

INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE AQUISIÇÃO DE DADOS RADIOMÉTRICOS DE CAMPO NO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

¹ Priscylla Ferraz Câmara Monteiro,¹ Rubens Angulo Filho,² Rodrigo Otávio Câmara Monteiro,
¹ Antonio Clarette Santiago Tavares

¹ Universidade de São Paulo - USP/ESALQ - Caixa Postal 9 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil

ferraz@esalq.usp.br, ruangulo@esalq.usp.br, clarette@esalq.usp.br

² Centro Federal de Educação Tecnológica de Bento Gonçalves - CEFET/RS Av. Osvaldo Aranha 540 - 95700-000 - Bento Gonçalves - RS, Brasil - rodrigo.monteiro@bento.ifrs.edu.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da geometria de aquisição de dados, três ângulos de visada (0°, 30° e 45°) e três ângulos zenitais (10, 12 e 14 horas), sobre o fator de reflectância bidirecional (FRB) da cultura do feijão, relacionando estas informações com os dados orbitais do sensor TM-Landsat. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, constituído de três blocos, três tratamentos primários referentes aos ângulos de visada e três tratamentos secundários referentes aos ângulos zenitais. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que a variação do ângulo zenital não proporciona variação significativa nos valores do FR nas bandas TM₃ e TM₄. Já a variação do ângulo de visada influencia significativamente o FR, nas respectivas bandas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, espectrorradiometria, comportamento espectral.

INFLUENCE OF RADIOMETRIC FIELD DATA ACQUISITION GEOMETRY ON THE SPECTRAL BEHAVIOR OF BEAN CROP (*Phaseolus vulgaris* L.)

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence of radiometric field data acquisition geometry, three view angles (0°, 30° and 45°) and three zenithal angles (10:00 a.m., 12:00 p.m. and 2:00 p.m.), on the bi-directional reflectance factor (BRF) of bean crop, correlating those information with orbital data of the TM-Landsat sensor. The experimental design was the randomized blocks, with split plots, with three blocks, three primary treatments (acquisition times) and three secondary treatments (view angles). According to the results, it was concluded that the variation on acquisition time does not lead to a significant variation on the reflectance factors in the TM₃ and TM₄ bands. On the other hand, the variation in the view angle significantly affects the reflectance factor in the respective bands.

Key words: remote sensing, spectroradiometry, spectral behavior.

INTRODUÇÃO

As técnicas de sensoriamento remoto apresentam um grande potencial na

agricultura, seja na identificação de culturas e áreas ocupadas por estas (Sanchez *et al.* 2005), seja na discriminação de variedades agrícolas (Galvão *et al.* 2009), bem como na

estimativa de parâmetros biofísicos a serem utilizados em modelos de produtividade agrícola (Clevers 1997; Doraiswamy *et al.* 2004; Prasad *et al.* 2006; Rizzi & Rudorff 2007). Os índices de vegetação são utilizados para estabelecer relações empíricas com a produtividade em escalas locais (e.g., Ma *et al.* 2001; Serrano *et al.* 2000; Shanahan *et al.* 2001; Royo *et al.* 2003) ou para a estimativa de parâmetros biofísicos como índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (Running *et al.* 1994; Huete & Justice 1999). As sucessivas medidas do fator de reflectância ao longo do ciclo da cultura são uma ótima alternativa para o acompanhamento das variações nas respostas espectrais.

Com isso, a radiometria de campo tem sido uma técnica frequentemente utilizada na agricultura, pois permite obter medidas quase que diárias, ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas, sob condições bem mais favoráveis em termos de influência da atmosfera, quando comparada com os dados adquiridos por sensores orbitais (Deering 1989). Além disso, permite obter medidas em pequenas unidades amostrais submetidas a diferentes tratamentos, favorecendo o entendimento das relações do comportamento espectral com parâmetros agronômicos (Henderson & Badhwar 1984).

As variações no comportamento espectral de dosséis agrícolas levando-se em consideração a geometria de aquisição dos dados, que combinam os ângulos de visada e de incidência da fonte de iluminação, têm sido estudadas por alguns pesquisadores (Gutman 1987; Epiphanyo & Huete 1995; Gleriani 1994; Roujean & Breon 1995). Em dados coletados sob condição de campo (Gleriani 1994; Kimes 1983; Jackson *et al.* 1990), a maioria dos dosséis apresenta um comportamento anisotrópico, que é

assimétrico em relação à linha do Nadir. O conhecimento deste comportamento (também conhecido como FRB) é importante para o entendimento das informações extraídas de dosséis agrícolas a partir de imagens de satélite, principalmente dos sensores que apresentam visadas fora do Nadir. Tem-se como exemplo os sensores HRV/SPOT ($\pm 27^\circ$ perpendicular à trajetória), o sensor AVHRR/NOAA ($\pm 56^\circ$ perpendicular à trajetória) e o sensor CCD/CBERS ($\pm 32^\circ$ perpendicular à trajetória), que possuem a capacidade de orientar seu campo de visada e coletar informações de alvos da superfície terrestre fora da posição perpendicular à linha de deslocamento do satélite (off-nadir).

