

RELAÇÕES ENTRE PVI E DIFERENÇA NORMALIZADA E ÍNDICE DE ÁREA
FOLIAR, COBERTURA DO SOLO E DENSIDADE DE
CLOROFILA DE TRIGO E DE FEIJÃO.

JOSÉ CARLOS NEVES EIPHANIO
ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO

Instituto de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP
BRASIL

RESUMO

Diversos estudos têm sido conduzidos no sentido de determinar relações entre respostas espectrais de culturas e parâmetros agrícolas importantes como índice de área foliar, percentagem de cobertura do solo, radiação fotossinteticamente ativa absorvida. Entretanto, estudos envolvendo a relação desses parâmetros com respostas espectrais obtidas diretamente de dados de satélite são escassos. Geralmente os dados radiométricos são obtidos a nível de campo, com radiômetros. Neste trabalho, dados de reflectância de trigo e de feijão foram derivados diretamente de dados TM/Landsat-5. Os dados de parâmetros agrônômicos como índice de área foliar, percentagem de cobertura do solo e teor de clorofila foram coletados em campo ou analisados em laboratório. É feita a construção do índice perpendicular de vegetação (PVI) com os dados dos solos da região, e do índice diferença normalizada (DN). Os resultados mostram que há grande concordância com as relações obtidas no nível de radiometria de campo, indicando que com adaptações e calibrações pode ser possível a utilização efetiva de dados de satélite em modelos envolvendo tais parâmetros agrônômicos.

ABSTRACT

This paper describes the relationships between the spectral parameters (TM4 single band, Perpendicular Vegetation Index, and Normalized Difference) and three biophysical agronomic parameters (percent soil cover, leaf area index, and chlorophyll density). Spectral digital count obtained from TM/Landsat-5 tapes were corrected for radiometric and atmospheric effects. Wheat and bean agronomic parameters were collected over commercial plantations on 1986 winter. Discussion of results were carried out on physical and physiological bases. It is showed that there are good relationships between satellite spectral parameters and biophysical agronomic parameters for both wheat and bean. It was stressed the possibility of estimating the vigor conditions of an agricultural field from orbital data. Nevertheless, in some point of the growing season the biophysical parameters reach values so high that their relationships with spectral parameters become asymptotic rather than the linear, which would be the ideal situation. PVI, as expected, was powerful to minimize the effect of underlying tropical soils on crops spectral responses.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de sensoriamento remoto em agricultura pode ser feita com múltiplos produtos. Normalmente o que se usa é a banda simples, ou seja o registro das informações em uma banda espectral determinada. A disponibilidade de várias bandas espectrais permite a exploração mais eficiente das características espectrais dos alvos em conjunto com os modos de operação dos vários sistemas sensores. Quanto mais bandas espectrais dispuser um sistema sensor mais possibilidades de extração de informações ele fornece. Entretanto, quando o número de bandas espectrais aumenta, há um concomitante acréscimo de dificuldade de integração dos múltiplos dados (Mather, 1987, p.319).

Para reduzir a dimensionalidade dos dados e aumentar a eficiência de extração de informações têm sido utilizados índices de vegetação. Um índice de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais segundo um procedimento determinado, cuja finalidade é realçar determinadas características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar, etc. em relação aos solos.

O índice espectral de vegetação mais comumente utilizado é o obtido pela razão entre as reflectâncias no infravermelho próximo (IV) e no vermelho (V), denominado Razão Simples. Rouse et al. propuseram a razão diferença-soma destas bandas $[(IV-V)/(IV+V)]$, denominado Diferença Normalizada (DN), para o monitoramento de vegetação com dados do sensor MSS/Landsat. Este índice vem sendo amplamente utilizado por um grande número de autores.

Outro tipo de concepção de índice de vegetação é o que envolve alteração da ortogonalidade dos eixos de dispersão dos dados (conhecido como sendo do tipo "ortogonal"), gerando novos valores. Os dois exemplos mais conhecidos são o índice "Greenness" de Kauth e Thomas (1976) e o índice Perpendicular de Vegetação (PVI) de Richardson e Wiegand (1977).

