

Utilização de Medidas Espectrais para o Monitoramento da Cultura da Soja (Glycine max (L.) Merrill) ao Longo do Ciclo de Crescimento

MAURO A. H. ANTUNES¹
GETÚLIO T. BATISTA¹
EDUARDO D. ASSAD²
MAURÍCIO A. MOREIRA¹

¹INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

²EMBRAPA/CPAC-Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
Caixa Postal 700023
73.300 - Planaltina, DF, Brasil

Abstract. It was carried out a study with field radiometry in order to evaluate agronomic and spectral relationships for 5 varieties of soybean (Glycine max (L.) Merrill) collected during the growth cycle. The spectral data was integrated in TM bands and transformed in vegetation indices (VI), namely ratio VI (RVI), normalized difference VI (NDVI), transformed VI (TVI), perpendicular VI (PVI), soil adjusted VI (SAVI), transformed soil adjusted VI (TSAVI), and weighted difference VI (WDVI). The agronomic data used in this work were the leaf area index, total wet phytomass, total dry phytomass, wet leaf phytomass and dry leaf phytomass. The indices characterized by a slope, namely RVI, NDVI, TVI, SAVI and TSAVI reached saturation for leaf area index between 3 and 4. TVI and WDVI, both characterized by a distance, did not reach saturation until leaf area index 6 and were the best vegetation indices, showing more sensibility and correlation with the agronomic variables.

Introdução

Tem sido observados nos últimos anos um grande número de trabalhos na literatura, voltados para o desenvolvimento e avaliação de índices de vegetação para a determinação das relações destes com variáveis biofísicas do dossel, tais como índice de área foliar (IAF), fitomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida e finalmente com produtividade (Holben et al.; 1980, Tucker, 1983; Wiegand e

Richardson, 1990). Este procedimento visa utilizar tais relações no monitoramento da vegetação de áreas agrícolas e não agrícolas, através do Sensoriamento Remoto. Estes índices são desenvolvidos para serem sensíveis à quantidade de vegetação presente e para eliminarem os efeitos das propriedades espectrais dos solos. Em alguns casos eliminam também efeitos das condições atmosféricas e de sombreamento

Anais do VII SBSR, 1993

e relevo.

O primeiro índice a ser utilizado foi a razão simples entre as bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V). Pearson e Miller (1972) utilizaram este índice (RVI) para a determinação de biomassa de gramíneas. Em seguida Rouse et al. (1974), desenvolveram o índice diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação transformado (TVI). Estes índices são:

$$RVI = IVP/V$$

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$$

$$TVI = (NDVI + 0,5)^{1/2}$$

Kauth e Thomas (1976) propuseram uma metodologia de extração de informações de dados de satélite com base em transformações lineares dos dados. Devido ao formato da trajetória do produto das transformações ao longo do ciclo, denominaram-no de "tasseled cap". Jackson (1983) deu um tratamento mais formal a estas transformações, no qual os cálculos podem ser realizados para o número de espaços (bandas) que se desejar.

Richardson e Wiegand (1977) introduziram o conceito de linha de solo, segundo o qual os pontos referentes ao solo no par ordenado IVP versus V se localizam em uma reta, com inclinação e intercepto característicos para cada tipo de solo. Conforme Huete (1988) este conceito se aplica também para um dado dossel de plantas com solos apresentando diferentes propriedades espectrais. Os índices de vegetação são medidas de o quanto uma linha de vegetação se distancia da linha de solo,

em termos de distância ou de inclinação da reta. Assim, Richardson e Wiegand (1977) introduziram o índice de vegetação perpendicular (PVI), o qual representa uma distância entre a linha de solo e um ponto de vegetação no gráfico do IVP versus V.

$$PVI = [(V_{\text{solo}} - V_{\text{veg}})^2 + (IVP_{\text{solo}} - IVP_{\text{veg}})^2]^{1/2}$$

Entretanto, os índices acima definidos ainda são sensíveis às variações de FRB do solo, sendo que o RVI, o NDVI e o TVI diminuem à medida em que o solo se torna mais reflexivo (Huete, 1988). O PVI tem um comportamento oposto, aumentando com o aumento do FRB do solo (Huete, 1988), uma vez que a linha de vegetação dificilmente é paralela à linha de solo.

