

VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota

**Sexta Reunion Nacional
SELPER-Mexico**

Latinoamérica Evaluada desde el Espacio
Puerto Vallarta, México

Memorias

Noviembre, 1995

INFLUÊNCIA DO SOLO DE FUNDO E DA GEOMETRIA DE ILUMINAÇÃO E OBSERVAÇÃO EM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

José Marinaldo Gleriani
Antonio Roberto Formaggio
José Carlos Neves Epiphanyo
Bernardo Friedrich Teodor Rudorff

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758
12227-010 São José dos Campos - SP - Brasil
e-mail: formag@ltid.inpe.br

RESUMO

A estabilidade dos índices de vegetação NDVI ("Normalized Difference Vegetation Index") PVI ("Perpendicular Vegetation Index") e SAVI ("Soil Adjusted Vegetation Index"), foi avaliada para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L) em um experimento fatorial com diferentes solos de fundo (Areia, Latossolo Roxo e Latossolo série Pinda), dois ângulos zenitais de visada (0 e 30°) e quatro ângulos de elevação solar (diferentes horários: 10, 11, 12 e 13 h). Observou-se que até mesmo com uma porcentagem de cobertura vegetal de 100% houve influência significativa dos solos em todos os índices vegetativos. A variação do ângulo zenital de visada de 30° não foi significativa exceção feita ao NDVI para uma cobertura vegetal de 22%. A variação do ângulo solar só deixou de ser significativa quando o dossel apresentou uma porcentagem de cobertura vegetal de 100%.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais aplicações do sensoriamento remoto envolve a caracterização de dosséis agrícolas, florestais e pastagens através de medidas da resposta multiespectral destes alvos (Huete et al., 1985). A combinação de duas ou mais bandas espectrais correlacionadas com parâmetros biofísicos da vegetação, na forma de soma, razão ou diferença de bandas é comumente denominada índice de vegetação (IV; Wiegand et al., 1991) que tem sido amplamente utilizado em estudos relacionados com a cobertura vegetal. Para Asrar et al. (1984) os IVs são mais sensíveis do que as bandas individuais quando relacionados com parâmetros biofísicos da vegetação tais como: biomassa, índice de área foliar (IAF) e porcentagem de cobertura vegetal.

Os IVs são transformações lineares de bandas espectrais nas faixas do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético. Segundo Baret et al. (1989) estas duas bandas contém mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação. Rouse et al. (1974) propuseram o IV denominado "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) definido pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

Para minimizar os efeitos da resposta espectral do solo de fundo na vegetação, Richardson e Wiegand (1977) propuseram o IV denominado "Perpendicular Vegetation Index" (PVI), o qual representa, num plano cartesiano V vs. IVP, a distância perpendicular entre a linha do solo e a reflectância de um dossel:

$$PVI = \frac{(IVP - a \cdot V - b)}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad (2).$$

Huete (1988) observou que os valores da reflectância de um dossel, sobre diferentes solos de fundo, não são corretamente descritos pelos índices NDVI e PVI. O autor propôs o uso do IV denominado “Soil Adjusted Vegetation Index” (SAVI) o qual é derivado do NDVI fazendo um deslocamento da origem do par ordenado V vs. IVP para o ponto de encontro da linha do solo com a linha da vegetação através da adição de um valor denominado L:

$$SAVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V + L)}(1 + L) \quad (3).$$

A linha do solo é definida como a relação linear entre a reflectância do solo exposto no espaço V vs. IVP e pode ser descrita pela seguinte equação:

