

Comportamento Espectral da Cultura do Feijão (IAC - Carioca 80) Irrigado com Diferentes Lâminas de Água

RUBENS ANGULO FILHO¹

CARLOS AUGUSTO HUNGRIA DA CUNHA²

BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDORFF³

MAURÍCIO ALVES MOREIRA³

¹ USP/ESALQ - Departamento de Engenharia Rural
Caixa Postal 09 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil
ruangulo@carpa.ciagri.usp.br

² USP/ESALQ - Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem
Caixa Postal 09 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil

³ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12.227- 010 - São José dos Campos - SP, Brasil

Abstract: The present research investigated the irrigation of a bean crop with different depths and analyze their effect on the spectral behavior and absorbed photosynthetically active radiation (APAR) use efficiency, for crop production and productivity. An experiment was installed in Rio das Pedras, SP - Brazil, during the winter season of 07/1999. The trial was in not randomized blocks, with 6 replicates for each of the 4 treatments. The water application was performed by a line source sprinkler system. In the experiment, the bean cultivar IAC - Carioca 80 was used. Thus, for all the treatments, when the vegetation vigor increased, the reflectance values increased in the TM₄ band, the opposite occurring with the TM₃ values. The different irrigation depths influenced significantly the radiation use efficiency for crop production and the largest irrigation depth correspondent to the largest values found at the probability level of 5%.

Keywords : bean, irrigation, reflectance, spectral behavior, radiation

Introdução

Nenhum produto agrícola brasileiro ostenta uma situação tão absurda como o feijão. Primeiro alimento na preferência popular, o feijão continua ainda sendo a cultura tecnologicamente mais atrasada do país. Baixa remuneração ao produtor, elevado risco climático, substituição de áreas cultivadas por plantios de exportação ou de produção de biomassa para combustível, pouca pesquisa, descaso total com que a política agrícola trata o produto; são muitas as causas que levaram ao desinteresse por sua cultura.

Por outro lado, vários autores (Garrido et al., 1979; Azevedo, 1984; Paz et al., 1997), com a intenção de reverter a situação atual, demonstraram a viabilidade da irrigação do feijão de inverno, sendo possível obter produtividades consideradas muito superiores às tradicionais, além da estabilidade na produção.

Sabe-se também que, com o avanço da tecnologia e a necessidade de um maior controle sobre os fatores que influenciam o pleno desenvolvimento da cultura, tornou-se necessário estimar algumas de suas variáveis relacionadas com as condições biofísicas existentes, e de forma a servir como dados de entrada para os atuais modelos de crescimento e de produtividade agrícola. Assim sendo, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e particularmente a utilização de valores espectrais, podem contribuir em muito para a melhoria desse processo, ao servir como bons indicadores das condições gerais de vigor da cultura.

Alguns trabalhos publicados na literatura (Gallo et al., 1985; Prince, 1991; Moreira, 1997; entre outros), atestam que em plantas sadias e adequadamente supridas de água e nutrientes, existe uma relação linear positiva entre a quantidade de radiação fotossinteticamente absorvida pelo dossel (APAR) e a produção final de fitomassa e grãos; dessa forma, as técnicas de sensoriamento remoto procuram estabelecer uma relação entre a radiação solar absorvida pelo dossel da cultura e as interações com seus atributos biofísicos.

É neste contexto que se insere esta pesquisa, assumindo-se a hipótese de que variáveis espectrais e variáveis agronômicas guardam íntimas relações entre si e que os parâmetros espectrais podem ser utilizados, quando manipulados corretamente, como descritores das condições gerais de vigor e de desenvolvimento do feijoeiro.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental da Escola Técnica em Agropecuária “ETAE Dr. José Coury, no município de Rio das Pedras, SP (22° 50’ 27’’S de Latitude e 47° 36’ 39’’W de Longitude e altitude de 582 m), em solo Terra Roxa Estruturada e no período de 15 de julho a 19 de outubro de 1999.

Foi utilizado o cultivar de feijoeiro denominada IAC-Carioca 80, sendo que a semeadura foi realizada mecanicamente em 15/07/99, sendo adotado o espaçamento de 60 cm entre os sulcos e uma densidade de plantio de 15 sementes por metro linear.