Em geral, o aumento do ângulo zenital solar e de visada do sensor intensifica os efeitos espectrais decorrentes da anisotropia dos alvos e da influência atmosférica. Segundo Gutman (1987) e Roujean & Breon (1995), a principal fonte de perturbação na análise dos dados provenientes de sensores com campo de visada amplo (AVHRR/NOAA) é a variação no ângulo de visada. De acordo com Goward & Huemmrich (1992), os erros introduzidos pelas variações do ângulo zenital solar são comparativamente menores.

Diante deste contexto, estabeleceu-se a hipótese de que com a mudança do ângulo de visada e do ângulo zenital, haveria diferença entre os valores medidos do fator de reflectância.

O principal objetivo deste trabalho consistiu na utilização de técnicas de sensoriamento remoto, por meio da espectrorradiometria de campo, para obter medidas do fator de reflectância da cultura do feijão, a fim de avaliar a influência de três ângulos zenitais (10 horas, 12 horas e 14 horas) e três ângulos de visada (0° , 30° e 45°), no comportamento espectral da cultura do feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados radiométricos foram coletados sobre dosséis de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), no período de 14 de março a 24 de junho de 2005, num experimento instalado na Fazenda Areão, pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP (22° 42' 30" S e 47° 38' 00" W), localizada no município de Piracicaba, SP.

O material utilizado foi o cultivar de feijão Pérola (linhagem LR 720982CPL53). O experimento foi conduzido em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo três tratamentos primários referentes

aos ângulos zenitais (Tabela 1) e três tratamentos secundários referentes aos ângulos de visada (0°, 30° e 45°), totalizando nove tratamentos em cada bloco. Como os tratamentos foram dispostos em três blocos (repetições), totalizaram 27 parcelas experimentais. O espaçamento utilizado foi de 0,40 m entre linhas, com a orientação das fileiras na direção Norte-Sul e com aproximadamente 10 plantas por metro linear. A aplicação da água foi realizada por um sistema de irrigação por aspersão, no sentido de manter o solo próximo à capacidade de campo.

Tabela 1. Valores de ângulo zenital (Z) em função da latitude (22°42'30"), época do ano e hora do dia (Graus)

Data	Dias após a semeadura	Dia juliano	Horário (h)		
			10:00	12:00	14:00
30/03	16	89	39°22'48"	26°19'12"	39°22'48"
14/04	31	104	43°32'24"	32°07'48"	43°32'24"
17/05	64	137	51°22'48"	42°12'36"	51°22'48"
31/05	78	151	53°27'00"	44°45'36"	53°27'00"
07/06	85	158	54°06'00"	45°33'00"	54°06'00"

Os dados espectrais foram coletados em cinco estádios fenológicos (Tabela 2), por meio do espectrorradiômetro SPECTRON SE-590, desenvolvido pela Spectron Engineering Incorporation (Spectron Inc., EUA), que opera numa faixa espectral contínua de 350 nm a 1100 nm, do espectro eletromagnético. Em cada campanha radiométrica foi obtido um par de medidas da radiância da placa de referência com as unidades detectoras e, em seguida, o mastro era posicionado ao lado das parcelas, de tal forma que as medidas da radiância do dossel do feijão fossem obtidas dentro da parcela, em dois locais diferentes, intercaladas com as medidas da placa de

referência. Essas medidas foram sempre tomadas nos mesmos locais e de maneira semelhante, ou seja, um par de medidas tomado na direção frontal ao operador e, o outro par, girando o mastro para a direita do operador.

Para a análise da variância foram escolhidas cinco datas (D₁, D₂, D₃, D₄ e D₅) representativas do ciclo do feijoeiro, referentes aos estádios fenológicos V2, V4, R8, e R9 (Tabela 2).

