

REFLECTÂNCIA MULTIESPECTRAL TM/LANDSAT-5 PARA O SENSORIAMENTO
REMOTO DAS CONDIÇÕES DE VIGOR DA CULTURA DE FEIJÃO.

ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO
JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO

Instituto de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos - SP
Brasil

RESUMO

Visou-se, no presente trabalho, trazer subsídios e fundamentações ao entendimento dos relacionamentos existentes entre variáveis multiespectrais (as seis bandas refletivas TM/Landsat-5 e os índices de vegetação Razão Simples e Diferença Normalizada) e variáveis agronômicas para o feijão. Foram usados dados obtidos durante os ciclos de inverno de 1986 e de 1987, em campos comerciais irrigados situados a nordeste do Estado de São Paulo. As variáveis índice de Área foliar, fitomassa e Porcentagem de Cobertura Vegetal mostraram-se excelentes descritoras das condições gerais de vigor do feijão; assim também as variáveis espectrais TM3, TM4, TM5, Razão Simples e Diferença Normalizada (principalmente nas fases pré-senescência). As variáveis de rendimento não se relacionam de forma direta com estas variáveis espectrais.

ABSTRACT

The objectives of this research were to give some subsidies and bases to the understanding of the relationships between multispectral (six TM reflective bands, Simple Ratio and Normalized Difference) and agronomic variables, for bean. Data were obtained in commercial irrigated fields at northeast from São Paulo State during 1986 and 1987 winter cycles. Leaf Area Index, Phytomass and Percent Soil Cover were excellent descriptors of bean vigour; TM3, TM4, TM5, Simple Ratio and Normalized Difference correlated well (mainly during pre-senescence) with those agronomic variables. Yield variables (RE and RD) didn't correlated directly both with agronomic and spectral parameters.

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto Agrícola por satélites tem tido entre as suas mais importantes aplicações a de identificação e a de estimativa de áreas de culturas economicamente representativas.

A literatura específica internacional tem indicado que o sensoriamento remoto multiespectral pode, complementarmente, fornecer significativos aportes de informações acerca das condições (vigor) e da produtividade daquelas culturas agrícolas.

Nesse sentido, atributos dos dosséis culturais, tais como o índice de Área Foliar (IAF), a intercepção de radiação solar, a fitomassa verde, a densidade de clorofila, a porcentagem de cobertura verde sobre o solo (entre outros), são usualmente empregados como descritores das condições e do desenvolvimento da cultura.

Estes parâmetros têm sido usados separadamente ou combinados em modelos para simulação da resposta dos dosséis vegetais ao seu ambiente. O IAF, por exemplo, é considerado como uma das chaves para a fixação de carboidratos e para a determinação da produtividade primária líquida de comunidades vegetais, quando se estuda o ciclo global do carbono ou a produtividade de culturas agrícolas.

Pode-se dizer que a determinação destes parâmetros, numa escala mais globalizante, é possível, realisticamente, somente a partir de dados espectrais de satélites (como, p.ex., o Landsat-5 e o Spot).

Embora tenham sido encontradas em várias instâncias relações positivas entre parâmetros espectrais e rendimentos de grãos, não foi possível ainda concluir que as produtividades agrícolas possam ser preditas diretamente a partir de medidas espectrais.

Isto porque dosséis com IAFs e reflectâncias multiespectrais semelhantes poderiam ser expostos, nalguns dias, a ambientes diferenciados (p.ex., estresses de umidade ou de temperatura durante a polinização), o que causaria diferenças de produtividade, mas não necessariamente de reflectância.

Contudo, os resultados de várias investigações indicam que as respostas

multiespectrais dos dosséis vegetais podem ser consideradas como uma nova e promissora fonte de informações relacionadas à produtividade potencial das lavouras agrícolas.

Assim, grande parte dos esforços atuais desta linha de pesquisa está direcionada à combinação de dados espectrais, meteorológicos e mesmo de produtividade dos solos para prever a produtividade de grãos. A idéia é combinar a alta resolução geométrica (porém, baixa resolução temporal) dos dados espectrais de satélites de recursos naturais (que permitem a observação de campos agrícolas individuais em grandes áreas geográficas) com a alta resolução temporal (baixa resolução espacial) dos dados de satélites meteorológicos (Bauer et al., 1981).

