

Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo

Tatiana Silva de Almeida¹, Denise Cybis Fontana¹,
Lucieta Guerreiro Martorano¹; Homero Bergamaschi¹

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

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

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 analysis of the data presented shows that all the vegetation indices tested presented a high and significant correlation with the foliar area index (IAF). It is concluded that the vegetation indices SR, NDVI, TVI, PVI and WDI may be used as remote estimators of IAF of the soybean crop, and may be very useful in harvest monitoring and forecasting programs.

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 estimada uma produção para a safra 2004 de 5,6 milhões de toneladas (CONAB, 2004). 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 a também alta variabilidade das condições de precipitação pluvial.

Dada a importância econômica e social da cultura e a alta variabilidade dos rendimentos no Estado, é relevante o desenvolvimento de estudos que possibilitem o monitoramento das condições de desenvolvimento das plantas na região onde se concentra a produção. Uma das alternativas interessantes neste sentido é o uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital, os 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 saudáveis. 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 refração. 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 saudável. 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 alguns índices de vegetação 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 Agrônômica 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 e a colheita ocorreram nos meses de novembro de 2003 e de maio de 2004, respectivamente. 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 foram:

Razão simples (SR):

$$SR = \frac{\rho_{iv}}{\rho_v} \quad (1)$$

Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI):

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (2)$$

Índice de vegetação transformado (TVI):

$$TVI = \sqrt{\left[\frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \right]} + 0,5 \quad (3)$$

Índice de vegetação perpendicular (PVI):

$$PVI = \left[\left(\frac{1}{\sqrt{a+1}} \right)^2 (\rho_{iv} - a\rho_v - b) \right] \quad (4)$$

Índice de vegetação ponderado (WDVI):

$$WDVI = \rho_{iv} - c\rho_v \quad (5)$$

Onde: ρ_{iv} é a reflectância no infravermelho (compatível com a banda do visível do Landsat TM: 630 e 690nm); ρ_v é a reflectância no visível (compatível com a banda do visível do

Landsat TM: 760 e 900nm); a e b são os coeficientes ajustados para a linha do solo e c é o coeficientes correspondente a inclinação da linha do solo quando esta passa pela a origem.

Os índices de vegetação calculados foram analisados quanto ao desempenho como indicadores das condições de crescimento da cultura da soja, submetida a diferentes sistemas de manejo e irrigação, através de análise de correlação com o índice de área foliar. Os resultados foram expressos na forma de gráficos e tabelas.

3. Resultados e discussão

Na Figura 1, como exemplo, é apresentada a reflectância do solo e do dossel de soja para um dos dias de medição. O comportamento observado coincide com o esperado, ou seja, a vegetação verde mostra uma reflectância típica e distinta de outros alvos. Há um grande contraste entre a baixa reflectância na faixa do visível e alta reflectância no infravermelho. Já nos solos, observa-se um aumento linear na reflectância a medida que aumenta o comprimento de ondas (Moreira, 2001).

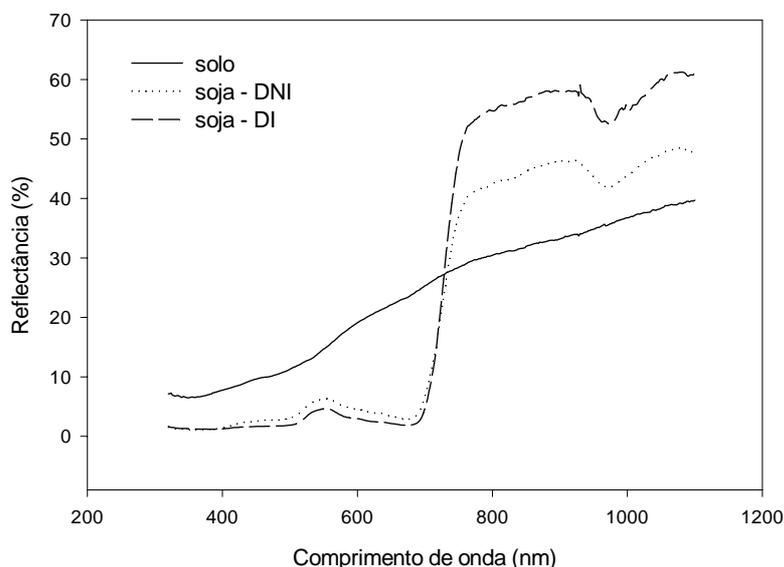


Figura 1. Reflectância do solo e do dossel de soja em plantio direto irrigado e não irrigado medidos no dia 9 de março de 2003.