Após ser realizada a análise de variância, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

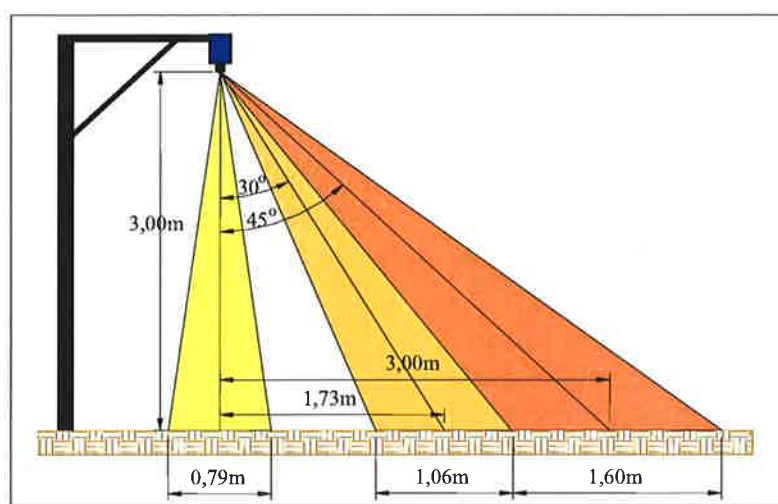
Tabela 2. Período analisado e seu respectivo estágio fenológico durante o experimento

Campanha	Data	Dias após a semeadura	Dias julianos	Estádio fenológico	Características
1	30/03	16	89	V2	50% - folhas primárias
2	14/04	31	104	V4	50% - 3ª folha trifoliada
3	17/05	64	137	R8	50% - enchimento de vagens
4	31/05	78	151	R9	Maturação -secagem
5	07/06	85	158	R9	Maturação -secagem

Junto ao SPECTRON SE-590 foram utilizadas duas cabeças sensoras com campo de visada (FOV) de 6° (placa) e de 15° (amostra), permitindo obter a radiância de uma superfície de aproximadamente 0,5 m² (Gleriani 1994), fixadas num mastro a cerca de 3,0 m acima do dossel da cultura com 0,9 m de alcance e uma placa de referência pintada com Sulfato de Bário (BaSO₄). A

regulagem do ângulo de visada desejado foi feita no encaixe da placa que sustenta as duas unidades detectoras com o mastro.

Os campos de visada dos ângulos 0°, 30° e 45° possuíam, respectivamente, um diâmetro maior de 0,79 m, 1,06 m e 1,60 m e área de 0,49 m², 0,66 m² e 0,99 m², conforme mostra a Figura 1.

**Figura 1.** Medidas do campo de visada dos ângulos nadirais

As medidas radiométricas foram realizadas nos horários de 10:00 horas, 12:00 horas e 14:00 horas, variando, assim, o ângulo zenital. Em cada um dos horários estabelecidos, foram obtidas medidas radiométricas nos ângulos de 0° (nadir), 30° e 45°, em cada um dos três pontos de leitura (repetições).

As médias obtidas com o SPECTRON SE-590 em 252 bandas espectrais, compreendidas entre a faixa espectral de 350

nm a 1.100 nm, foram transformadas em fator de reflectância (FR), seguindo a metodologia proposta por Steffen (1996) e Moreira (1997). O aplicativo calibrou os espectros de radiância das amostras com relação aos espectros de radiância da placa de referência e calculou os valores do FR para as bandas espectrais correspondentes às do sensor TM do satélite Landsat, as bandas TM₃ (vermelho: 630 nm a 690 nm) e TM₄ (infravermelho próximo: 760 nm a 900 nm),

uma vez que essas bandas são amplamente utilizadas nas aplicações do sensoriamento remoto na agricultura.

As medidas radiométricas foram sempre trabalhadas com o objetivo de se conhecerem os valores do FR médio, correspondente às bandas TM₃ e TM₄ do satélite Landsat, bem como os valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Tucker 1979) de cada uma das campanhas. O valor de NDVI foi calculado através da seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\text{TM}_4 - \text{TM}_3) / (\text{TM}_4 + \text{TM}_3)$$

Em que:

TM₃ – FR medido na faixa espectral do vermelho (630 nm a 700 nm);

TM₄ – FR medido na faixa espectral do infravermelho próximo (760 nm a 900 nm);

Pretendendo-se conhecer o comportamento do NDVI obtido a partir do FR das bandas TM₃ e TM₄ para os diferentes ângulos zenitais e ângulos de visada, plotaram-se os dados num gráfico de maneira a visualizar a variação destes durante o ciclo da cultura.

De acordo com a análise de variância (Tabelas 3 e 4), observa-se que a interação entre ângulos zenitais e ângulos de visada não influenciou significativamente a resposta do FR nas bandas TM₃ e TM₄.