Grande parte dos trabalhos envolvendo o uso de bandas simples e mesmo de índices (lineares ou ortogonais) para avaliação de parâmetros de interesse agrônomo foram realizados com radiômetros de campo, em condições experimentais. Entretanto, como se dispõe

de imagens de satélite, é de interesse que relações entre dados espectrais e agrônomicos também sejam buscadas nesses produtos. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar os produtos TM/Landsat-5 quando utilizados na construção de índices espectrais de vegetação.

2. OS ÍNDICES "RAZÃO" E "PVI"

Os índices de vegetação, como afirmam Jackson et al. (1980), representam características dos dosséis de plantas, tais como o índice de Área Foliar, a Fitomassa, o Peso da Matéria Verde, o Peso da Matéria Seca, a Porcentagem de Cobertura do Terreno por Vegetação, etc.

A Razão Simples (IV/V) foi proposta e utilizada pela primeira vez por Jordan (1969) como um estimador espectral da vegetação. Desde então, ela tem sido utilizada por um grande número de autores, o mesmo ocorrendo com o índice Diferença Normalizada de Rouse et al.

A sensibilidade desse índice à vegetação encontra explicação nas propriedades de reflexão das plantas. Numa vegetação verde a luz vermelha (630-670 nm) é absorvida pela clorofila, com pouca transmissão e pouca reflexão; ao passo que, no infravermelho próximo (700-1300 nm), a absorção é quase zero e a reflectância e a transmitância são altas (Knipling, 1970), devido à estrutura interna das folhas, como frizam vários autores (Gates et al., 1965; Bauer et al., 1980; Gausman, 1985).

Desta maneira, à medida em que aumenta a quantidade de vegetação, a reflexão na banda do infravermelho próximo (IV) aumenta e a reflexão na banda do vermelho (V) diminui, fazendo com que o aumento da Razão IV/V seja potencializado, realçando a vegetação.

Quando várias camadas de folhas vão sendo sobrepostas num dossel em desenvolvimento, concomitantemente vão ocorrendo aumentos nos níveis de reflectância nas porções espectrais do IV, em função do efeito das "reflectâncias múltiplas" descrito por Allen e Richardson (1968), até que se atinja um valor estável máximo, denominado de "reflectância limite" (simbolizada por R_{∞}) por aqueles autores.

O índice perpendicular de vegetação (PVI) baseia-se na observação de que diferentes solos ou o mesmo solo em diferentes condições de umidade compõem uma mesma reta no plano XY de reflectância definido pelas bandas TM3 e TM4 (vermelho e infravermelho, respectivamente). A distribuição de reflectâncias de solo e vegetação nesse plano mostra que a base da distribuição dos pontos é constituída pela linha de solos e os pontos acima dessa linha são de vegetação. A maior ou menor distância do ponto de vegetação em relação à linha de solos indica maior ou menor desenvolvimento da vegetação. Essa distância é sempre medida perpendicularmente à linha de solos como ilustrado na Figura 1.

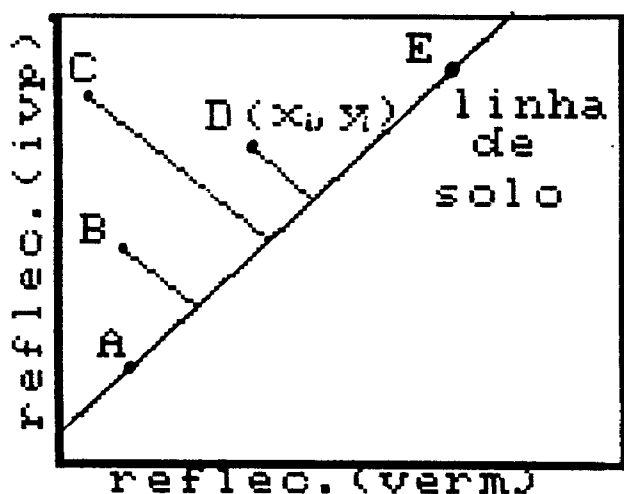


Figura 1- Diagrama da Linha de Solos e dos pontos de vegetação para o cálculo do PVI.