Tucker e Sellers (1986) afirmam que as características foliares que determinam as propriedades de intercepção-da-radiação pelos dosséis vegetais estão diretamente ligadas à fotosíntese, à resistência estomatal e à evapotranspiração e podem ser inferidas a partir de medições de energia solar refletida. Ou seja, é possível o sensoriamento remoto da produção primária vegetal. Estes autores relataram que a Razão Simples ou a Diferença Normalizada, utilizadas como indicadores espectrais, podem definir a taxa de variação de três importantes variáveis de dosséis, quais sejam, o IPAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa Interceptada), o P_c (Taxa Fotossintética do Dossel) e o r_c (Mínima Resistência de Dossel). Acrescentam ainda que a integral da DN em relação ao tempo (duração do ciclo cultural) pode prover uma estimativa da produção primária grosseira de uma comunidade vegetal.

Como fundamentação dessas relações, é sempre citado que o fenômeno das reflexões múltiplas faz com que a reflectância aumente no infravermelho próximo, à medida em que se tenha um maior número de camadas de folhas. A reflectância máxima, no I.V., ocorre quando o número de camadas foliares é de aproximadamente 8 (Gausman et al., 1976). Entretanto, como afirmam Badhwar e Shen (1984), em várias situações o IAF não chega a 8, o que faz com que a reflectância destes dosséis seja afetada pela reflectância do solo.

As folhas são os principais componentes das plantas a influenciar em suas propriedades refletivas. Assim ve-

rifica-se, em geral, que o IAF verde apresenta uma relação negativa com a reflectância no vermelho; no infravermelho esta relação é positiva. Porém, há, além do IAF, outros fatores que influenciam a reflectância das plantas, tais como os solos, a presença de folhas de dosséis cloróticas caídas à superfície, as relações geométricas sol-sensor-plantas, bem como o estágio fenológico do dossel (Curran, 1983).

Considerando este conjunto apresentado, objetiva-se, no presente trabalho, fornecer subsídios para a utilização de reflectâncias multiespectrais TM/Landsat-5 na estimação das condições de vigor de lavouras de feijão.

Pretende-se entender melhor e indicar fundamentações físicas e fisiológicas das relações entre variáveis agronômicas e variáveis espectrais, como base para futuros e potenciais usos daquelas relações em modelos, os quais constituem-se em importante abordagem nesta linha de pesquisas, atualmente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os diversos dados deste trabalho foram coletados em várias propriedades agrícolas da região de Guaira/Barretos, a nordeste do Estado de São Paulo. Utilizaram-se 15 campos em 1986 e 42 campos em 1987, com lavouras irrigadas por sistema de aspersão do tipo "pivô central", durante os ciclos de inverno.

Os parâmetros agronômicos coletados foram: o índice de Área Foliar (IAF), adimensional; a Fitomassa (FIT), em g/m²; a Porcentagem de Cobertura Vegetal sobre o solo (COV); o Peso da Matéria Verde (PV), em g/planta; o Peso da Matéria Seca (PS), em g/planta; a Altura Média (AM), em cm; o Número de Folhas Verdes por planta (FV); o Teor de Umidade (TU), em %; e os Rendimentos Estimado (RE) e Declarado (RD), em Kg/ha.

Os parâmetros espectrais foram amostras de níveis de cinza (TM/Landsat-5) coletadas sobre os vários talhões estudados de feijão. Após correção atmosférica pelo método do "Histograma Mínimo" (Schowengerdt, 1983), os níveis de cinza foram transformados para valores de reflectâncias exoatmosféricas, segundo método de Markham e Barker (1986). Com os valores

das bandas TM3 e TM4 obtiveram-se os índices de vegetação Razão Simples (RS) e Diferença Normalizada (DN). As datas das passagens Landsat-5 utilizadas foram: (a) 1986: 17/junho, 19/julho e 04/agosto; e (b) 1987: 20/junho e 06/julho.

Mais detalhes sobre cada um destes parâmetros podem ser encontrados em Formaggio (1989).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1- TRAJETÓRIA DAS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS

Foram medidas sete variáveis agronômicas em seis campanhas quinzenais de coleta de dados, durante o ciclo do feijão, o qual teve uma duração média de 100 dias na região de estudo. A Figura 1 mostra a trajetória de três destas variáveis.