Huete (1988) introduziu o índice de vegetação ajustado para o solo (SAVI). Este tem por base o deslocamento da origem do par ordenado IVP versus V para o ponto de encontro entre a linha do solo e a linha de vegetação, através da adição de uma constante aos valores de IVP e V. Os valores da constante devem variar com a quantidade de vegetação presente, entretanto o autor argumenta que um valor de 0,5 mostrou reduzir o efeito do solo consideravelmente ao longo de uma grande amplitude de densidade de vegetação. Assim, o índice SAVI derivado do NDVI é definido como:

$$SAVI = [(IVP - V) / (IVP + V + L)] (1 + L)$$

sendo L uma constante igual a 0,5.

Com embasamento similar ao índice de Huete (1988), Baret et al. (1989) apresentam o

índice TSAVI (índice de vegetação transformado e ajustado para solo). Este índice é uma medida do ângulo entre a linha do solo e a linha de vegetação, e é dado por Baret et al. (1989):

$$\text{TSAVI} = \frac{a \text{ (IVP-a) (V-b)}}{(V) + (a \text{ IVP}) - (a b)}$$

sendo "a" e "b" a inclinação e o intercepto da linha de solo no par ordenado IVP versus V.

Clevers (1989) argumenta que para se obter boa correlação de medidas radiométricas com o IAF, é necessário que se utilize a região do IVP, onde é possível obter informações das camadas inferiores de folhas. Assim, propõe um índice que visa eliminar o efeito das propriedades espectrais do solo nas medidas radiométricas da faixa do IVP. Este, denominado índice de vegetação diferença ponderada (WDVI), é dado por:

$$\text{WDVI} = \text{IVP} - cV,$$

onde $c = \text{IVP}_{\text{solo}} / V_{\text{solo}}$, que equivale à inclinação da linha de solo quando o intercepto é igual a 0 (zero).

Conforme Baret e Guyot (1991) os índices de vegetação podem ser caracterizados por uma inclinação, no caso o RVI, NDVI, o SAVI e o TSAVI, e por uma distância (PVI e WDVI). Estes índices têm sido sucessivamente testados na literatura por Tucker (1979), Major et al., (1990), Baret e Guyot (1991) e Shultis (1991).

Este trabalho tem por objetivo verificar as relações entre dados agronômicos e índices de vegetação para 5 variedades de soja plantadas em experimento de campo.

Metodologia

Foi instalado um experimento na EMBRAPA/CPAC, município de Planaltina-D.F., em um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa, no qual foi realizada análise química para permitir correção da acidez e adubação química em três diferentes níveis.

O experimento consistiu de 30 parcelas (5m x 8m) plantadas com espaçamento de 0,5 metros entre fileiras e semeio de 20 sementes por metro linear. Foram utilizadas as variedades de soja Eureka, Savana, Cristalina, Doko e BR 79-31339. Cada parcela foi dividida em duas partes: uma destinada às medições radiométricas e outra à coleta de plantas para obter os parâmetros agronômicos que necessitam ser trabalhados em laboratório.

Os parâmetros agronômicos foram determinados de amostras de 1,4 m², coletadas por época das campanhas radiométricas. Neste trabalho utilizo-se o índice de área foliar (IAF), a fitomassa fresca total (FFT), a fitomassa seca total (FST), a fitomassa fresca de folhas (FFOL) e a fitomassa seca de folhas (FSFOL).