$$IVP = a \cdot V + b \quad (4).$$

A maioria dos IVs propostos supõe a existência de uma única linha de solos onde as reflectâncias do V e IVP estão diretamente relacionadas o que na maioria dos casos pode ser considerado como verdadeiro embora Baret et al. (1993) apresentam diversos valores de *a* (inclinação) e *b* (intercepto). Para Huete et al. (1994) os critérios para validar um índice de vegetação incluem: a) maximizar a sensibilidade aos parâmetros biofísicos (preferencialmente com resposta linear); b) minimizar fatores como ângulo de elevação solar, ângulo de iluminação, nuvens e atmosfera; c) minimizar variações do fundo do dossel; d) permitir a comparação temporal e espacial das condições da vegetação. Muitos dos índices até hoje propostos são influenciados pelos solos de fundo (Huete et al., 1985), atmosfera (Jackson et al., 1983) e geometria de iluminação e observação (Huete et al., 1992; Jackson et al., 1990).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos índices de vegetação NDVI, PVI e SAVI para a cultura do feijão em três tipos de solo (Areia, Latossolo série Pinda e Latossolo Roxo), dois ângulos de visada (0 e 30°) e quatro ângulos de elevação solar (diferentes horários: 10, 11, 12 e 13 hs).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se no município de Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas um experimento fatorial com: três solos, dois ângulo de visada e quatro ângulos de iluminação. Foram instalados três canteiros de 3 x 4 m para cada solo (Areia, Latossolo Roxo e Latossolo Pinda) com três repetições. Nestes canteiros foi plantada a cultura do feijão (var. Maravilha) no alinhamento norte-sul com espaçamento de 0,5 m.

Foram feitas medições radiométrias ao longo do ciclo da cultura utilizando-se espectrorradiômetro (Spectron Engineering, Modelo SE-590) de 252 bandas espectrais na faixa de 400 a 1100 nm o qual foi montado num mastro a uma altura de 3 m. As medidas foram tomadas em dois ângulos zenitais de visada (0° e 30°) com azimute de 90° em relação ao Norte. Foram obtidas quatro medidas para cada canteiro em cada ângulo zenital de visada em torno dos horários de 10, 11, 12 e 13 horas (diferentes ângulos de elevação solar). A cada quatro medidas sobre a cultura foi obtida uma medida sobre uma placa de referência de sulfato de Bário (BaSO₄). Posteriormente os dados de radiância do alvo e da placa de referência foram convertidos em fator de reflectância e selecionou-se as bandas TM3 (630 a 690 nm) e TM4 (760 a 900 nm) através do programa Espectro do Laboratório de Radiometria (LARAD) do INPE. A partir dos valores do fator de reflectância nessas bandas (TM3 e TM4) procedeu-se o cálculo dos índices NDVI, PVI e SAVI. Para o cálculo do índice SAVI, utilizou-se o valor de L igual a 0,5 que, segundo Huete (1988), minimiza a influência do solo de fundo para um grande variação de índice de área foliar. Para o cálculo do PVI utilizou-se uma linha global dos solos que foi definida com base nos dados do fator de reflectância dos diferentes solos expostos utilizados neste experimento.

3. RESULTADOS

Para a análise dos índices de vegetação derivados da resposta espectral do feijão foram selecionadas quatro fases distintas dentro do ciclo da cultura. Estas fases foram definidas em função de diferentes porcentagem de cobertura vegetal ao longo da estação de crescimento (22, 51, 67 e 100% de cobertura vegetal). Os ângulos solares (zenital e azimutal) para os quatros horários de aquisição da medidas espectrais, em quatro fases de crescimento da cultura são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Ângulos solares (zenital e azimutal) para quatro horários (10, 11, 12 e 13 horas) em diferentes dias do ano correspondente a quatro fases do ciclo da cultura (22, 51, 67 e 100% de cobertura vegetal).

Dia do Ano (Juliano)	Ângulos Solares (Zenital / Azimutal)				Cobertura Vegetal Média (%)
	10 h	11 h	12 h	13 h	
225	45 / 35	38 / 13	38 / 348	44 / 327	22
242	43 / 45	34 / 21	32 / 351	37 / 327	51
249	39 / 43	32 / 23	30 / 353	34 / 328	67
263	32 / 47	26 / 23	25 / 347	31 / 317	100

A Figura 1A mostra que a reposta espectral dos três solos utilizados apresentaram respostas espectrais distintas. O solo arenoso teve os maiores valores de reflectância ao longo do espectro analisado enquanto que os menores valores do fator de reflectância (FR) foram observados para o Latossolo Roxo, conforme observado também por Epiphânio et al. (1992). Valores intermediários de FR foram observados para o Latossolo Pinda.