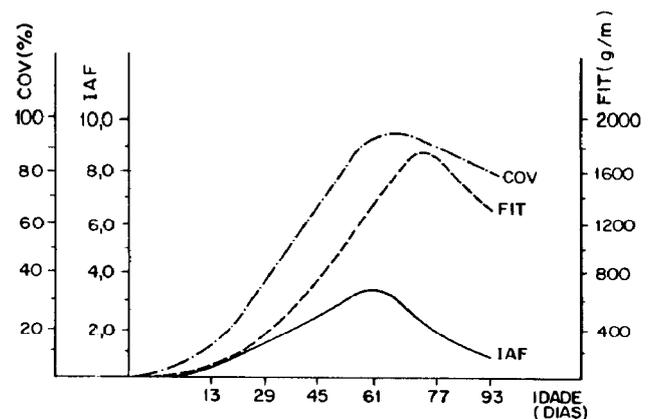


Figura 1 - Comportamento conjunto de três variáveis agronômicas medidas durante o ciclo da cultura de feijão.

Considera-se aqui que estas três variáveis representem de maneira significativa o estado de vigor dos dosséis do feijão, durante o seu ciclo biológico.

Verifica-se inicialmente, na Figura 1, a similaridade dos comportamentos das variáveis em questão - ou seja, no início do ciclo há valores baixos. O espaçamento do feijão é relativamente largo, de modo que, logo após a germinação, há apenas as duas folhas cotile-

donares em cada planta, as quais iniciam a captação da energia solar e o processo fotossintético. Neste início, o processo de produtividade líquida é relativamente baixo.

Em seguida, ainda no primeiro e principalmente no segundo quarto de ciclo, ocorrem aumentos praticamente exponenciais nos valores das três variáveis biofísicas. No feijoeiro, a multiplicação do número de folhas, após a fase inicial, é bastante rápida, de modo que o aparelho fotossintético da cultura passa a captar quantias cada vez maiores de radiação, com conseqüentes aumentos proporcionalmente rápidos na produtividade primária (ou seja, a taxa de produção vegetal, ou ainda, o acúmulo de produtos da fotossíntese por unidade de área de terreno, por unidade de tempo), caso não haja restrições de ordem nutricional ou hídrica.

Esta é a fase de crescimento vegetativo da cultura, em que há acumulação de matéria seca pelos diversos componentes das plantas. O crescimento vegetal é decisivamente influenciado pelo tempo em que a planta mantém ativa a sua superfície foliar, característica esta que é definida pelo parâmetro ecofisiológico Duração de Área Foliar; o qual vem merecendo crescente atenção nos estudos que objetivam obter estimativas de produtividade via dados multiespectrais de S.R.

Nestes estudos, é importante conhecerem-se as relações alométricas das plantas componentes da cultura em estudo, uma vez que o comportamento de cada planta refletir-se-á no comportamento de toda a lavoura. Estas relações (alométricas) dizem respeito à maneira pela qual a matéria orgânica produzida é distribuída pelos vários órgãos da planta. Este tipo de informação, conforme assinala Magalhães (1985), pode ser obtido através do cálculo das taxas de crescimento relativo das diferentes partes da planta, as quais são comparadas entre si, ou com o crescimento de todo o organismo.

Considerando ainda a Figura 1, as variáveis biofísicas atingem os seus respectivos pontos de máximo no terceiro quarto do ciclo biológico. Após o atingimento deste pico, inicia-se, nesta mesma terceira fase, um decréscimo que se estende até o final do ciclo.

Conforme Magalhães (1985), a interpretação fisiológica destas diferentes fases do crescimento vegetal é a seguinte: no início, a planta depende das reservas da semente para a produção dos órgãos que compõem a plântula (crescimento lento); após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, os processos anabólicos dependentes da fotossíntese traduzem-se por um rápido crescimento; atingido o tamanho definitivo, a planta inicia uma fase de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralização da produção de matéria orgânica.

O comportamento espectral de uma comunidade de plantas agrícolas, como a cultura de feijão, p. ex., durante o seu ciclo biológico, depende muito da dinâmica fenológica dos dosséis individuais - assim, o entendimento das suas relações alométricas e ecofisiológicas torna-se fundamental para quaisquer investigações destinadas à utilização de variáveis espectrais para a estimativa de produtividades agrícolas.