A linha de solo é dada pela equação [1]

$$Y = a_0 + a_1 X \quad [1]$$

Os coeficientes a_0 e a_1 são obtidos pela regressão linear dos dados de solos. Para encontrar a distância perpendicular da linha até um determinado ponto qualquer do espaço bidimensional XY, deve-se reduzir a equação da reta à forma normal e substituir as coordenadas do ponto na equação [2], ou seja,

$$PVI = (Y_i - a_1 X_i - a_0) / [1^2 + (-a_1)^2]^{1/2} \quad [2]$$

onde o subscrito i indica que X_i e Y_i são coordenadas de um ponto fora da linha de solos e que por conveniência é chamado de ponto de vegetação. Maiores

detalhes sobre o PVI podem ser obtidos em Jackson et al. (1980).

O relacionamento entre variáveis espectrais (como os índices de vegetação, p. ex.) e variáveis biofísicas dos dosséis pressupõe o conhecimento de como variam estes parâmetros, uma vez que isto é básico para o entendimento daquelas relações.

Assim, Formaggio (1989) encontrou, por exemplo, que o índice de Área Foliar (IAF) e a Porcentagem de Cobertura Vegetal sobre o Terreno (COV) variam de maneiras distintas para o trigo e o feijão.

No caso do trigo, COV e IAF variam, como é mostrado na Figura 2(a), de modo relativamente interdependente: a variável COV cresce rapidamente no início do ciclo (em função, principalmente, do espaçamento entre plantas ser estreito), ao passo que o IAF assume um crescimento rápido por volta dos 31 dias de idade, quando praticamente a COV atinge o máximo. Neste momento, a COV mantém-se em seu ponto de saturação máxima (100%), ao passo que o IAF continua crescendo até por volta dos 47-50 dias e depois começa a cair, enquanto a COV continua em seu patamar elevado.

No caso do feijão, a dinâmica das variáveis COV e IAF ao longo do ciclo é distinta da do trigo. Como é mostrado na Figura 2(b), o IAF e a COV caminham, no decorrer do ciclo, de maneira a crescerem de forma não intensa, porém, contínua, até o último quarto do ciclo.

Evidentemente, estas interrelações entre as duas variáveis biofísicas exercem papel de destaque na integração entre radiação eletromagnética e dosséis agrícolas do trigo e do feijão, devendo ser adequadamente consideradas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho foram coletados dados sobre índice de Área Foliar, Porcentagem de Cobertura do solo pelo método descrito em Heilman et al. (1981) e Teor de Clorofila (em mg/g) pelo método de Arnon (1946) de 15 campos de trigo e de 15 de feijão em condições comerciais de cultivo irrigado. Também foram obtidos os valores de densidade de clorofila, que é o valor do teor foliar de clorofila multiplicado pelo índice de área foliar.

Tucker (1978) utiliza a concentração de clorofila, definida como a multiplicação do teor foliar de clorofila pelo peso da matéria verde, para obter um valor que expresse volumetricamente a quantidade de clorofila no campo.

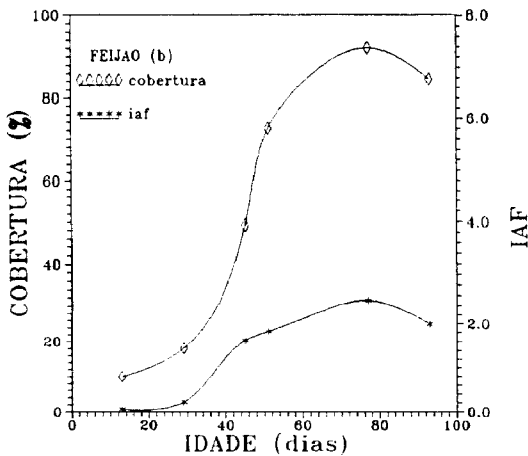
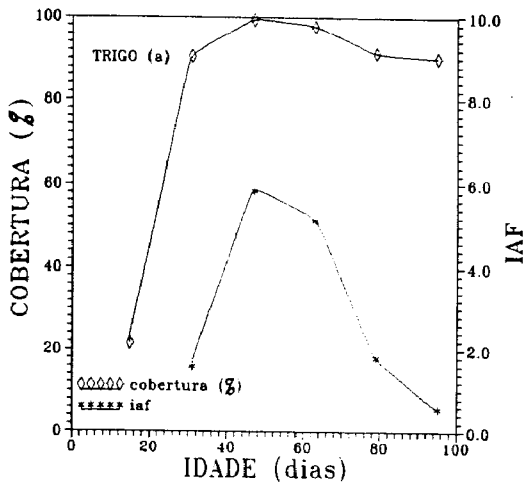


Figura 2- Dinâmica das variáveis IAF e COV ao longo dos ciclos das culturas de trigo (a) e de feijão (b).
 FONTE: FORMAGGIO (1989)

Os dados de satélite foram obtidos do sensor TM ("Thematic Mapper") do Landsat-5. Esse sensor fornece dados em três bandas espectrais na região visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma infravermelho termal (Epiphanyo, 1988).