A Figura 1B mostra a linha do solo que foi obtida apartir do FR dos três solos estudados nas bandas do V e IVP. Os parâmetros de inclinação (*a*) e intercepto (*b*) desta relação são similares àqueles apresentados por Baret et al. (1993).

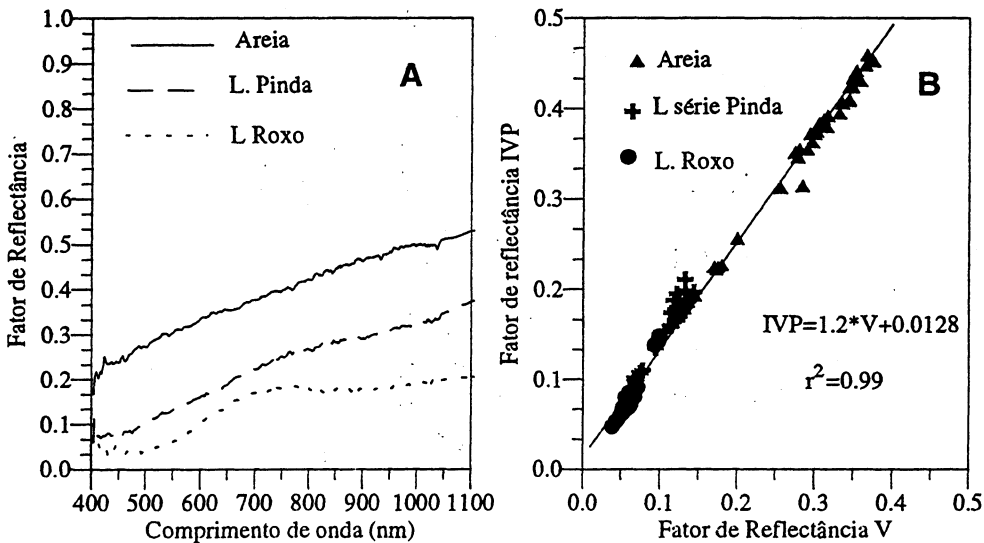


Figura 1. A) Fator de Reflectância da areia, Latossolo Roxo e Latossolo Pinda para o intervalo de comprimento de onda de 400 a 1100 nm; B) linha de solo no espaço Vermelho (V) vs. Infravermelho Próximo (IVP).

A Figura 2 apresenta os valores do NDVI para os três fatores analisados — solos, ângulo de visada e ângulo solar. Observa-se que a resposta espectral dos solos interferiu no valor do índice NDVI em todas as fases da cultura, inclusive quando a cultura apresentou cobertura vegetal total (100%). Porém, o ângulo zenital de visada de 30° somente influenciou o NDVI de forma siginificativa durante a fase inicial de crescimento (até 22% de cobertura vegetal). O ângulo de iluminação teve uma influência significativa no NDVI nas coberturas vegetais de 22, 51 e 67% devido a estrutura em fileiras que a cultura apresentava e que causa um maior sombreamento durante estas fase de crescimento como também observado por Jackson et al. (1979) e Kimes et al. (1984). Quando a cultura apresentou uma cobertura vegetal de 100% o NDVI não foi influenciado pela geomentria iluminação de cena nos diferentes horários de medição. Na Figura 3 observa-se observa-se para o índice PVI a mesma análise feita para o NDVI. O índice teve um comportamento muito semelhante ao NDVI, embora a variação do ângulo zenital de visada não tenha sido significativa em nenhuma fase analisada.