Para as medidas radiométricas utilizou-se o espectrorradiômetro SPECTRON SE-590, cuja faixa de atuação vai de 369,4 nm a 1113,7 nm, dividida em um total de 252 bandas com largura nominal de 2,95 nm e largura real de 8 nm aproximadamente. Devido a problemas de harmônico, constatados por Rudorff e Batista (1990) em campanhas anteriores, optou-se por utilizar apenas a faixa espectral entre 514,0 nm a 920,7 nm. Como referência, foi utilizada a placa de sulfato de

bário LARAD 90:12, cuja calibração foi realizada no LARAD (INPE), dia 10/11/89, em relação a um padrão de laboratório.

Para a realização das medições, as 2 cabeças leitoras do SPECTRON SE-590 foram fixadas sobre um mastro de elevação de 3 metros de altura, sendo uma com a objetiva apontada para o nadir e integrando uma área circular de $0,5 \text{ m}^2$ no solo, e a outra com um coletor cosseno para a leitura da irradiância. Em cada parcela foram realizadas 4 pares de medidas, sendo 2 sobre as fileiras e 2 nas entrelinhas, para permitir uma maior representatividade dos dados radiométricos (Daughtry et al., 1982).

As medições foram quase sempre realizadas na parte da manhã a partir das 9 horas, sempre com condições de céu limpo e com o disco solar livre de nuvens. Neste trabalho foram utilizados 225 medidas radiométricas realizadas nas 30 parcelas ao longo do ciclo da soja.

Para a obtenção do fator de reflectância bidirecional espectral (FRB_n) do dossel e do solo, foi utilizada a metodologia proposta por Duggin (1980), a qual utiliza a seguinte equação:

$$FRB_n = \frac{L_n(\text{alvo})}{E_n} * C_n * F_n$$

onde:

n = comprimento de onda;
 $L_n(\text{alvo})$ = radiância refletida pelo alvo na direção do sensor;
 E_n = irradiância solar no instante da medida, medida pelo

coletor cosseno;

C_n = fator de calibração entre as duas cabeças leitoras;

F_n = fator de calibração da placa de sulfato de bário.

Para a transformação dos dados radiométricos nos índices de vegetação RVI, NDVI, TVI, PVI, SAVI, TSAVI e WdVI, estes foram integrados em bandas TM3 (de 629,0 a 690,7 nm) e TM4 (de 759,0 a 899,6 nm).

A linha de solo foi obtida através da regressão linear simples entre a banda TM4 (ordenada) e TM3 (abscissa) de 10 medidas de solo realizadas no campo ao lado do experimento ($r^2=0,998$). Para os índices em que é necessário o FRB do solo utilizou-se a média das bandas TM3 e TM4 das 10 medidas de campo.

A análise dos resultados teve como base a regressão entre as variáveis agrônomicas e os índices de vegetação e análise de gráficos.

Relações Entre Índices de Vegetação e Variáveis Agrônomicas do Dossel

Na Tabela 1 estão os valores do coeficiente de correlação (r) entre as variáveis agrônomicas e os índices de vegetação. Os valores de r maiores foram encontrados para a FFOL e para o IAF, enquanto que os menores valores foram encontrados para a fitomassa total seca e fresca. Entretanto todas correlações entre os índices e os parâmetros agrônomicos foram significativas mesmo ao nível de 99,9% de probabilidade (Zar, 1974). Para a determinação do IAF e da FFOL os índices WdVI e PVI tiveram o melhor desempenho

TABELA 1 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E AS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS.

	IAF	FFT/M ²	FST/M ²	FFOL/M ²	FSFOL/M ²
RVI	0,823	0,694	0,538	0,843	0,819
NDVI	0,836	0,724	0,579	0,847	0,819
TVI	0,830	0,718	0,574	0,840	0,811
PVI	0,884	0,610	0,423	0,856	0,758
SAVI	0,838	0,724	0,580	0,849	0,819
TSAVI	0,834	0,722	0,579	0,845	0,816
WDVI	0,891	0,644	0,463	0,870	0,785

Acredita-se que estes valores de r^2 tenham sido afetados pela variabilidade introduzida pelos tratamentos (variedades e níveis de adubação e de irrigação). Assim, quando as regressões foram realizadas apenas para as 134 parcelas irrigadas houve um aumento nos valores de r^2 , e para os dados de cada parcela em separado os valores de r^2 foram bem mais altos em relação aos da Tabela 1.