Verifica-se, ainda, que não ocorreu efeito significativo, em nível de 5% de probabilidade, dos ângulos zenitais sobre os FR nas bandas TM₃ e TM₄. Jackson *et al.* (1979) não encontraram resultados semelhantes ao trabalhar com canteiros com orientação de fileiras Norte-Sul, observando maior variação no FR no decorrer do dia, chegando a uma variação de 230 % na região do vermelho com a cultura do trigo, numa cobertura vegetal de 70%. Kollenkark *et al.* (1982), trabalhando com a cultura da soja, obtiveram variação de até 140 % na região do vermelho para canteiros com orientação Norte-Sul numa cobertura vegetal de 64 %.

Em relação ao ângulo de visada, os valores do FR nas bandas TM₃ e TM₄ apresentaram efeito significativo, em 5% de probabilidade, para quase todos os dias de leitura.

Na Tabela 5 estão contidos os valores das médias dos FR nas bandas TM₃ e TM₄ para os ângulos de visada 0°, 30° e 45°, analisados pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 3. Valores de F para o FR na banda TM₃, em função do horário de leitura e ângulo de visada, nas cinco datas (D) representativas das fases do ciclo do feijoeiro - Piracicaba, SP, 2005

FV	GL	D ₁	D ₃	D ₆	D ₇	D ₈
Bloco	2	2,21 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Horário (H)	2	9,79 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,61 ^{ns}	4,52 ^{ns}	1,33 ^{ns}
Resíduo (a)	4	5,37 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,35 ^{ns}	2,17 ^{ns}	1,19 ^{ns}
Ângulo (A)	2	2,21 ^{ns}	4,21*	8,96**	29,83**	3,62*
H x A	4	3,00 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,91 ^{ns}	2,83 ^{ns}	1,62 ^{ns}
Resíduo (b)	-	-	-	-	-	-
CV %	12	10,46	13,28	23,19	20,73	27,69

Ns – não significativo; * e ** - significativo nos níveis de 5% e 1% , respectivamente

Tabela 4. Valores de F para o FR na banda TM₄, em função do horário de leitura e ângulo de visada, nas cinco datas (D) representativas das fases do ciclo do feijoeiro - Piracicaba, SP, 2005

FV	GL	D ₁	D ₃	D ₆	D ₇	D ₈
Bloco	2	1,32 ^{ns}	7,76 ^{ns}	4,94 ^{ns}	1,31 ^{ns}	3,01 ^{ns}
Horário (H)	2	4,26 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,08 ^{ns}
Resíduo (a)	4	1,70 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,64 ^{ns}
Ângulo (A)	2	6,94*	18,67**	3,80*	11,41**	9,35**
H x A	4	2,15 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,37 ^{ns}
Resíduo (b)	-	-	-	-	-	-
CV %	12	8,26	12,48	38,21	35,57	28,12

Ns - não significativo; * e ** - significativo nos níveis de 5% e 1%, respectivamente

Tabela 5. Teste de Tukey para os valores médios do fator de reflectância nas bandas TM₃ e TM₄, nos diferentes ângulos de visada - Piracicaba, SP, 2005

Bandas	Ângulo	D ₁	D ₃	D ₆	D ₇	D ₈
TM ₃	0°	-	0,0500 a	0,0233 a	0,0211 a	0,0267 a
	30°	-	0,0555 ab	0,0255 a	0,0288 a	0,0311 ab
	45°	-	0,0600 b	0,0355 b	0,0444 b	0,0378 b
TM ₄	0°	0,1066 a	0,0866 a	0,2566 a	0,2367 a	0,2111 a
	30°	0,1100 a	0,1044 b	0,3511 ab	0,3667 a	0,2889 ab
	45°	0,1222 b	0,1244 c	0,4277 b	0,5411 b	0,3789 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Observa-se que em todos os dias de campanha, à exceção do primeiro, que não houve efeito significativo dos ângulos sobre o FR na banda TM₃, o ângulo de 0° difere estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, do ângulo de 45°. Para o FR na banda TM₄, em todos os dias se observa que o ângulo de 0° difere estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, do ângulo de 45°. Coerente com os resultados de Gleriani (1994), não houve diferença significativa entre os ângulos de visada 0° e 30°. Uma possível explicação, de acordo com Jensen (2000), seria devido ao retroespalhamento ("backscattering"), pois com o aumento do ângulo de visada o sensor registra as superfícies que estão diretamente iluminadas, detectando menores superfícies sombreadas e, com isso, causando um acréscimo no fator de reflectância. Já para Galvão *et al.* (2001), trabalhando com o sensor Hymap e um ângulo de visada de 30°, os efeitos de visada fora do nadir produziram diferenças significativas no cálculo do NDVI.