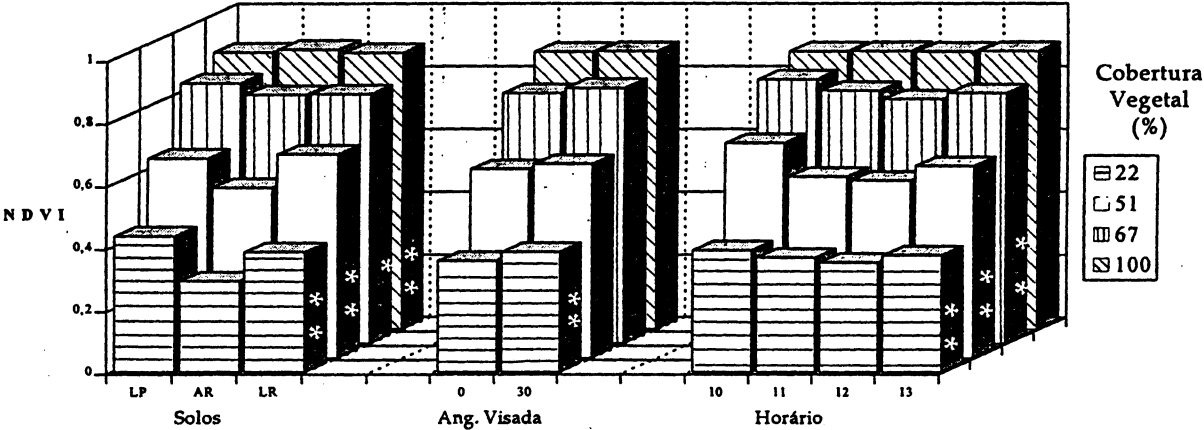


Figura 2. Efeito do solo, ângulo de visada e horário (ângulo de iluminação) no NDVI para quatro porcentagens de cobertura vegetal do feijão. Níveis de significância são indicados por: * $p>0,05$; ** $p>0,01$. Demais diferenças foram não significativas.

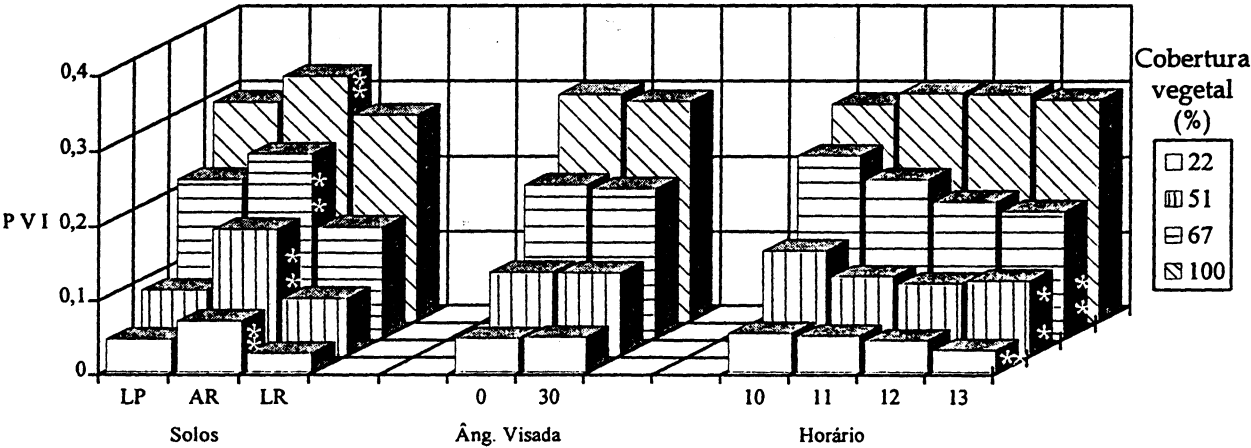


Figura 3. Efeito do solo, ângulo de visada e horário (ângulo de iluminação) no PVI para quatro porcentagens de cobertura vegetal do feijão. Nível de significância é indicado por: ** $p>0,01$. Demais diferenças foram não significativas.

A Figura 4 mostra o resultado da análise do índice SAVI o qual apresenta semelhanças com os resultados observados para o NDVI e, em especial, para o PVI. Embora Bausch (1993) tenha mostrado que a adequação do valor de L para diferentes índices de área foliar (IAF) pode melhorar a sensibilidade do SAVI, em termos de sua relação com parâmetros biofísicos da vegetação, utilizou-se um valor fixo de L, igual a 0,5 independente do IAF. Baret e Guyot (1991) observou que para certos valores do parâmetro L o índice SAVI é equivalente ao PVI.