O contraste entre estas respostas permite a diferenciação da vegetação, assim como permite estabelecer relações com parâmetros de crescimento da mesma. Em geral, têm sido utilizados os índices de vegetação nestas relações, sendo que o NDVI é certamente o mais citado na literatura, autores como, Antunes et al.,1993; Fonseca et al., 2002, analisaram o desempenho deste índice em seus trabalhos de pesquisa. Nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos a partir das análises envolvendo os índices de vegetação testados.

A análise dos dados apresentados mostra que todos os índices de vegetação testados apresentaram alta e significativa correlação com o índice de área foliar (IAF). Em ambos os sistemas de manejo, os dois índices de vegetação com maiores coeficientes de correlação foram o NDVI e o TVI, com menores coeficientes para a SR e foram os índices PVI e WdVI os que apresentaram coeficientes de correlação intermediários.

Tabela 1. Índice de área foliar (IAF) e índices de vegetação para a cultura da soja no sistema de plantio convencional e tratamentos irrigado (I) e não irrigado (NI).

| Dias | Tratamentos | IAF | SR | NDVI | TVI | PVI | WDVI |
|-------------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/jan/04 | I | 3,06 | 7,67 | 0,77 | 1,13 | 14,0 | 34,7 |
| | NI | 2,20 | 5,82 | 0,71 | 1,10 | 10,7 | 27,0 |
| 2/mar/04 | I | 5,99 | 21,36 | 0,91 | 1,19 | 23,3 | 56,4 |
| | NI | 4,28 | 8,82 | 0,80 | 1,14 | 14,0 | 34,8 |
| 9/mar/04 | I | 5,02 | 21,91 | 0,91 | 1,19 | 23,6 | 57,1 |
| | NI | 4,40 | 10,22 | 0,82 | 1,15 | 13,2 | 33,2 |
| 20/abr/04 | I | 3,36 | 3,29 | 0,53 | 1,02 | 4,7 | 13,1 |
| | NI | 0,32 | 2,39 | 0,41 | 0,95 | 1,7 | 6,3 |
| Correlação | | | 0,83 | 0,87 | 0,87 | 0,86 | 0,86 |

SR – razão simples, NDVI – índice de vegetação por diferença normalizada, TVI – índice de vegetação transformado, PVI – índice de vegetação perpendicular, WDVI – índice de vegetação ponderado.

Verifica-se, ainda, que houve uma tendência dos coeficientes de correlação serem mais elevados no sistema de plantio direto, o que é coerente com o padrão observado de maior uniformidade na distribuição do dossel deste sistema quando comparado ao plantio convencional.

Antunes et al., 1993 observou que os índices caracterizados por uma distância, como PVI e o WDVI, apresentaram um comportamento muito semelhante entre si tendo uma melhor resposta em relação ao IAF da soja, respondendo melhor às variáveis agrônomicas. Os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes aos obtidos naquele, sendo observada claramente a diferença entre os sistemas de manejo (Figura 2).

Tabela 2. Índice de área foliar (IAF) e índices de vegetação para a cultura da soja no sistema de plantio direto e tratamentos irrigado (I) e não irrigado (NI).

| Dias | Tratamentos | IAF | SR | NDVI | TVI | PVI | WDVI |
|-------------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/jan/04 | I | 1.82 | 5.31 | 0.68 | 1.09 | 9.9 | 26.9 |
| | NI | 1.30 | 4.42 | 0.63 | 1.06 | 9.1 | 24.8 |
| 2/mar/04 | I | 4.15 | 14.74 | 0.87 | 1.17 | 16.3 | 42.2 |
| | NI | 3.98 | 26.74 | 0.93 | 1.19 | 20.8 | 52.7 |
| 9/mar/04 | I | 5.01 | 13.08 | 0.86 | 1.17 | 14.8 | 38.7 |
| | NI | 4.32 | 5.05 | 0.67 | 1.08 | 8.0 | 22.6 |
| 20/abr/04 | I | 1.51 | 3.14 | 0.52 | 1.01 | 2.6 | 10.1 |
| | NI | 0.87 | | | | | |
| Correlação | | | 0.93 | 0.97 | 0.97 | 0.95 | 0.95 |

SR – razão simples, NDVI – índice de vegetação por diferença normalizada, TVI – índice de vegetação transformado, PVI – índice de vegetação perpendicular, WDVI – índice de vegetação ponderado.

A dispersão dos pontos para os dias de medição pode ser observada na Figura 2 para todos os índices testados. Em todas as figuras verifica-se que a medida que há incrementos no IAF ocorrem incrementos nos valores dos índices de vegetação. A forma da relação, entretanto, é um pouco distinta entre os índices. Para SR houve maior dispersão nos pontos, especialmente nos maiores valores de IAF.

Para NDVI e TVI houve a tendência de saturação, ou seja, com valores elevados de IAF estes índices perdem a sensibilidade, o que foi anteriormente observado por outros autores

(Antunes, 1993 e Fonseca, 2002, entre outros) e que constitui a maior limitação no uso destes índices.