Os dados digitalizados de satélite, referentes à órbita/ponto 221/74, de 17/06/86, foram corrigidos para efeitos atmosféricos pelo método do histograma mínimo (Schowengerdt, 1983), e amostras de valores digitais foram obtidas sobre os três tipos de solos predominantes na região e sobre os

trinta campos de cultivo. Os valores digitais corrigidos foram utilizados para as correlações e transformações em índices espectrais. Os valores digitais das áreas de solo serviram para a construção da linha de solos e a determinação do valor do índice perpendicular de vegetação (PVI) de cada campo de cultivo.

Nesse trabalho os parâmetros espectrais utilizados serão a banda TM4 (infravermelho próximo), o índice Perpendicular de Vegetação (PVI) e o índice Diferença Normalizada (DN). As análises serão baseadas nas correlações e relações gráficas entre os parâmetros espectrais e biofísicos, tendo em vista o conhecimento teórico de comportamento espectral de alvos agrícolas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A observação da Figura 3 permite a constatação de que para os solos da região de estudo há uma grande relação entre os valores digitais das bandas TM3 e TM4, definindo a "linha de solo".

Para as áreas com culturas essa relação não é nítida, conforme pode ser observado na Figura 4.

Entretanto, quando esses dados são juntados numa só figura, como na Figura 5, há uma dispersão característica mostrando uma "linha de solo" e uma região de dispersão das áreas vegetadas. A distância perpendicular de um ponto qualquer até a linha de solo é o índice perpendicular de vegetação (PVI), definido por Richardson e Wiegand (1977).

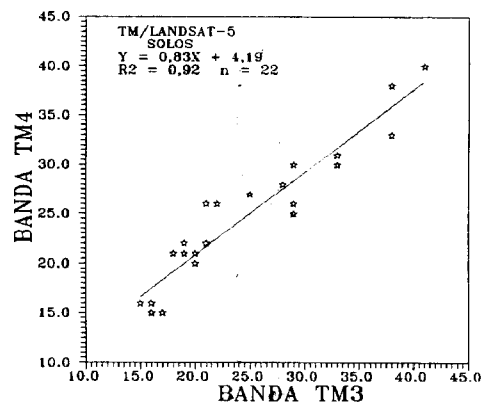


Figura 3- Relação entre as bandas TM3 e TM4 para os solos.

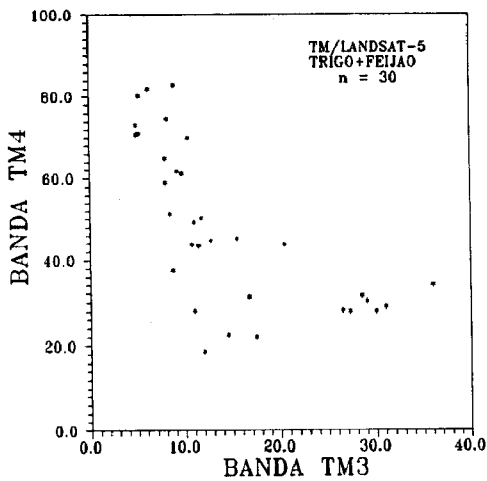


Figura 4- Relação entre as bandas TM3 e TM4 para as culturas.

Como se observam nessas figuras, os solos da região de estudo apresentaram-se bem comportados no tocante à construção da "linha de solos". Da mesma forma a distribuição da vegetação agrícola segue a distribuição teoricamente prevista, conforme a proposição de Richardson e Wiegand (1977). Deve ser ressaltado que esses dados foram obtidos de imagens orbitais e referem-se a áreas em condições naturais de cultivo envolvendo duas culturas distintas.

