

Avaliação de índices de pigmentos fotossintéticos na estimativa da concentração de *clorofila a*, *clorofila b*, *clorofila total* e *carotenóides* nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* [L.], Merrill).¹

CLOTILDE PINHEIRO FERRI (1)
ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO(1)
MARLENE A. SCHIAVINATO (2)

(1) INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{cferri, formag}@ltid.inpe.br

(2) UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6109 - 13.083-970 – Campinas – SP, Brasil
mschiavi@unicamp.br

Abstract: The objective of this study was to evaluate four narrow-band indices for estimating pigment concentration (chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll total and carotenoids), suggested by different authors, during the phenological development of soybean culture (*Glycine max* [L.], Merrill). An experiment in green house conditions was conducted and it was verified that two indices (PSSR and PSND, both proposed by Blackburn, 1998a) showed direct correlation to pigment variations; the third indice (SIPI proposed by Peñuelas et al., 1995) showed inverse correlation; and RARS (proposed by Chapelle et al., 1992) was no sensitive to variations for the studied pigments, during the different phenological phases of soybean canopy .

Keywords: Remote Sensing, Radiometry, Photosynthetic Pigment, Canopy Chemistry.

1. Introdução

Os pigmentos fotossintéticos (*clorofilas a e b*, *carotenóides* e *xantofilas*) são essenciais para o desenvolvimento de uma planta, pois são responsáveis pela captura da energia solar incidente usada na fotossíntese. Com o desenvolvimento do sensoriamento remoto hiperespectral, tem-se aberto a possibilidade de quantificar pigmentos fotossintéticos individuais contidos na vegetação. Estas informações ajudam na determinação do estado fisiológico da vegetação (p.e., detecção de estresse), na discriminação de espécies (p.e., monitoramento das características fenológicas) e na estimativa da produtividade (p.e., medindo e interpretando a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, com mais acurácia) (Blackburn, 1998a).

Trabalhos tais como os de Chapelle et al. (1992) e de Peñuelas et al. (1995) têm proposto o uso de índices de reflectância com bandas estreitas na determinação da concentração absoluta e relativa de *clorofila a*, *clorofila b* e *carotenóides* em folhas de plantas. Blackburn (1998b) quantificou *clorofila a* e *carotenóides* tanto em folhas como em dossel com uma abordagem hiperespectral. Utilizando a planta *Pteridium aquilinum*, foram realizadas medidas de reflectância, características biofísicas e a composição dos pigmentos, durante uma fase de desenvolvimento. Os resultados indicaram que

¹ Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP

índices de reflectância de bandas estreitas, tal como razão simples para pigmento específico (PSSR), pode ser desenvolvido, e este tem forte relação com a concentração por unidade de área de pigmentos individuais em dosséis.

O objetivo deste trabalho é de avaliar diferentes índices de pigmentos fotossintéticos com a finalidade de estimar a concentração de *clorofila a*, *clorofila b*, *clorofila total* e *carotenóides*, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja

2. Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade de Campinas (UNICAMP), com plantas de soja (*Glycine max* [L], Merrill), em 16 caixas medindo cada uma 60 x 40 x 20 cm. A soja utilizada foi a IAC 17, que é precoce, com ciclo em torno de 100 dias. As plantas se desenvolveram sobre um substrato comum em todas as caixas, espaçadas de 8 cm. No plantio, foi colocada uma adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na proporção 10-10-10. Após a germinação, o solo (substrato) foi recoberto por dois outros tipos de solo espectralmente diferentes (um tipo de solo para cada 8 caixas). Foi utilizado um solo com resposta espectral alta (solo de cor clara, representado por areia quartzosa) e um solo com resposta espectral baixa (representado por um latossolo roxo). Foram coletadas as seguintes medidas em cada fase de desenvolvimento da soja: a) espectros de reflectância das plantas, com o uso do radiômetro Spectron 590, com resolução de 6 nm; b) determinação da concentração de pigmentos (*clorofila a*, *clorofila b*, *clorofila total* e *carotenóides*), em laboratório, calculados através das equações sugeridas por Lichtenthaler (1987); c) determinação da concentração de *clorofila total* com o uso de um clorofilômetro; d) altura das plantas; e) índice de área foliar (IAF); f) porcentagem de cobertura; g) porcentagem de água nas plantas.

Para a determinação das quantidades de pigmentos presentes no dossel da cultura da soja, nas suas diferentes fases de crescimento, foram avaliados os seguintes índices espectrais para pigmentos específicos:

a) Índice de pigmento por análise de razão (RARS) (Chapelle et al., 1992):

$$RARSa = (R_{675}/R_{700})/(r_{675}/r_{700}), \text{ para } \textit{clorofila a}; \quad (1)$$

$$RARSb = \{[(R_{675}/R_{650}) \times R_{700}] \times [r_{650} \times (r_{700}/r_{675})]\}, \text{ para } \textit{clorofila b}; \quad (2)$$

$$RARS c = (R_{700}/R_{500})/(r_{700}/r_{500}), \text{ para } \textit{carotenóides}. \quad (3)$$

b) Índice de pigmento insensível à estrutura (SIPI) (Peñuelas et al., 1995):

$$SIPI = (R_{800} - R_{445})/(R_{800} - R_{680}) \quad (4)$$

c) Índice de pigmento por razão simples (PSSR) (Blackburn, 1998a):