O delineamento experimental foi em blocos não casualizados, com a utilização de 4 tratamentos e 6 repetições, perfazendo um total de 24 parcelas. A aplicação de água foi realizada com auxílio de um sistema de irrigação por aspersão, disposto no campo segundo o sistema de "aspersão em linha" (line source sprinkler system). Os tratamentos constaram de quatro lâminas

totais de irrigação, denominados de T_4 (373,40 mm), T_3 (288,40 mm); T_2 (206,40 mm) e a testemunha T_1 (164,40 mm), sendo que as chuvas e irrigações foram coletadas em pluviômetros instalados no centro das parcelas selecionadas. Para estabelecer ainda o momento da irrigação, foram utilizadas baterias de tensiômetros de mercúrio, os quais se situaram na linha da cultura (profundidades de 20cm, 30 cm e 40 cm) e nas parcelas correspondentes ao tratamento controle.

Foram realizadas 10 campanhas radiométricas no desenvolver do experimento através da utilização do espectrorradiômetro portátil SPECTRON SE-590. Posteriormente, os dados obtidos foram analisados através de um programa computacional específico e denominado “ESPECTRO”.

As medidas radiométricas foram trabalhadas com o intuito de se obter os valores do fator de reflectância (FR) médio e simulação das bandas TM_3 e TM_4 do satélite LANDSAT, bem como os resultados do índice de vegetação diferença normalizada (NDVI) de cada uma das campanhas realizadas. Em seguida, através de interpolação dos dados, se procedeu a estimativa da $APAR_{ac}$ (radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada) da cultura do feijão e durante todo o seu ciclo. Para o cálculo do NDVI, empregou-se a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(TM_4 - TM_3)}{(TM_4 + TM_3)}$$

em que: TM_4 é o fator de reflectância medido na faixa espectral do infravermelho próximo (760 a 900 nm) e, TM_3 é o fator de reflectância medido na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm).

Para quantificar o valor da APAR (radiação fotossinteticamente ativa absorvida), estimou-se inicialmente a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel da cultura através de equação empírica determinada para esse fim, bem como estimou-se também a PAR diária (radiação fotossinteticamente ativa) incidente na região em estudo e utilizando-se das equações de regressão propostas por Assunção (1994), as quais são apresentadas a seguir:

- I) $PAR = 0,417 R_g$, para dias em que: $r \leq 0,1$ ($r^2 = 0,990$)
- II) $PAR = 0,429 R_g$ para dias em que: $0,1 \leq r \leq 0,9$ ($r^2 = 0,965$)
- III) $PAR = 0,496 R_g$, para dias em que: $r \geq 0,9$ ($r^2 = 0,990$)

A seguir, procedeu-se a estimativa da APAR acumulada ($APAR_{ac}$) durante todo o ciclo da cultura do feijão, isto é, da germinação até a maturidade fisiológica, através do somatório dos valores da APAR diária.

Os resultados obtidos para a radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada ($APAR_{ac}$) foram posteriormente submetidos à uma análise de variância (ANOVA) utilizando-se para isso o teste F e os níveis de significância de 1 e 5%. Sempre que o valor de F encontrado

foi significativo ao nível de probabilidade de 1 %, procedeu-se então à análise da diferença entre as médias dos tratamentos, usando-se para isso do teste de Tukey.

Resultados e Discussão

O comportamento observado do fator de reflectância (FR) nas bandas TM_3 e TM_4 , bem como o do NDVI ao longo do desenvolvimento da cultura, e tendo em vista os quatro tratamentos utilizados, são apresentados através das respectivas curvas de tendência nas Figuras 1, 2 e 3 dadas a seguir.

Observa-se na Figura 1 que os valores do fator de reflectância (FR) na banda TM_3 para os diferentes tratamentos, apresentaram um comportamento semelhante entre si, assemelhando-se a uma “parábola invertida”.

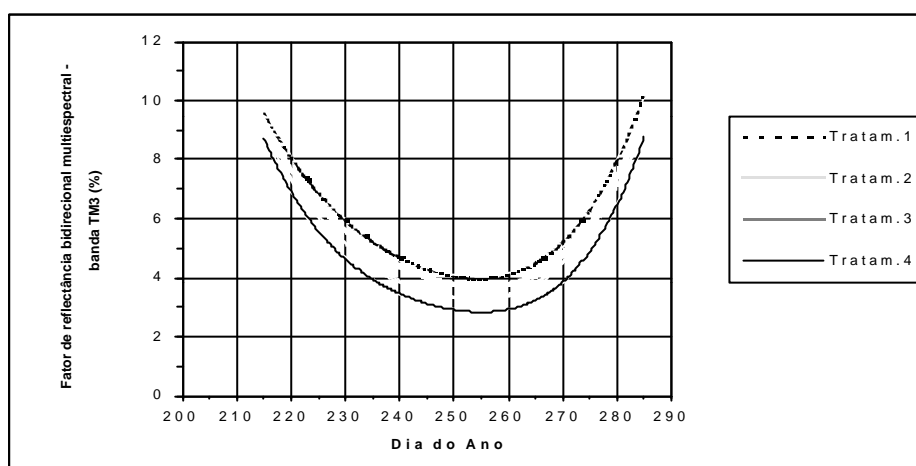


Figura 1 - Fator de reflectância na banda TM_3 , obtido ao longo do ciclo da cultura do feijão, para os diferentes tratamentos utilizados.