Já o PVI e o WDVl apresentaram uma relação linear, mesmo para os IAF altos. Estes índices consideram 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 3.

Em todas as figuras, existe um ponto fora do padrão dos demais, que foi o dia 30 de abril no tratamento sistema convencional. Neste dia as plantas já se encontravam no estágio de maturação fisiológica, havendo grande número de folhas amarelas e também desuniformidade no dossel.

Tabela 3. 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.

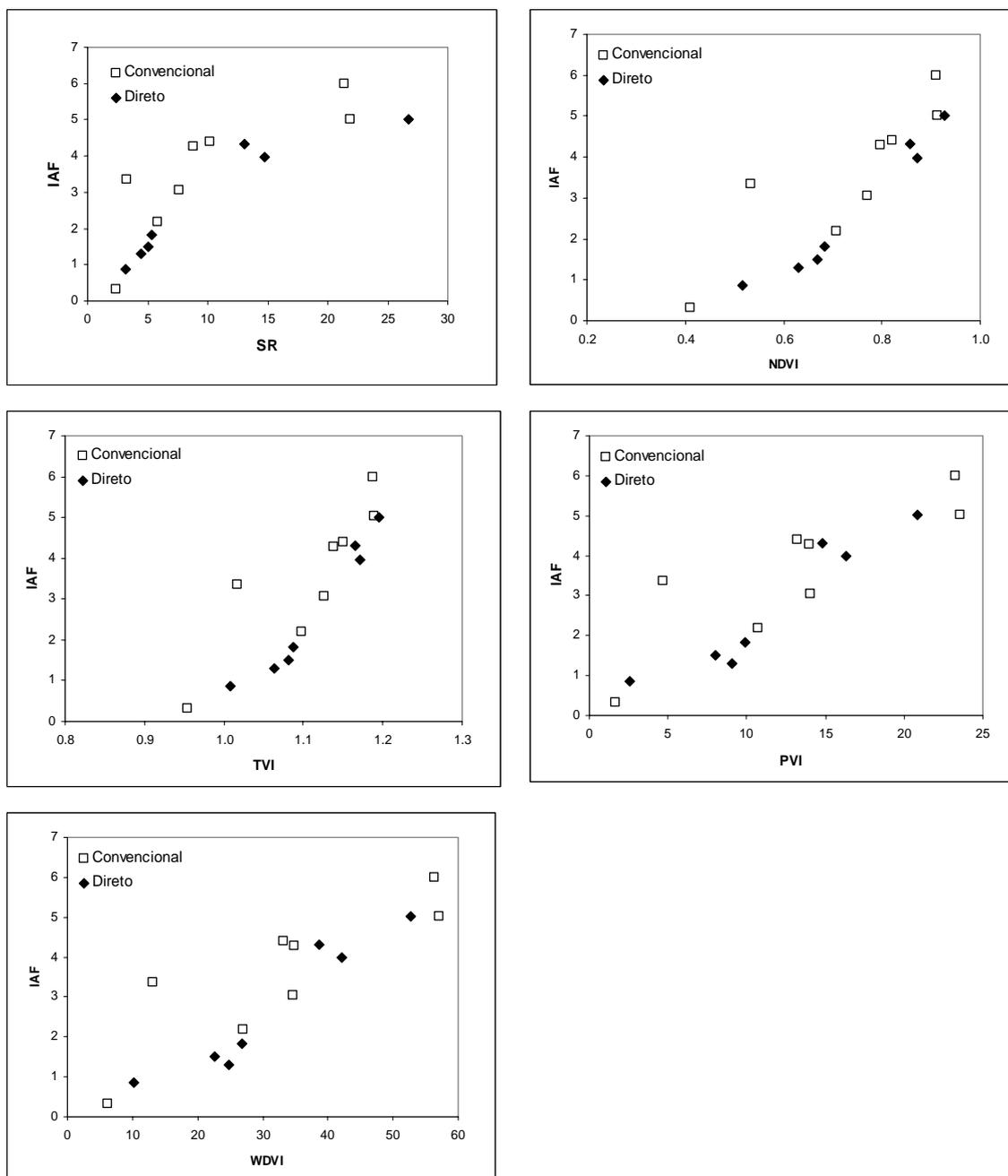


Figura 2. Índices de vegetação em cultura de soja cultivada em sistema convencional e direto. Período de observações: novembro de 2003 a maio de 2004.

4. Conclusão

Os índices de vegetação SR, NDVI, TVI, PVI e WdVI podem ser utilizados como estimadores remotos do IAF da cultura da soja e, portanto, podem se extremamente úteis em programas de monitoramento e previsão de safras.

5. Bibliografia

- ANTUNES, M. A. H.; Variação das Medidas Espectrais Tomadas com Espectroradiômetro 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,
- 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.