Complementando a análise de regressão anterior, serão verificados os gráficos dos índices de vegetação versus IAF, fitomassa total e fitomassa de folhas.

Na Figura 1 estão os gráficos dos índices caracterizados por uma inclinação, no caso o RVI, NDVI, o SAVI e o TSAVI. O TVI não é mostrado por apresentar um comportamento semelhante ao NDVI. Observa-se que estes índices chegaram à saturação para valores de IAF entre 3 e 4, à exceção do RVI. Assim, para os dados utilizados neste trabalho estes índices não

mostraram um bom desempenho. Isto indica que para valores de IAF acima de 4 a inclinação da linha de vegetação permanece constante. Para a soja Holben et al. (1980) também encontraram uma saturação do NDVI em relação ao IAF para valores em torno de 4, enquanto que para o RVI o autor também não verificou saturação para IAF até 6.

Para os dados destes gráficos a regressão não linear assintótica seria mais adequada, entretanto isto não diminuiria o problema da falta de sensibilidade dos índices para altos valores de IAF. Portanto há necessidade de se introduzir melhorias nestes índices para que possam ter sensibilidade a uma maior amplitude de valores de IAF. Entretanto foi observado que os gráficos da Figura 1 têm um comportamento mais confinado do que a banda TM4, mostrando que os índices permitiram diminuir a variabilidade nos dados espectrais, apesar da perda de sensibilidade para valores de IAF acima de 4.