As Figuras 2, 3 e 4 mostram a variação do FR observado nas bandas TM₃ e TM₄, ao longo do desenvolvimento da cultura, em resposta aos ângulos zenitais e de visada. Observa-se que a variação do FR na banda TM₃, para os diferentes tratamentos, apresentou uma tendência semelhante. Verifica-se, também, que no início do desenvolvimento da cultura, em função da baixa percentagem de cobertura vegetal e devido à grande influência da reflectância do solo, o valor do FR na banda TM₃ é maior. À medida que a cultura vai se desenvolvendo há um aumento da quantidade de fitomassa e do índice de área foliar, o qual proporciona um aumento da quantidade de clorofila nas folhas e, conseqüentemente, uma maior absorção da radiação pelas folhas. Com isso, os valores do FR na banda TM₃ diminuem até certo ponto, como observado por Formaggio (1989). Após esse período, isto é, início da maturação, o FR aumentou gradativamente até o ponto em que a cultura estava completamente madura. Este aumento do FR ocorreu porque as folhas entraram em senescência, causando a degradação da

clorofila. Com isso, houve uma menor absorção da radiação solar pelo dossel da cultura, aumentando o FR.

Figura 2. Variação do FR nas bandas TM_3 (curva contínua) e TM_4 (curva tracejada) no horário das 10:00 horas, para os ângulos de visada - Piracicaba, SP, 2005

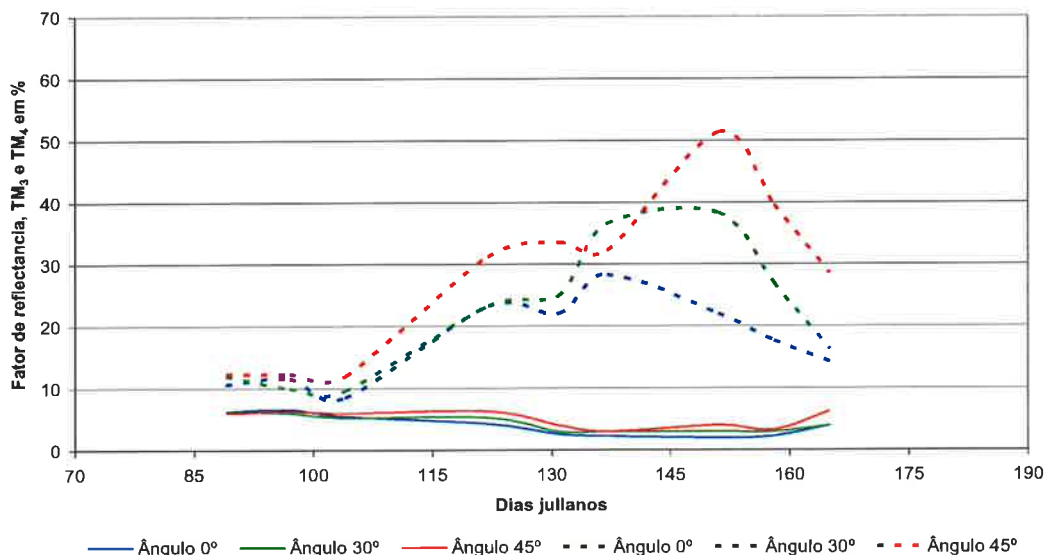


Figura 3. Variação do FR nas bandas TM_3 (curva contínua) e TM_4 (curva tracejada), no horário de 12:00 horas, para os ângulos de visada - Piracicaba, SP, 2005

A variação do FR na banda do TM_4 , ao longo do desenvolvimento da cultura, apresentou tendência semelhante para os diferentes tratamentos. Os valores do FR foram maiores à medida que a quantidade de folhas foi aumentando, refletindo assim na percentagem de cobertura vegetal do terreno, até atingir um ponto máximo. Este valor foi determinado na época em que a cultura apresentou a máxima absorção de radiação solar, na região do espectro eletromagnético. A partir dessa fase observou-se a diminuição do fator de reflectância de forma quase linear, devido à fase de senescência da cultura do feijão, quando ocorre o amarelecimento, o secamento e a queda drástica das folhas, causando a degradação das clorofilas.

A variação do NDVI com os dias do

ciclo da cultura, obtidos a partir dos fatores de reflectância nas bandas TM_3 e TM_4 , são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7.

Analisando a trajetória do NDVI, nota-se que independentemente do tratamento, o comportamento ao longo do ciclo do feijão foi semelhante, ou seja, todos eles apresentaram forma de parábola. Comportamento semelhante também foi observado por Formaggio (1989) e Moreira (1997).