3.2- TRAJÉTORIA DAS VARIÁVEIS ESPECTRAIS

Foram utilizadas as seis bandas refletivas TM/Landsat-5, na forma de reflectâncias exoatmosféricas (Markham e Barker, 1986), obtidas em duas datas de passagem, de modo que se pudesse ter várias condições de idades de talhões, o que é mostrado nas Figuras 2.a e 2.b.

Na análise destas figuras, sobressai de duas maneiras que as variáveis espectrais relacionam-se intimamente com as variáveis biofísicas da cultura de feijão.

Na primeira maneira, analisando-se cada figura (2.a ou 2.b) individualmente. Verifica-se que, nas bandas TM4 (principalmente) e TM5, à medida em que o feijão vai avançando em seu ciclo, as reflectâncias vão aumentando (curvas dos 14, 30, 43 e 55 dias) no caso 2.a e curvas dos 30, 46, 59 e 71 dias no caso 2.b). Essas idades, se as reambularmos à Figura 1, estão compreendidas no primeiro, segundo e início do terceiro quartos-de-ciclo - ou seja, nos estados de desenvolvimento vegetativo (crescimento e acúmulo de matéria seca) da cultura.

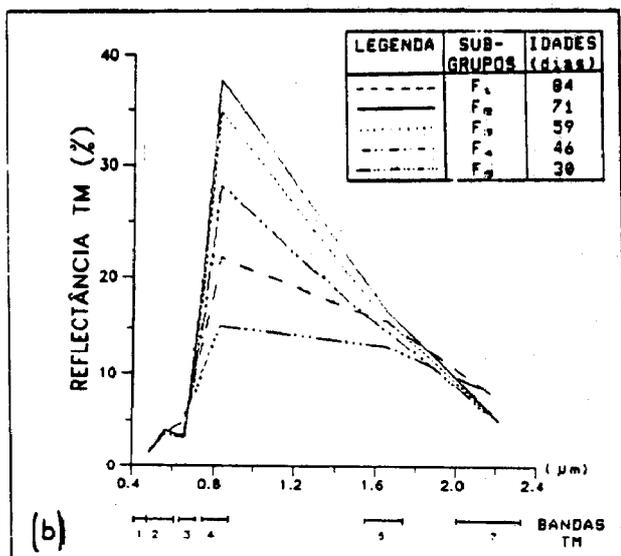
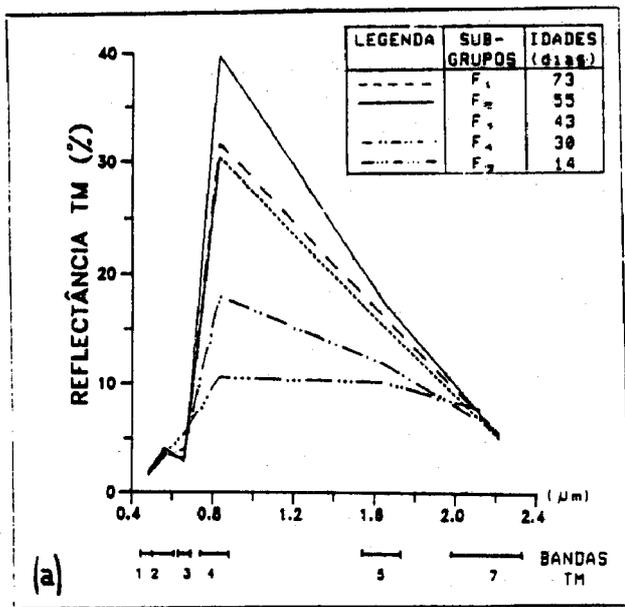


Figura 2 - Comportamento das reflectâncias nas seis bandas refletivas do TM/Landsat-5, para várias condições de idade do feijão. Passagens de 20/06/87 (a) e de 06/07/87 (b).

Além disso, as curvas dos 73 dias (Figura 2.a) e dos 85 dias (Figura 2.b) apresentam valores de reflectância em declínio. Da mesma maneira, estas idades reambuladas à Figura 1 permitirão verificar que encontram-se localizadas no final da terceira e na quarta fase dos estádios de desenvolvimento da cultura; ou seja, nas fases de senescência, em que está ocorrendo um decaí-

mento contínuo das variáveis descritoras de vigor da cultura. No caso do IAF, p. ex., grande quantidade das folhas, nestas fases, estão tornando-se cloróticas (perdendo clorofila) ou caindo, resultando num decréscimo no número de camadas foliares ativamente refletoras - o que explica o decréscimo das reflectâncias na banda TM4 (além de acréscimo na banda TM3).