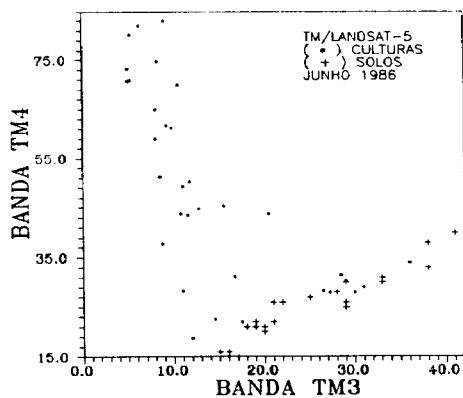


Figura 5- Relação entre as bandas TM3 e TM4 para os solos e as culturas conjuntamente.

Como existe uma resposta dos parâmetros espectrais quanto às condições de vigor dos dosséis, é possível a busca do entendimento e do estabele-

cimento de relações entre parâmetros representativos dos dosséis.

Nas figuras 6, 7 e 8 são mostradas as relações entre a porcentagem de cobertura do solo e três parâmetros espectrais (TM4, PVI e Diferença Normalizada).

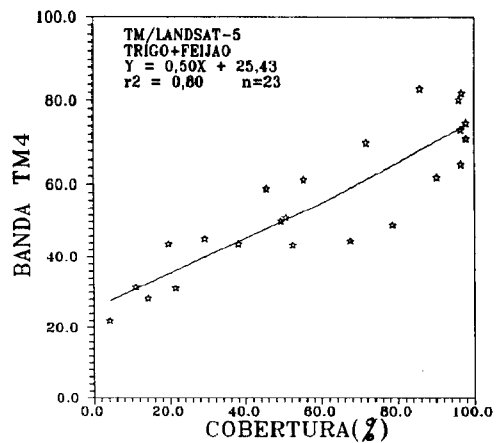


Figura 6- Relação entre a banda TM4 e a porcentagem de cobertura do solo.

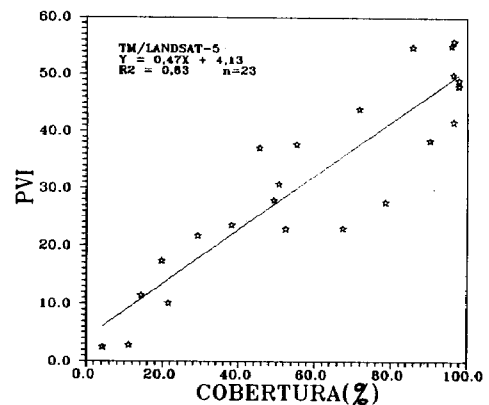


Figura 7- Relação entre o índice perpendicular de vegetação (PVI) e a porcentagem de cobertura do solo.

A porcentagem de cobertura do solo é um parâmetro que experimenta saturação quando atinge o valor de 100%. Isso faz com que, na região de saturação, variações na resposta espectral (devidas a aumentos de vigor) não tenham um correspondente aumento na per-

centagem de cobertura do solo, conforme mostrado por Formaggio (1989). As Figuras 6, 7 e 8 (TM4, PVI e DN) exprimem esse relacionamento e se mostram sensíveis a tal saturação, com o PVI apresentando um coeficiente de determinação ligeiramente superior à banda TM4. A Razão (IV/V) (não mostrada) apresentou um relacionamento curvilíneo com fortes sinais de saturação para valores elevados de cobertura.

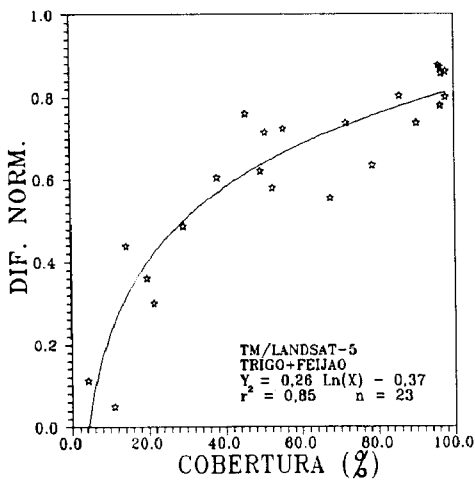


Figura 8- Relação entre a diferença normalizada (DN) e a porcentagem de cobertura do solo.

