre, Tese. Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.133f.
- LUZ, N. B.; Avaliação da Resposta Espectral de Folhas de Aveia Preta (*Avena strigosa*) Cultivadas em Diferentes Solos da Serra Gaúcha, com Adição de Cobre e Matéria Orgânica. In: XI SBSR, 2003. **Anais**, Belo Horizonte, INPE, p.2343-2349. 2003.
- LUZ, N. B.; Viabilidade da Identificação de Variedades de Videiras pelas Diferenças Observadas na Resposta Espectral das Folhas. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003. **Anais**, Curitiba,
- MARTORANO, L. G., DALMAGO, G. A., BERGAMASCHI, H., et al. **Potencial da água e teor de clorofila em folhas de soja em resposta a sistemas de cultivo e irrigação**. In: X Reunión Argentina y IV Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Mar del Plata. 2004 (CD-ROM).
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos. 250p. 2001.
- OMETTO, J. C. 1981. **Bioclimatologia Vegetal**, São Paulo, 425p.
- STEFFEN C. A, Moraes, E. C, **Introdução a Radiometria**, VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 1993.
- STEFFEN, C. A. **Notas de aula**, CPSRM, Porto Alegre 2004.
- VIANELLO, R.L. & ALVES, A.R. 1991. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, UFV, Impr Univ. 449 p.