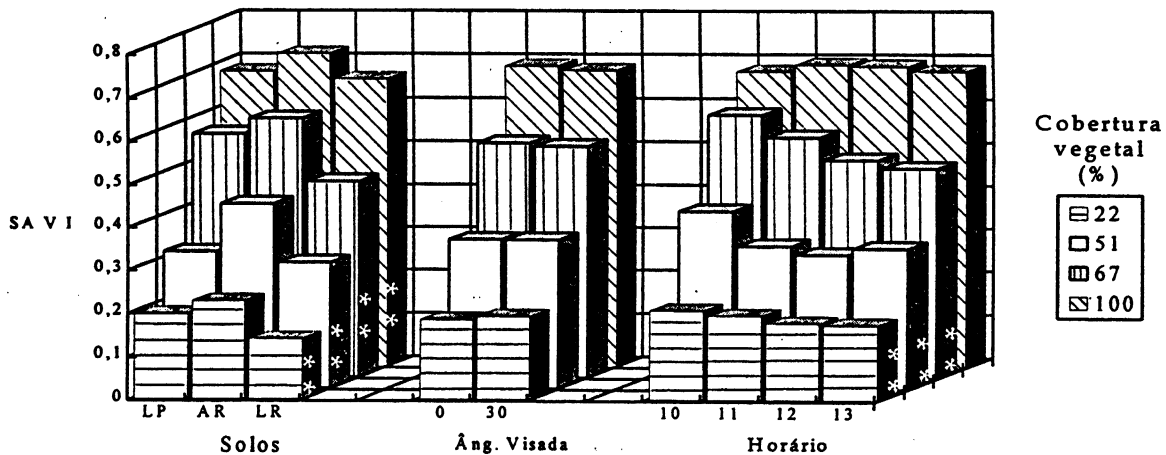


Figura 4. Efeito do solo, ângulo de visada e horário (ângulo de iluminação) no SAVI para quatro porcentagens de cobertura vegetal do feijão. Níveis de significância são indicados por: ** $p < 0,01$. Demais diferenças foram não significativas.

A única interação significativa entre ângulo de visada vs. solo foi observada para a cultura do feijão cultivada sobre o Latossolo Roxo, na fase em que apresentava uma cobertura vegetal média de 22% conforme resultado apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Interação entre ângulo de visada vs. solo para os índices NDVI, PVI e SAVI para a cultura do feijão com cobertura vegetal média de 22%.

SOLO	ÂNGULO VISADA	NDVI	PVI	SAVI
L.PINDA	0°	0,42426 A	0,04331 A	0,19319 A
	30°	0,44738 A	0,04489 A	0,19748 A
AREIA	0°	0,28778 A	0,07070 A	0,22198 A
	30°	0,29410 A	0,06650 A	0,22617 A
L.ROXO	0°	0,3564 B	0,02094 B	0,12617 B
	30°	0,41176 A	0,02883 A	0,15040 A

Médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

A interação ângulo de elevação solar vs. ângulo de visada foi significativa para os índices PVI e SAVI para a cobertura vegetal de 22% conforme apresentado na Tabela 3. Esta mesma interação também foi significativa para os índices NDVI e SAVI para uma cobertura vegetal de 51% conforme análise apresentada na Tabela 4.

Tabela 3. Interação entre ângulo de elevação solar e ângulo de visada para os índices PVI e SAVI para a cultura do feijão a uma cobertura vegetal de 22%.

ÂNGULO VISADA	ÂNGULO DE ELEVAÇÃO (HORÁRIO)	PVI	SAVI
0°	10 h	0,0460 A	0,1900 A
	11 h	0,0485 A	0,1891 A
	12 h	0,0423 A	0,1730 A
	13 h	0,0431 A	0,1776 A
30°	10 h	0,0593 A	0,2189 A
	11 h	0,0491 AB	0,1965 AB
	12 h	0,0428 AB	0,1783 B
	13 h	0,0358 B	0,1661 B

Médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4. Interação entre ângulo de elevação solar e ângulo de visada para os índices NDVI e SAVI para a cultura do feijão a uma cobertura vegetal de 51%.