Deve-se ressaltar nessas curvas o aumento de dispersão com o aumento da porcentagem de cobertura. Ou seja, acima de 50% de cobertura há maior dispersão dos dados. Isso pode ser explicado pelo fato de que até um determinado ponto do desenvolvimento da cultura a porcentagem de cobertura guarda uma estreita relação com o número de folhas e com a área foliar da cultura (Figura 9). A partir de tal ponto essa relação cai, pois há acréscimo da área foliar sem correspondente aumento da cobertura. Isso cria alterações na reflectância da cultura, principalmente na banda TM4, que passa a portar informações de duas variáveis (IAF e porcentagem de cobertura) com taxas diferenciadas de variação.

Como pode ser observado na Figura 9, as áreas de trigo (T) tendo atingido o patamar de elevada cobertura experimentam grande variabilidade de índices de área foliar. É que devido ao pequeno espaçamento do trigo e sua alta densidade de plantio e poder de perfilhamento provoca rápida cobertura do solo e a partir daí continua aumen-

tando seu índice de área foliar. Esse aumento de índice de área foliar não ocorre na mesma intensidade para os vários talhões, em função do tipo de solo, manejo, adubação e outros. Isso provoca dispersão desses dados para elevadas coberturas do terreno. Dado o caráter comercial de exploração dos talhões de estudo, é inevitável a ocorrência de múltiplas práticas agrícolas indutoras de alterações de desenvolvimento e conseqüentemente de variações espectrais.

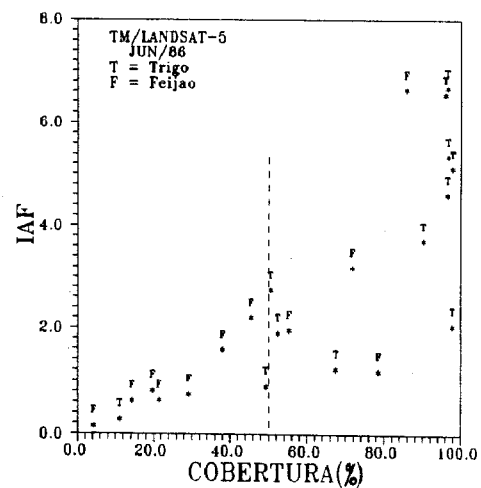


Figura 9- Relação entre porcentagem de cobertura do solo e índice de área foliar (IAF).

Outro parâmetro agrônomo de interesse e possível de ser estudado com sensoriamento remoto é o índice de área foliar (IAF). Nesse estudo com trigo e feijão, as relações desse parâmetro com os espectrais são mostrados nas Figuras 10, 11 e 12. O que se observa é uma relação curvilínea do tipo exponencial entre o índice de área foliar e os parâmetros espectrais estudados ($r^2 > 0,85$); e uma relação linear entre IAF e razão infravermelho/vermelho com razoável dispersão para valores de IAF superiores a 3,0 (não mostrado).

Observa-se que, com o acréscimo do índice de área foliar, há uma tendência de saturação dos parâmetros espectrais. Isso ocorre principalmente devido ao efeito de "reflectância infinita" (R_∞) de Allen e Richardson (1968), que ocorre no infravermelho próximo. Nessa banda as folhas apresentam alta transmitância de energia, o que permite o fenômeno de reflexões múltiplas pelas diversas camadas foliares, ocasionando a expressão de tal comportamento.

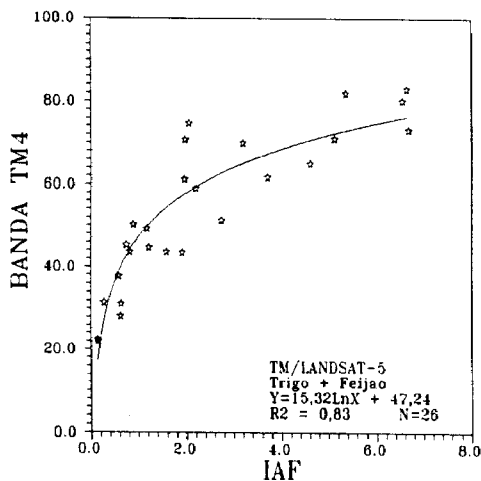


Figura 10- Relação entre a banda TM4 e o índice de área foliar (IAF).