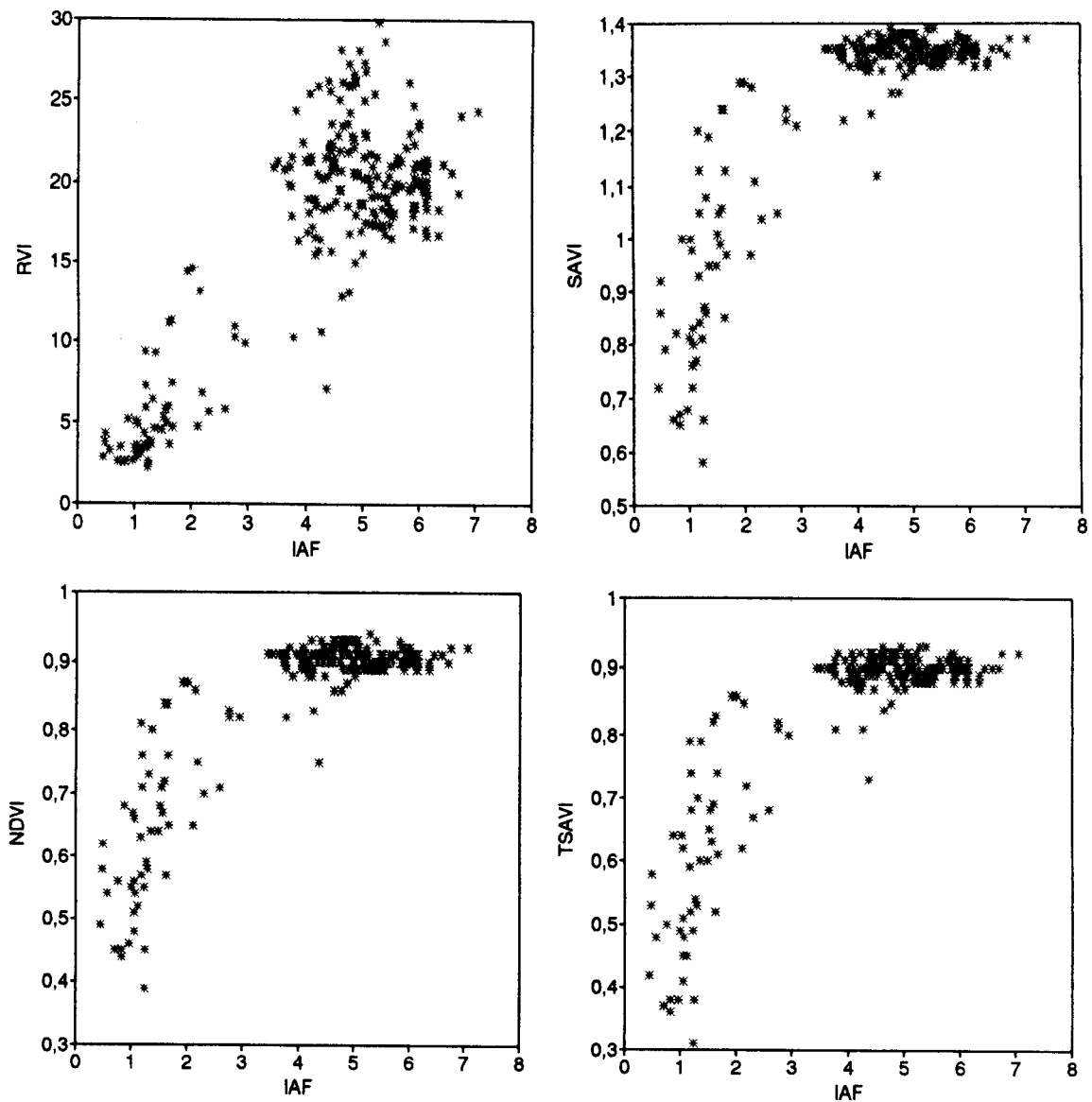


Figura 1 - Índices de vegetação versus IAF; a) RVI; b) NDVI; c) SAVI; e d) TSAVI. Número de parcelas: 225.

O PVI e o WdVI são mostrados na Figura 2. Estes tiveram uma melhor resposta para o IAF em relação aos da Figura 1, não tendo comportamento assintótico para IAF acima de 4. Neste caso observa-se que o WdVI teve uma dispersão ligeiramente menor que o PVI, confirmando a pequena superioridade mostrada na regressão. Clevers (1989) também obteve bons resultados ao plotar dados de IAF medidos no campo versus o WdVI, sem saturar o índice até IAF em torno de 6.

3 foi observado em fotografias verticais da cultura que a cobertura do solo era alta, e portanto a influência do solo nas medidas radiométricas era baixa. Assim, as principais diferenças entre os índices se referem às diferenças de sensibilidade, e não à capacidade de remover influências do solo nos dados espectrais.