Na segunda maneira, as relações variáveis espectrais X variáveis agrônômicas são bem evidenciadas analisando-se as Figuras 2.a e 2.b seqüencialmente. Perceber-se-á que as curvas F3, F4 e F5 da Figura 2.b apresentam valores maiores (nas bandas TM4 e TM5) de reflectâncias que as mesmas F3, F4 e F5 da Figura 2.a. Considerando-se que os dados de Figura 2.b são de uma passagem do Landsat obtida 16 dias após a passagem referente aos dados da Figura 2.a (e reportando-se à Figura 1, novamente), verifica-se que tais dados correspondem à fase de crescimento vegetativo da cultura. Nesta fase, as variáveis biofísicas estão em franca ascensão de valores, o que acarreta nos aumentos dos valores de reflectâncias nas bandas TM4 e TM5, como já fora apontado antes.

As reflectâncias (TM4 e TM5) das curvas F1 e F2 decresceram da Figura 2.a para a 2.b. Isto pode ser facilmente entendido em função de ambas as curvas corresponderem à fase de senescência da cultura, o que acarreta a diminuição dos valores das variáveis biofísicas e as conseqüências reportadas anteriormente de queda das folhas.

3.3- INTERRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS

Na Tabela 1 são mostradas as correlações entre 10 variáveis agrônômicas para os dados de junho-julho/87.

Nesta Tabela, verifica-se, p.ex., que as variáveis IAF, FIT e COV relacionam-se bem com praticamente todas as outras variáveis agrônômicas com exceção do TU, do RE e do RD. Isto confirma a seleção delas como boas descritoras das características de vigor dos dosséis.

No caso do Teor de Umidade (TU), ocorre que os seus valores permanecem praticamente constantes durante todo o ciclo (no patamar dos 80-90%) Formaggio (1989).. Em função disso não há boas

correlações com as outras variáveis agrônômicas de interesse, já que estas apresentam a dinâmica mostrada na Figura 1.

No caso dos rendimentos (RE e RD), pode-se dizer que há apenas um valor de rendimento por talhão; ao passo que os outros parâmetros são originários de várias datas do mesmo talhão e, assim, seguem dinâmicas semelhantes entre si. Assim, se for feita uma integração de cada variável e se compararem os valores destas integrações com rendimentos, então provavelmente haja correlações. Além disso, RE e RD não se correlacionam bem com as variáveis descritoras de vigor (IAF, FIT e COV), que possuem dinâmica própria durante o ciclo e diferente da dinâmica das duas variáveis de rendimento consideradas.

Comparando-se, nesta mesma Tabela 1, as interrelações de um com outro mês, verifica-se que as de junho são melhores que as de julho. Isto é explicável pelo fato de, na data de junho, a maioria dos talhões estudados estarem ainda em sua fase ascendente (crescimento vegetativo, pré-senescência). Em função das diferenças de datas de plantio, na data de julho, boa parte dos talhões já haviam passado para os decaimentos já anteriormente citados (devidos à fase de senescência) ao passo que os talhões novos ainda estavam na fase ascendente. Esta constatação indica para que, quando se fizer análise de uma cultura numa imagem de satélite obtida numa determinada data, seja sempre levado em consideração que os diversos talhões de uma mesma cultura encontram-se em fases distintas; portanto, deverão ser analisados de maneira adequada.

Além disso, sabe-se que as folhas são os elementos principais que determinam a resposta espectral das plantas. Então, se não há boas relações entre IAF e Rendimento, certamente não é interessante que se tente relacionar diretamente Rendimento com variáveis espectrais. É provável que integrando-se a variável espectral durante o ciclo da cultura, o valor final da integração tenha relação com o rendimento (já que este também pode ser considerado um resultado da integração das variáveis agrônômicas durante o ciclo biológico da cultura).

Na Tabela 2 são mostradas as interrelações entre as variáveis espectrais e os parâmetros agrônômicos de

vigor do feijão, para os dados de 1986 e de 1987.