De uma forma geral observa-se que no início da cultura, em função da baixa porcentagem de cobertura verde e devido ainda a grande influência da reflectância do solo, o fator de reflectância é máximo na banda TM_3 e em torno de 9%. A medida que a cultura se desenvolve, e devido ao aumento da fitomassa, observa-se um decréscimo do FR na banda TM_3 até próximo de 3%, onde permanece nesse patamar entre os dias julianos 248 a 258, correspondentes a 52 dias após o plantio (época correspondente a floração) e 62 dias após o plantio (época de enchimento das vagens de sementes). Após esse período, o qual corresponde ao final do enchimento das vagens e o início da maturação das sementes, o FR aumentou gradativamente até atingir um valor máximo em torno de 9%, que corresponde ao estágio de desenvolvimento em que a cultura se encontrava com 88 dias de idade e cerca de 90% das vagens já maduras. Esse aumento no valor do fator de reflectância (FR) pode ser explicado pela senescência da maioria das folhas, as quais se encontravam amareladas devido a degradação das clorofilas, bem como pelo aumento da reflectância do solo, tal qual ocorreu no início do ciclo da cultura.

O tratamento 1 (testemunha), devido estar submetido a menor lâmina de água e tendo como resultado um menor desenvolvimento vegetativo e maior influência da exposição do solo, foi o

que apresentou os maiores valores do FR na banda TM_3 , quando comparado com os outros tratamentos. A medida em que as lâminas de água foram acrescidas, houve um maior desenvolvimento vegetativo da cultura, maior índice foliar e menor exposição do solo, com diminuição dos valores do FR nesta banda espectral. Esse aumento da reflectância na região do vermelho e no final do ciclo da cultura, está de acordo com o observado por Formaggio (1989) e Moreira (1997).

Por outro lado, analisando as curvas do fator de reflectância (FR) na banda TM_4 (Figura 2), observa-se que para os quatro tratamentos utilizados, o comportamento espectral foi muito parecido entre si durante todo o desenvolvimento da cultura. As reflectâncias foram maiores à medida em que a fitomassa aumentou, refletindo assim na porcentagem de cobertura vegetal sobre o terreno, o que permitiu um crescimento dos efeitos multiplicativos da reflexão até se atingir um determinado ponto máximo, como observado por Formaggio (1989).

As curvas espectrais contidas na Figura 2 mostram que o comportamento espectral da cultura do feijão foi, também semelhante para todos os tratamentos nesta faixa do espectro eletromagnético. Verifica-se que até os 30 dias de idade da cultura, o comportamento espectral foi muito influenciado pelo solo exposto.

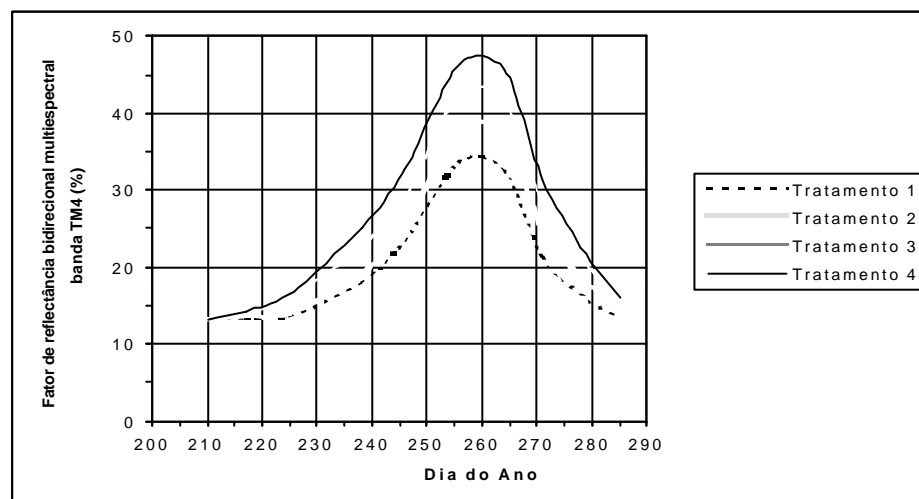


Figura 2 - Fator de reflectância na banda TM_4 , obtido ao longo do ciclo da cultura do feijão, para os diferentes tratamentos utilizados.