Para valores de IAF acima de

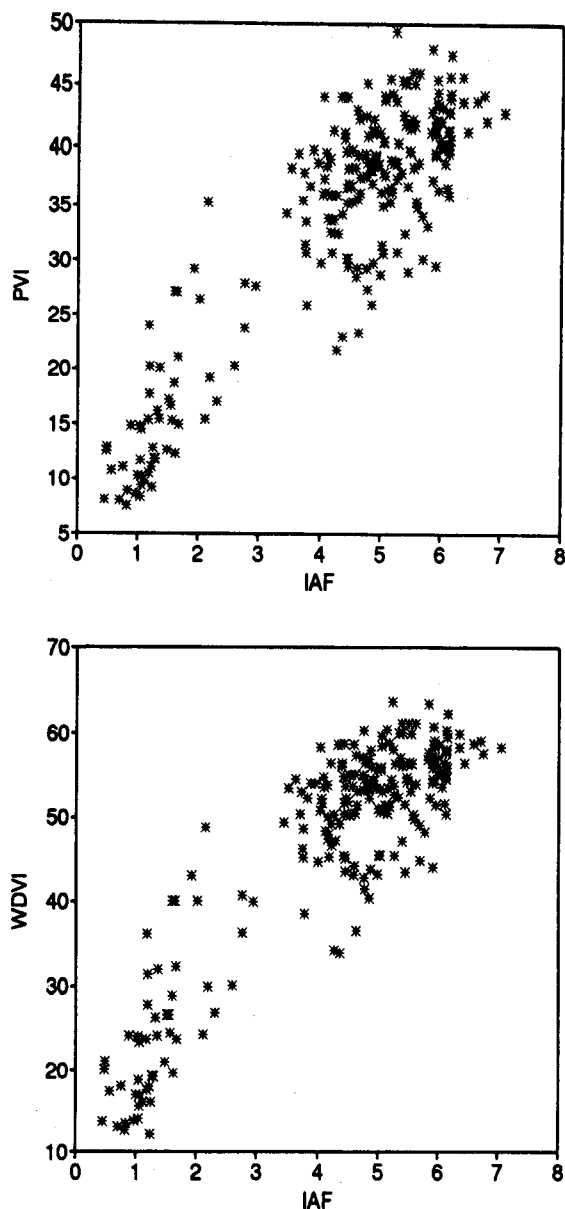


Figura 2 - Índices de vegetação versus IAF; a) PVI; e b) WdVI. Número de parcelas: 225.

Por ter tido um desempenho melhor, o WdVI foi utilizado em gráficos versus fitomassa fresca de folhas e total. Nas Figuras 3 e 4 são mostrados o WdVI versus a fitomassa fresca de folhas (FFOL) e a fitomassa fresca total (FFT) respectivamente. Verifica-se que para a FFOL o padrão de comportamento deste índice foi semelhante em relação ao IAF. Para a FFT observa-se que os dados estão dispersos em forma de uma parábola. Este comportamento do WdVI em relação à FFT ocorre porque aproximadamente a partir da

fase de enchimento de grãos começa ocorrer a senescência das folhas, diminuindo o IAF e conseqüentemente o FRB no infravermelho próximo (Antunes et al., 1993). Entretanto, conforme mostra Antunes et al. (1993), a fitomassa ainda continua aumentando mesmo a partir desta fase da cultura.

Conclusões

Dos resultados encontrados neste trabalho conclui-se que para as condições do experimento de campo em

questão, os índices que têm como base a inclinação da linha de vegetação são menos sensíveis ao IAF. Os índices que têm como base uma distância da linha de solo (PVI e WdVI) se mostraram mais eficientes e não tiveram saturação para IAF até 6, mostrando que são mais adequados para o monitoramento da vegetação. Destes, o WdVI se mostrou ligeiramente melhor.

Os resultados e conclusões são válidos para as condições em que o experimento de campo foi realizado, sendo de interesse que sejam verificados para outras condições. Para permitir o uso destes sob uma maior variedade de condições, recomenda-se que se trabalhe na melhoria dos índices, tentando preservar e melhorar as informações contidas nas bandas sem perder a simplicidade.

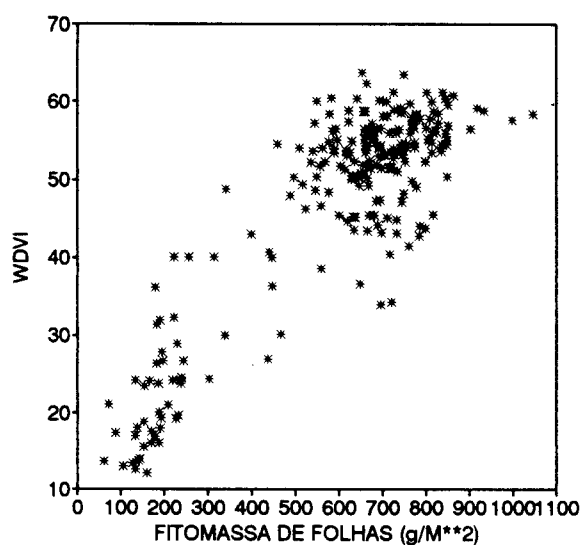


Figura 3 - Índice de vegetação WdVI versus fitomassa fresca de folhas. Número de parcelas: 225.