O que se depreende da análise desta Tabela 2, inicialmente, é que as bandas individuais TM3, TM4 e TM5, além dos índices de vegetação (RS e DN) são as variáveis espectrais melhores relacionadas com as variáveis agrônômicas IAF, FIT e COV.

Pode-se notar também que, tanto para os dados de 1986, como para os de 1987, nas passagens do mês de junho há as melhores relações entre as variáveis agrônômicas e as variáveis espectrais. Nas passagens de julho e de agosto, quando as culturas (a maior parte delas) já estão em fases de senescência, as correlações decrescem significativamente.

Assim, pode-se indicar que as fases mais propícias para se buscar as melhores relações entre variáveis biofísicas e reflectâncias multiespectrais do feijão estejam compreendidas no período de crescimento vegetativo antes do início da senescência.

Neste sentido, seria interessante que investigações complementares fossem feitas levando-se em conta também as diversas fases fenológicas do ciclo biológico do feijão.

4- CONCLUSÕES

Neste trabalho foram buscados fundamentos para a utilização de variáveis espectrais na estimação de condições de vigor da cultura de feijão.

Verificou-se que as variáveis IAF, FIT e COV são excelentes indicadoras das condições gerais de vigor do feijão. Porém, há outras variáveis que devem ser analisadas, tais como o IPAR, a duração de área foliar e a densidade de clorofila, conforme algumas pesquisas citadas.

As variáveis de rendimento (RE e RD) não se relacionam bem nem com os parâmetros biofísicos (que têm uma dinâmica própria durante o ciclo) e nem com os parâmetros espectrais TM/Landsat da cultura.

A dinâmica fenológica da cultura do feijão está intimamente relacionada com o seu comportamento espectral, principalmente pelas bandas indi-

TABELA 1 - Coeficientes de correlação linear simples entre as 10 variáveis agronômicas, para os dados de junho e os de julho/1987, para as áreas de feijão.

	AM	FV	PV	PS	IAF	FIT	TU	COV	RD	RE
IJIAM	X	0,90 ^a	0,59 ^a	0,55 ^a	0,78 ^a	0,57 ^a	-0,19	0,90 ^a	-0,11	0,12
IUIFV	X	X	0,86 ^a	0,76 ^a	0,87 ^a	0,80 ^a	-0,19	0,84 ^a	-0,13	0,32
IIIPV	X	X	X	0,95 ^a	0,87 ^a	0,97 ^a	-0,19	0,75 ^a	-0,10	0,00
IhIIAF	X	X	X	X	0,84 ^a	0,93 ^a	-0,41 ^b	0,70 ^a	-0,06	0,09
IoIFIT	X	X	X	X	X	0,89 ^a	-0,29	0,81 ^a	-0,09	0,23
I ITU	X	X	X	X	X	X	-0,29	0,74 ^a	-0,11	0,06
IBICOV	X	X	X	X	X	X	X	-0,37	-0,27	-0,15
I7IRD	X	X	X	X	X	X	X	X	-0,15	0,19
I IRE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,06
IJIAM	X	0,80 ^a	0,49 ^a	0,35 ^b	0,59 ^a	0,51 ^a	0,17	0,86 ^a	-0,15	-0,01
IUIFV	X	X	0,46 ^a	0,31	0,54 ^a	0,53 ^a	0,34	0,76 ^a	-0,10	-0,14
IIIPV	X	X	X	0,92 ^a	0,38 ^b	0,95 ^a	-0,17	0,61 ^a	-0,02	-0,02
IhIPS	X	X	X	X	0,32	0,88 ^a	-0,49 ^b	0,62 ^a	-0,02	-0,06
IoIFIT	X	X	X	X	X	0,58 ^a	0,24	0,52 ^a	0,19	-0,05
I ITU	X	X	X	X	X	X	-0,19	0,65 ^a	0,08	-0,01
IBICOV	X	X	X	X	X	X	X	-0,13	-0,14	0,03
I7IRD	X	X	X	X	X	X	X	X	-0,04	0,09
I IRE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,06

a = Significativo ao nível de 1%
b = Significativo ao nível de 5%

TABELA 2 - Coeficientes de correlação linear simples entre as variáveis agronômicas e as variáveis espectrais, para os dados de 1986 e de 1987.