Observa-se também que o comportamento espectral do feijão tornou-se típico somente a partir do dia juliano 234 (38 dias após o plantio), permanecendo nessa tipicidade espectral até por volta do dia 284 (88 dias pós-plantio), isto é, por aproximadamente 50 dias: tal como observado por Formaggio (1989). O valor máximo do fator de reflectância na banda TM_4 é notado para os quatro tratamentos por volta do dia juliano 258 (62 dias de idade), época em que a cultura apresentou a máxima absorção da radiação solar na região do vermelho do espectro eletromagnético. A partir dessa fase, observa-se a diminuição do fator de reflectância de forma

quase linear devido ao início da fase de senescência da cultura, onde ocorre o amarelecimento, secamento e a queda acentuada das folhas.

O tratamento 4 devido ter sido submetido a maior lâmina de água (373,40 mm), foi o que apresentou o melhor desenvolvimento vegetativo em relação aos demais tratamentos, revelando assim uma maior produção de fitomassa e maiores valores do fator de reflectância (atingindo um valor máximo próximo de 48%). Por outro lado, o tratamento 1 (testemunha), submetido a menor lâmina de água e igual a 164,40 mm no seu ciclo total, foi o que apresentou o menor valor do fator de reflectância em comparação com os demais tratamentos. Assim, é possível estabelecer que a partir do momento em que a vegetação começou a revelar comportamento espectral típico de vegetação verde vigorosa (dia do ano 234), as maiores lâminas empregadas corresponderam as maiores fitomassas; como consequência, maiores valores do fator de reflectância na banda TM_4 foram observados.

Os valores dos índices de vegetação diferença normalizada (NDVI) estão graficamente representados na Figura 3, a qual é dada a seguir:

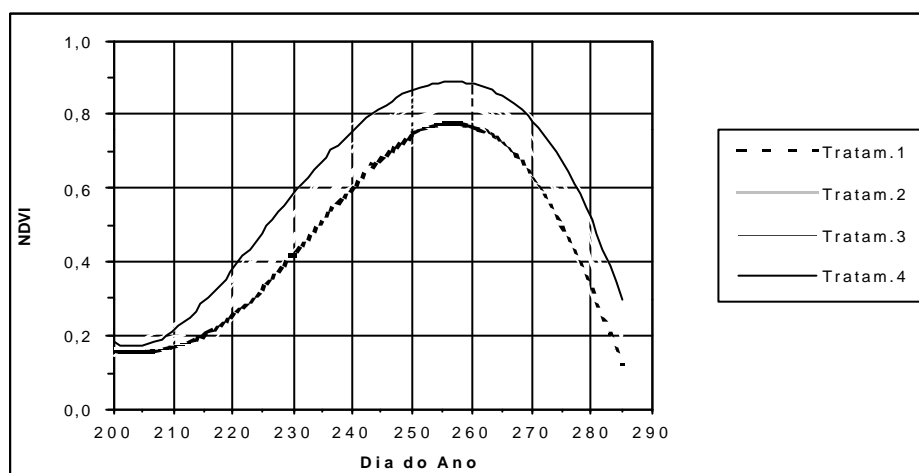


Figura 3 - Índice de vegetação diferença normalizada (NDVI), obtido ao longo do ciclo do feijão e para os diferentes tratamentos.

Analisando a trajetória do NDVI na Figura 3, nota-se que independentemente da lâmina de água a que foi submetida a cultura, o comportamento ao longo do seu ciclo foi semelhante para os quatro tratamentos, ou seja, todos eles apresentaram um mesmo comportamento em forma de parábola, tal qual observado por Formaggio (1989) e Moreira (1997). Os valores correspondentes as fases inicial e final do ciclo da cultura se situaram em torno de 0,2, sendo que um valor máximo de 0,9 foi observado aproximadamente aos 62 dias após o plantio da cultura (dia juliano 258), para o tratamento 4.