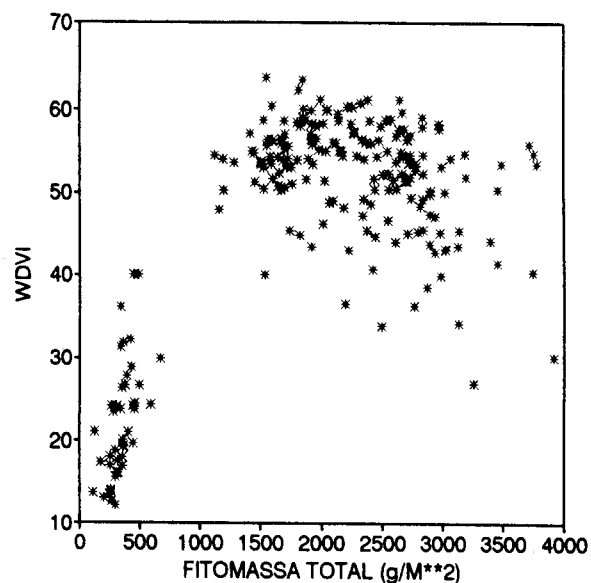


Figura 4 - Índice de vegetação WdVI versus fitomassa fresca total. Número de parcelas: 225.

Referências

- Antunes, M.A.H.; Batista, G.T.; Assad, E.D. Variação das medidas espectrais tomadas com espectrorradiômetro ao longo do ciclo de crescimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. 10-14 de maio, 1993, Curitiba, PR. (no prelo)
- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR measurements. *R. Sens. Envir.* 35(2-3)161-173, 1991.
- Baret, F.; Guyot, G.; Major, D.J. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. 12th Canadian Symp. on R. Sens., 10-14 July, 1989, Vancouver, Canada. p. 1355-1358.

- Clevers, J.G.P.W. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. **R. Sens. Envir.** 29(1)25-37, 1989.
- Daughtry, C.S.T.; Vanderbilt, V.C.; Pollara, V.J. Variability of reflectance measurements with sensor altitude and canopy type. **Agron. J.** 74(4)744-751, 1982.
- Duggin, M.J. The measurement of reflectance factors. **Photog. Eng. R. Sens.** 46(5)643-647, 1980.
- Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Fan, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Phot. Eng. R. Sens.** 46(5)651-656, 1980.
- Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **R. Sens. Envir.** 25(3)295-309, 1988.
- Jackson, R.D. Spectral indices in n-space. **R. Sens. Envir.** 13 :409-421, 1983.
- Kauth, R.J.; Thomas, G.S. The tasseled cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Symp. on Mach. Proc. of R. sensed Data, 10., West Lafayette, IN, 1976. **Proc.** Purdue University, 1976, p. 41-51.
- Major, D.J.; Baret, F.; Guyot, G. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. **Int. J. R. Sens.** 11(5)727-740, 1990.
- Pearson, R.L.; Miller, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. Int. Symp. on R. Sens. Envir., 8., Ann Arbor, 2-6 Oct. 1972. **Proc. Ann Arbor, ERIM, 1972. V. 2**, p. 1355-1379.
- Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Phot. Eng. R. Sens.** 43(12)1541-1552, 1977.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974. 371 p.
- Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T. Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region. **R. Sens. Envir.** 31 (1) 53-63, 1990.
- Shultis, J.K. Calculated sensitivities of several optical radiometric indices for vegetation canopies. **R. Sens. Envir.** 38(3)211-228, 1991.
- Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **R. Sens. Envir.** 8(2)127-150, 1979.
- Wiegand, C. L.; Richardson, A. J. Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration, and yield. II. Results. **Agron. J.** 82 :630-636, 1990.

Zar, J.H. **Biostatistical analysis.** Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1974. 620 p.

Agradecimentos: Este trabalho faz parte da Fase IV do Projeto ESTIMA mantido pela Fundação Banco do Brasil. Assim os autores agradecem à Fundação Banco do Brasil pelo suporte financeiro para a campanha de campo e aquisição de equipamentos.