Observa-se que no comportamento parabólico do NDVI ao longo do ciclo, em todos os tratamentos, houve um crescimento constante dos valores, chegando a atingir um pico, onde, a partir deste, iniciou uma queda contínua até o final do ciclo.

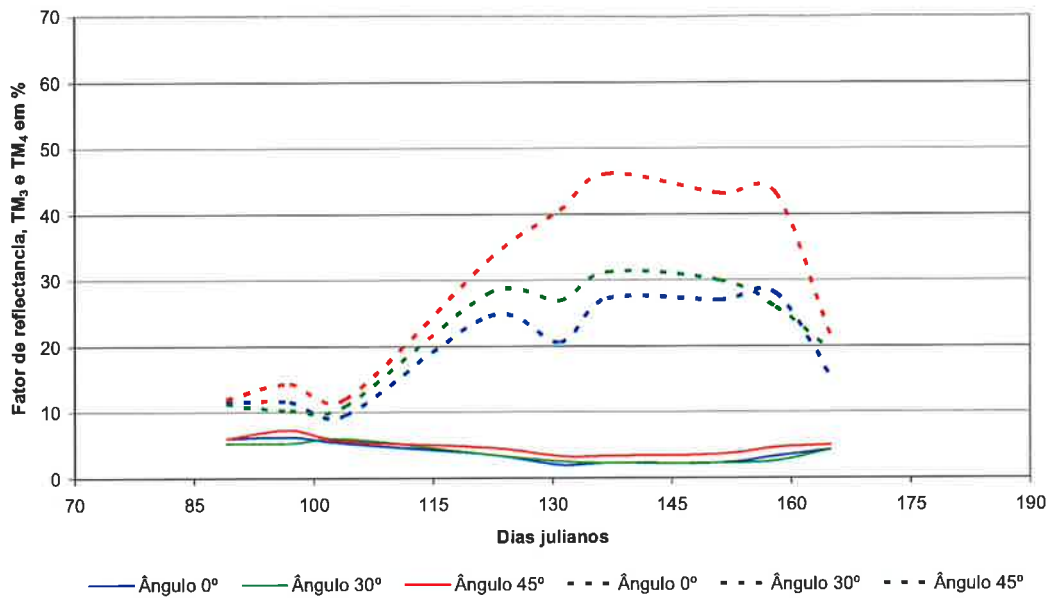


Figura 4. Variação do FR nas bandas TM₃ (curva contínua) e TM₄ (curva tracejada), no horário de 14 horas, para os ângulos de visada . Piracicaba, SP, 2005

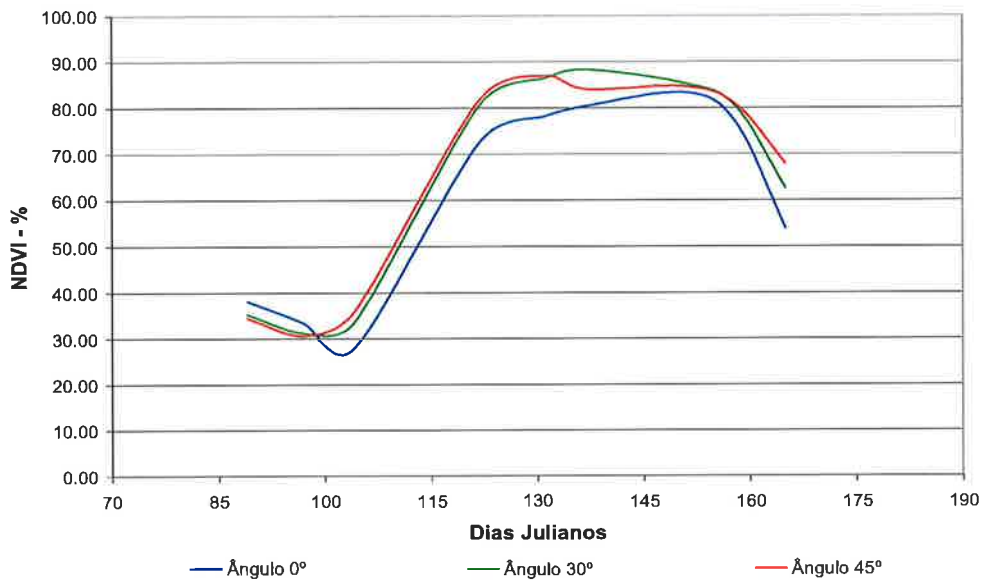


Figura 5. NDVI no horário de 10:00 horas, sob diferentes ângulos de visada. Piracicaba, SP, 2005