O mesmo comportamento parabólico é observado quando se analisa o fator de reflectância na banda TM_4 , podendo-se afirmar que os valores do NDVI estão mais relacionados com as diferenças observadas nos valores do FR na banda TM_4 do que na banda TM_3 , conforme Moreira (1997). Assim sendo, observou-se que quanto maior a lâmina de água a que foi submetido o

tratamento, maior foi a fitomassa produzida e conseqüentemente maior foi o FR na banda TM₄; dessa forma, maiores valores máximos do NDVI foram encontrados para as maiores lâminas aplicadas.

Para a radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (APAR_{ac}) e comparando-se através do teste de Tukey as médias obtidas (Tabela 1), percebe-se que todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade; dessa forma, pode-se concluir que no decorrer do experimento, a APAR_{ac} foi influenciada pelos diferentes tratamentos utilizados.

TABELA 1 - Teste de Tukey para os resultados da radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (APAR_{ac}).

Ordem	Tratamento	N. Repet.	Média (MJm ⁻²)	D.R (%)	Signif: 5%
1	4	6	335,689	42,08	a
2	3	6	307,308	30,08	b
3	2	6	270,704	14,58	c
4	1	6	236,253	-----	d

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

D.R. = diferença relativa à testemunha.

D.M.S. (5%) = 11,526

Observando-se as médias apresentadas na Tabela 1, nota-se que de maneira geral, a medida em que se diminuïram as lâminas de água aplicadas reduziu-se também a APAR_{ac} e que todos os tratamentos com irrigação foram significativamente diferentes da testemunha. O maior valor médio da APAR_{ac} é observado no tratamento 4, apresentando um valor igual a 335,689 MJm⁻². O tratamento 4, também apresentou a maior diferença percentual significativa relativa à testemunha (tratamento 1) e igual a 42,08%.

O menor valor médio da APAR_{ac} (236,253 MJm⁻²), é notado no tratamento 1 (testemunha); este fato pode também ser associado a observação feita no campo, onde notou-se que este tratamento apresentou ao final do experimento, o menor número de plantas por metro quadrado, menor fitomassa e conseqüente menor absorção da radiação.

Dessa maneira, pode-se afirmar que diferentes lâminas de água influenciaram significativamente a 5% de probabilidade a APAR_{ac} durante o ciclo da cultura do feijão, e que as maiores lâminas, por apresentarem o maior número de plantas por metro quadrado e, conseqüentemente, uma maior absorção da radiação, foram as que corresponderam a maiores valores. Esta conclusão está de acordo com Gallo et al. (1985) e Asrar et al. (1989).

Conclusões

De acordo com a análise dos resultados encontrados nesta pesquisa, chegou-se as seguintes conclusões:

- As diferentes lâminas de água alteraram o comportamento espectral da cultivar IAC-Carioca 80 nas bandas TM₃ e TM₄ e nos valores do NDVI, de forma significativa e em diversas fases do crescimento e desenvolvimento dessa cultura.

- As diferentes lâminas de água aplicadas, influenciaram significativamente a 5% de probabilidade a radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (APAR_{ac}) durante o ciclo da cultura do feijão, e que as maiores lâminas por apresentarem o maior número de plantas por metro quadrado e, conseqüentemente, uma maior absorção da radiação, foram as que corresponderam a maiores valores.

Referências

- Asrar, G.; Myneni, R.B.; Kanemasu, E.T. Estimation of plant-canopy attributes from spectral reflectance measurements. In: ASRAR, G., (Ed.). **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, 1989. cap.7, p.252-296.
- Assunção, H.F. da. Relações entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global em Piracicaba - SP. Piracicaba, 1994. 57p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Azevedo, J.A. Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1984. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Formaggio, A.R. Características agrônômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão. Piracicaba, 1989. 161p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Gallo, K.P.; Daughtry, C.S.T.; Bauer, M.F. Spectral estimation in corn canopies. **Agronomy Journal**, v.78, n.5, p.752-756, Sept./Oct. 1985.
- Garrido, M.A.T.; Purcino, J.R.C.; Lima, C.A.S. Efeito de diferentes regimes de irrigação sobre o rendimento do feijoeiro na região norte de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto Feijão: relatório 77/78**. Belo Horizonte, 1979. p.28-30.
- Moreira, M.A. Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos. Piracicaba, 1997. 142p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Paz, V.P.S.; Folegatti, M.V.; Pereira, A.S.; et al. Efeito de diferentes níveis de irrigação e do déficit hídrico na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, Campina Grande, 1997. **Resumos**. Campina Grande: CBEA, 1997.
- Prince, S.D. A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1313-1330, 1991.