$$PSSRa = R_{800}/R_{680}, \text{ para } \textit{clorofila a}; \quad (5)$$

$$PSSRb = R_{800}/R_{635}, \text{ para } \textit{clorofila b}; \quad (6)$$

$$PSSRc = R_{800}/R_{470}, \text{ para } \textit{carotenóides}. \quad (7)$$

d) Índice de pigmento por diferença normalizada (PSND) (Blackburn, 1998a):

$$\text{PSNDa} = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680}), \text{ para } \textit{clorofila a}; \quad (8)$$

$$\text{PSNDb} = (R_{800} - R_{635}) / (R_{800} + R_{635}), \text{ para } \textit{clorofila b}; \quad (9)$$

$$\text{PSNDc} = (R_{800} - R_{470}) / (R_{800} + R_{470}), \text{ para } \textit{carotenóides}. \quad (10)$$

Onde, R= porcentagem de reflectância em um comprimento de onda específico (nm) em um espectro de reflectância; e r= porcentagem de reflectância em comprimento de onda específico em um espectro de reflectância de referência.

Os dados serão analisados estatisticamente, com o uso de correlações entre os índices e os valores de *clorofila a*, *clorofila b*, *clorofila total* e *carotenóides* determinados em laboratório e também através de análise de regressão linear.

3. Resultados Preliminares

Na Figura 1, estão apresentados os valores médios de *clorofila a*, obtidos através dos diferentes índices estudados, para o solo com resposta espectral alta (solo claro). Observa-se que o índice PSND e o índice PSSR tiveram um comportamento semelhante, apresentando valores baixos de *clorofila a* nas primeiras semanas, aumentando com o desenvolvimento da cultura, mantendo os valores num mesmo nível e voltando a diminuir quando as plantas entram em senescência. Para o índice SIPI, o comportamento foi o oposto do esperado, enquanto que o índice RARS não apresentou diferenças durante as fases de desenvolvimento da cultura.

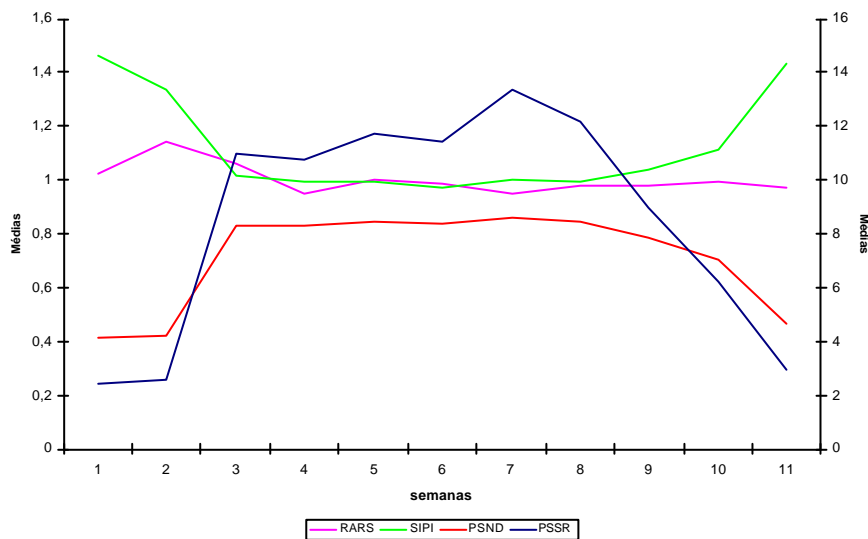


Figura 1. Valores médios de *clorofila a* obtidos através de quatro diferentes índices de pigmentos específicos, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja, sobre um solo espectralmente claro.

Com o desenvolvimento das plantas, observou-se a diminuição do efeito do solo nas respostas espectrais, devido ao aumento da área foliar e consequentemente da porcentagem de cobertura. Os índices tiveram pouca relação com os pigmentos nas primeiras semanas de desenvolvimento da cultura e melhor relação nas semanas em que a porcentagem de cobertura estava acima de 90%, o que também foi observado por outros autores como Blackburn (1998a).

4. Conclusão

Alguns índices para pigmentos específicos poderão ser utilizados para a determinação da *clorofila a*, *clorofila b*, *clorofila total* e *carotenóides*, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura vegetal. Estes índices apresentaram valores diferentes para cada fase, devido a diferentes fatores: porcentagem de cobertura, porcentagem de água nas plantas, índice de área foliar e tipo de solo de fundo. Tais índices poderão vir a ajudar na determinação do estado fisiológico das plantas, estimar produtividade, entre outros.

Referência Bibliográfica

- Blackburn, G.A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.4, p. 657-675, Mar. 1998a.
- Blackburn, G.A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: an evolution of some hyperspectral approaches. **Remote Sensing of Environment**, v.66, n.3., p.273-285, May. 1998b.
- Chapelle, E.W.; Kim, M.S.; McMurtrey, J.E. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b and the carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, v.39, n.3, p.239-247, Mar. 1992.
- Peñuelas, J.; Baret, F.; Filella, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll *a* ratio from leaf spectral reflectance. **Photosynthetica**, v.31, n.2, p.221-230. 1995.
- Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, v.148, p.350-382. 1987.