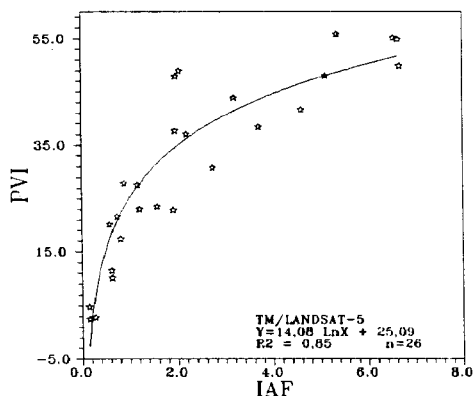


Figura 11- Relação entre o índice perpendicular de vegetação (PVI) e o índice de área foliar (IAF).

Dispersões observadas para alguns pontos ocorrem principalmente devido a variações intensas de determinados talhões quanto ao padrão esperado de valores de IAF. Observa-se que alguns pontos afastam-se da curva. No campo tais pontos representam talhões com excessivo desenvolvimento vegetativo (caso do feijão, "F") ou baixo nível de perfilhamento (caso do trigo, "T"). Outros fatores que atuam sobre esse parâmetro espectral são o efeito de "reflectância máxima" (Allen e Richardson, 1968) que afeta a banda infravermelha, e também o efeito de absorção diferenciada de energia no vermelho pelas duas culturas. O trigo possui maior teor de clorofila que o feijão, e isso influi

na absorção de energia. Como a clorofila afeta principalmente uma das bandas da Razão IV/V (a do vermelho), o relacionamento dos índices espectrais de vegetação com parâmetros agrônômicos pode desviar do esperado.

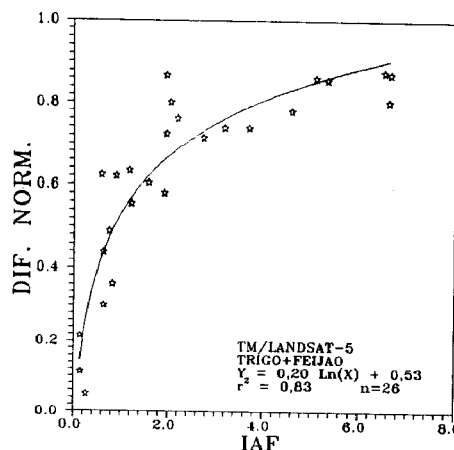


Figura 12- Relação entre a diferença normalizada (DN) e o índice de área foliar (IAF).

Um outro parâmetro agrônômico abordado neste trabalho, embora descrito com pouca ênfase na literatura, é a Densidade de Clorofila, ou seja, o teor de clorofila multiplicado pelo índice de Área Foliar. Esse parâmetro associa a massa foliar existente numa área a uma característica de fundamental importância em termos de sensoramento remoto, que é a capacidade de absorção de energia em dado comprimento de onda. Assim, uma cultura pode ter alta concentração foliar de clorofila, porém baixo índice de área foliar; outra pode ter características inversas. A densidade de clorofila procura expressar a integração da capacidade absorptiva desses dois componentes culturais.

Na Figura 13 observa-se que a banda TM4 possui uma relação curvilínea com a densidade de clorofila, o mesmo ocorrendo com o índice Perpendicular de Vegetação (Figura 14) e a Diferença Normalizada (Figura 15).

Levando em consideração que os dados espectrais foram obtidos a partir de dados de satélite, e que os dados agrônômicos foram obtidos em condições reais de cultivo em escala comercial, pode-se considerar que tais relações são relativamente bem ajustadas. A de-

monstração de que há relação entre parâmetros espectrais e a densidade de clorofila num nível elevado de valores de coeficientes de determinação é importante. Esse parâmetro agrônômico permite a integração de distintas características das culturas. Ou seja, o teor de clorofila, que é uma característica da espécie, e o índice de área foliar, que espelha o nível de vigor da espécie no campo. Assim, com o conhecimento mais acurado das relações entre variáveis agrônômicas indicadoras não só das características da espécie mas também de desenvolvimento da cultura, os modelos de produtividade poderão ser melhor ajustados.