ÂNGULO VISADA	ÂNGULO DE ELEVAÇÃO (HORÁRIO)	NDVI	SAVI
0°	10 h	0,7351 A	0,4183 A
	11 h	0,5820 B	0,3312 B
	12 h	0,5233 B	0,3003 B
	13 h	0,5648 B	0,3237 B
30°	10 h	0,6354 A	0,4030 A
	11 h	0,5712 A	0,3265 AB
	12 h	0,6065 A	0,3175 B
	13 h	0,6584 A	0,3237 AB

Médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

5.CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que o solo de fundo influencia de forma significativa o valor dos índices vegetativos NDVI, PVI e SAVI, independente da porcentagem de cobertura vegetal. O ângulo de visada de 30° influenciou o índice NDVI do feijão nas sua fase inicial de crescimento (cobertura vegetal de 22%). Os ângulos de elevação solar representados pelos diferentes horários de medição exerceram uma influência significativa sobre o três índices analisados nas fases iniciais e intermediárias de crescimento do feijão. A interação ângulo de visada vs. solo foi significativa para a cultura do feijão cultivada sobre o Latossolo Roxo, na fase inicial de crescimento. Interações significativas foram observadas também para ângulo de elevação solar vs. ângulo de visada para os índices PVI e SAVI a uma cobertua vegetal de 22% e para os índices NDVI e SAVI a uma cobertura vegetal de 51%.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asrar G., M. Fuchs, E. T. Kanemasu, J. L. Hatfield, (1984), Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*. 76(2): 300-306.
- Baret, F., G. Guyot, D. Major.(1989), TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation. In: IGARSS'89. Canadian Symposium on Remote Sensing, 12., V3, 1195-1197.
- Baret, F, G Guyot (1991), Potentials and limits of vegetation indices for LAI e APAR assessment. (1991), *Remote Sensing of Environment*, 35(2-3): 161-173.
- Baret, F., S, Jacquemond, J. F. Hanocq, (1993), The soil line concept in remote sensing, *Remote Sensing Reviews*, 7(2): 65-82.
- Bausch, W.C. (1993), Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn. *Remote Sensing of Environment* 46: 213-222.
- Epiphanyo, J.C.N., A. R. Formaggio, M. M. Valeriano, J. B. Oliveira, (1992), *Comportamento Espectral de solos do Estado de São Paulo*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 132p. 1992. (INPE-5424-PRP/172).
- Huete, A. R., R. D. Jackson, D. F. Post, (1985), Spectral response of a plant canopy with different soil background. *Remote Sensing of Environment*, 17(1): 37-53.
- Huete, A. R., (1988), A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Enviroment*, 25(3): 295-309.
- Huete, A R, G Hua, J Qi, A Chehbouni, W J D van Leeuwen, (1992), Normalization of multidirectional red and nir reflectances with the SAVI. *Remote Sensing of Environment*, 41(2): 143-154.
- Huete, A. R., C. Justice, H. Liu, (1994), Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49(3):224-234.
- Jackson, R. D., P. J. Pinter Jr, S. B. Idso, R. J. Reginato, (1979), Wheat spectral reflectance: interactions between crop configuration, sun elevation and azimuth angle. *Applied Optics*. 18(22): 3730-3732.
- Jackson, R. D., P. N. Slater, P. J. Pinter Jr, (1983), Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmosferes, *Remote Sensing of Environment*, 13(3):187-208.
- Jackson, R. D., P. M. Teillet, P. N. Slater, G. Fedosejevs, M. F. Jasinski, J. K. Aase, M. S. Moran, (1990), Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. *Remote Sensing of Environment*, 32(1): 189-202
- Kimes, D. S., W. W. Newcomb, J. B. Shutt, P. J. Pinter Jr., R. D. Jackson, (1984), Directional reflectance factor distributions of a cotton row crop, *International Journal of Remote Sensing*, 5(2): 263-277.
- Richardson, A. J., C. L. Wiegand (1977), Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12): 1541-1552.
- Rouse, J.W., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering, J. C. Harlan. (1974), Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 371p.
- Wiegand, C. L., A. J. Richardson, D. E. Escobar, A. H. Gerberman,(1991), Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment*. 35(2): 105-119.