Passag. LANDSAT	VARIÁV. AGRON.	VARIÁVEIS ESPECTRAIS							
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	RS	DN
17/JUN/ 1986	COV	0,17	0,26	-0,63 ^b	0,94 ^a	0,64 ^b	-0,24	0,91 ^a	0,82 ^a
	IAF	0,33	0,32	-0,58 ^b	0,89 ^a	0,58 ^b	-0,21	0,89 ^a	0,74 ^a
19/JUL/ 1986	COV	0,38	0,65 ^a	-0,41	0,82 ^a	0,81 ^a	0,11	0,73 ^a	0,73 ^a
	IAF	0,24	0,40	-0,18	0,46	0,31	-0,27	0,38	0,39
04/AGO/ 1986	COV	-0,50	-0,33	-0,75 ^a	0,55 ^b	-0,15	-0,83 ^a	0,52 ^b	0,73 ^a
	IAF	-0,22	-0,17	-0,49	0,68 ^a	0,56 ^b	-0,65 ^b	0,57 ^b	0,64 ^a
20/JUN/ 1987	COV	0,29	0,37 ^b	-0,76 ^a	0,82 ^a	0,78 ^a	-0,38 ^b	0,83 ^a	0,87 ^a
	IAF	0,33	0,38 ^b	-0,64 ^a	0,77 ^a	0,63 ^a	-0,27	0,79 ^a	0,70 ^a
	FIT	0,20	0,22	-0,47 ^a	0,61 ^a	0,53 ^a	-0,14	0,64 ^a	0,50 ^a
17/JUL/ 1987	COV	-0,27	-0,06	-0,71 ^a	0,80 ^a	0,50 ^b	-0,55 ^a	0,79 ^a	0,86 ^a
	IAF	-0,10	0,16	-0,47 ^a	0,61 ^a	0,39 ^b	-0,36 ^b	0,59 ^b	0,58 ^b
	FIT	-0,06	0,30	-0,44 ^a	0,67 ^a	0,55 ^a	-0,33	0,60 ^b	0,59 ^a

^a = Significativo ao nível de 1%
^b = Significativo ao nível de 5%

viduais TM3, TM4 e TM5, bem como pelos índices de vegetação Razão Simples e Diferença Normalizada.

As passagens de satélite localizadas mais dentro da fase de crescimento vegetativo, pré-senescência, são as mais próprias para as relações entre variáveis espectrais e variáveis agrônômicas do feijão.

Uma vez que se tem por meta a estimação de variáveis agrônômicas a partir de parâmetros espectrais, é necessário entender os fundamentos físicos e fisiológicos destas relações, para que o seu potencial uso possa ocorrer com maior domínio de causa.

Sugere-se aqui que a estes estudos seja dada continuidade, em função de sua importância nos esforços de se conseguir contextualizar os fundamentos físicos e fisiológicos das relações entre produtividade e dados multiespectrais de S.R., para potenciais aplicabilidades de modelos. Ressalta-se a necessidade de que se colem os dados agrônômicos e espectrais da cultura, associando-os de maneira clara com cada estágio bem delimitado de seu ciclo de desenvolvimento.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BADHWAR, G.D.; SHEN, S.S. Techniques for the estimation of leaf area index using spectral data. IN: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM. Proceedings. 1984. p. 333-338.

BAUER, M.E.; DAUGHTRY, C.S.T.; VANDERBILT, V.C. Spectral-agronomic relationships of maize, soybean and wheat canopies. IN: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING. Avignon, 8-11 Sept. 1981. Monfavet, INRA, p. 261-272. 1981.

CURRAN, P.J. Estimating Green LAI from Multispectral Aerial Photography. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(12):1709-1720. 1983.

FORMAGGIO, A.R. Características agrônômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão. ESALQ/USP, Piracicaba. 1989. 161 p.

GAUSMAN, H.W.; RODRIGUEZ, R.R.; RICHARDSON, A.J. Infinite reflectance of dead compared to live vegetation. Agronomy Journal, 68:295-296. 1976.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. IN: FERRI, M.G. (Ed.) Fisiologia Vegetal 1. São Paulo. Editora Pedagógica e Universitária. pp. 333-350. 1985.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. EOSAI Technical Notes, 1:3-8. 1986.

TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production. International Journal of Remote Sensing, 7:1395-1416. 1986.