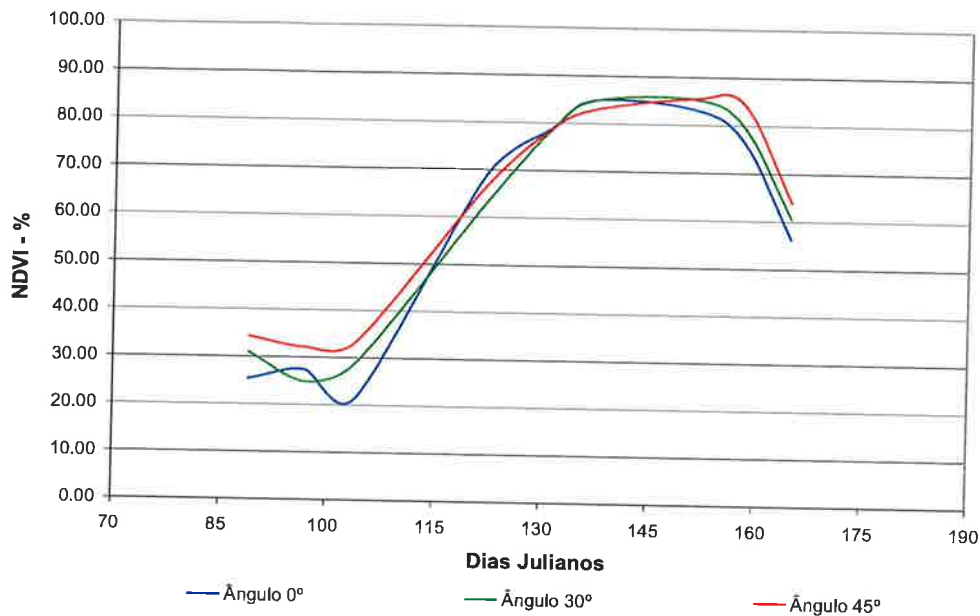


Figura 6. NDVI no horário de 12:00 horas, sob diferentes ângulos de visada. Piracicaba, SP, 2005

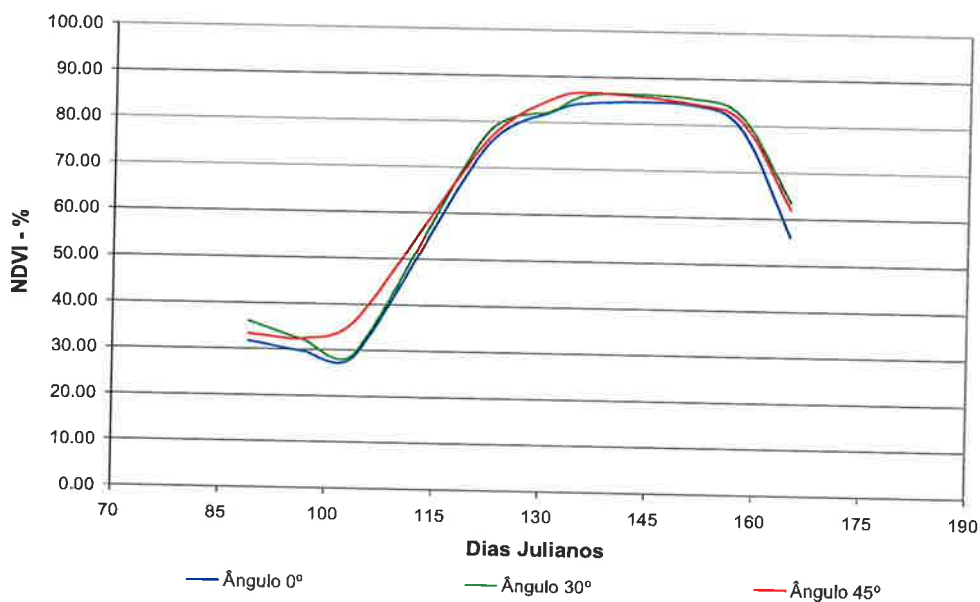


Figura 7. NDVI no horário de 14:00 horas, sob diferentes ângulos de visada - Piracicaba, SP, 2005

CONCLUSÕES

A variação do ângulo zenital não influencia significativamente os resultados

dos FR nas bandas TM_3 e TM_4 e nos valores de NDVI. Desta forma, as leituras para estas condições poderiam ser feitas em qualquer um dos horários pré-estabelecidos.

A variação do ângulo de visada influencia significativamente, em nível de 5% de probabilidade, os FR nas bandas TM₃ e TM₄, havendo diferença entre os ângulos 0° e 45°.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLEVERS, J. G. P.W. 1997. A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 221-228.
- DEERING, D.W. 1989. Field measurements of bidirectional reflectance. In: ASRAR, G., ed. Theory and applications of optical remote sensing. New York, John Wiley & Sons, cap.2, p.14-61.
- DORAISWAMY, P. C., HATFIELD, J. L., JACKSON, T. J., AKHMEDOV, B., PRUEGER, J., & STERN, A. 2004. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 548-559.
- EPIPHANIO, J.C.N., HUETE, A.R. 1995. Dependence of NDVI and SAVI on Sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, p. 351-360.
- FORMAGGIO, A.R. 1989. **Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e feijão**. 1989. 161p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GALVÃO, L.S., PONZONI, F.J., EPIPHÂNIO, J.C.N., FORMAGGIO, A.R. 2001. Efeitos da Geometria de Visada sobre a Determinação de Índices de Vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, p. 1403-1409.
- GALVÃO, L.S., ROBERTS, D. A., FORMAGGIO, A.R., NUMATA, I., BREUNIG, F.M. 2009. View angle effects on the discrimination of soybean varieties and on the relationships between vegetation indices and yield using off-nadir Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.846-856.
- GLERIANI, J.M. 1994. **Influência do solo de fundo e da geometria da radiação na resposta espectral da cultura do feijão**. 1994. 87p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- GOWARD, S.N., HUENNRICH, K.F. 1992. Vegetation canopy PAR absorptance and the normalized difference vegetation index: an assessment using the SAIL model. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, p.119-140.
- GUTMAN, G.G. 1987. The derivation of vegetation indices from AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 1235-1243.
- HENDERSON, K.E., BADHWAR, G.D. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 14, p. 55-63.
- HUETE, A.R., JUSTICE, C. 1999. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation-indices>, 129 p.
- JACKSON, R.D., TEILLET, P.M., SLATER, P.N., FEDOSEJEVS, G., JASINSKI, M.F., AASE, J.K., MORAN, M.S. 1986. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.20, p.43-56.
- JACKSON, R.D., REGINATO, R.J., PINTER, J.R., IDSO, S.B. 1979. Plant

- canopy information extraction from composit scene reflectance of row crops. **Applied Optics**, Washington, v.18, p.3775-3782.
- JENSEN, J. R. 2000. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. New Jersey, 554p.
- KIMES, D.S. 1983. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. **Applied Optics**, Washington, v.22, p.1364-1372.
- KOLLENKARK, J.C.; VANDERBILT, V.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E. 1982. Influence of solar illumination angle on soybean canopy reflectance. **Applied Optics**, Washington, v.21, p.1179-1184.
- MA, B. L., DWYER, L. M., COSTA, C., COBER, E. R., & MORRISON, M. J. 2001. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1227-1234.
- MOREIRA, M.A. **Roteiro prático e simplificado para coleta, transferência e tratamento de dados radiométricos utilizando o Spectron SE-590**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1997. 15p.
- PRASAD, A. K., CHAI, L., SINGH, R. P., & KAFATOS, M. 2006. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 8, p. 26-33.
- RIZZI, R., RUDORFF, B.F.T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, Presidente Prudente, n.57, v. 3, p.226-234, 2005.
- RIZZI, R., RUDORFF, B.F.T. 2007. MODIS sensor images associated with an agronomic model to estimate soybean grain yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 73-80 (In Portuguese).
- ROYO, C., APARICIO, N., VILLEGAS, D., CASADESUS, J., MONNEVEUX, P., & ARAUS, J. L. 2003. Usefulness of spectral reflectance indices as durum wheat yield predictors under contrasting Mediterranean conditions. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p.4403-4419.
- ROUJEAN, J.L, BREON, F.M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, p.375-384.
- SANCHES, I.D.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. 2005. Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, n. 52, v. 1, p.83-96.
- RUNNING, S.W., JUSTICE, C.O., SOLOMONSON, V., HALL, D., *et al.* 1994. "Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms Planned for EOS/MODIS", **International Journal of Remote Sensing**, v.15, p. 3587-3620.
- SERRANO, L., FILELLA, I., & PENUELAS, J. 2000. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, v. 40, p. 723-731.
- SHANAHAN, J. F., SCHEPERS, J. S., FRANCIS, D. D., VARVEL, G. E., WILHELM, W.W., Tringe, J.M., *et al.* 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 583-589.
- STEFFEN, C.A. 1996. Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, p.9-14.
- TUCKER, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p.127-150.