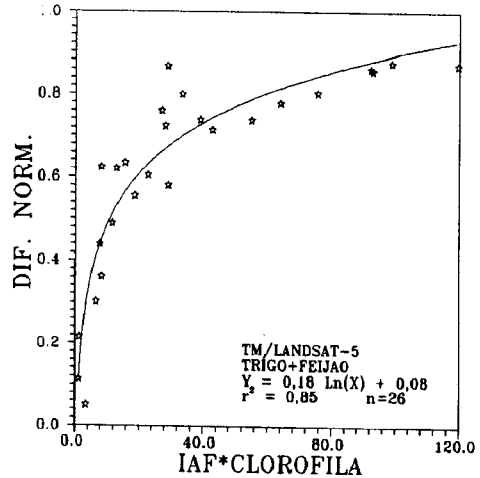


Figura 15- Relação entre a diferença normalizada (DN) e a densidade de clorofila.

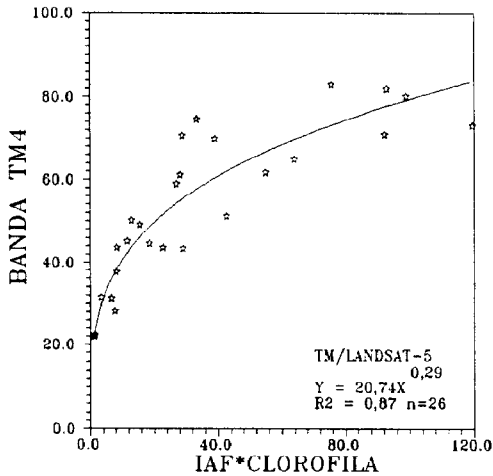


Figura 13- Relação entre a banda TM4 e a densidade de clorofila.

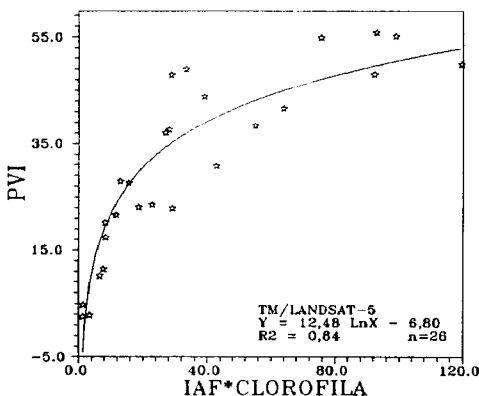


Figura 14- Relação entre o índice perpendicular de vegetação (PVI) e a densidade de clorofila.

5. CONCLUSÕES

Esses resultados demonstram que para áreas irrigadas, onde foi conduzida a coleta de dados, são encontradas relações de interesse agrônômico entre parâmetros espectrais e parâmetros ligados às características das culturas.

As respostas espectrais dos solos da região mostraram-se distribuídas ao longo de uma linha reta no plano vermelho x infravermelho.

Através de procedimentos adequados de cálculos é possível redistribuir todos os pontos tendo como referência tal linha, de modo a minimizar o efeito do solo sobre a resposta da vegetação. Com isso as respostas das culturas mostraram-se distribuídas acima dessa linha de solos, cujas localizações foram função do desenvolvimento vegetativo e do solo do talhão.

Embora os parâmetros espectrais estudados tenham sido muito correlacionados, a possibilidade de minimização do efeito de solo deve ser ressaltada para o caso do PVI; bem como os bons ajustes propiciados pela diferença normalizada. A construção do PVI deve ser testada para outros conjuntos de solos e outras culturas, particularmente as de verão não-irrigadas. Dado que características intrínsecas da espécie (p.ex. teor de clorofila) e condições de cultivo desempenham papel importante no comportamento dos parâmetros espectrais, estudos voltados ao entendimento de tais relações devem ser aprofundados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com apoio financeiro da FAPESP e da EMBRAPA às quais, ao lado da UNICAMP, DAEE IAC e ESALQ/USP, apresentamos nossos agradecimentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, W.A.; RICHARDSON, A.J.
Interaction of light with a plant canopy. *Journal of the Optical Society of America*, 58:1023-1028. 1968.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1):1-15, 1949.
- BAUER, M.E.; VANDERBILT, V.C.; ROBINSON, B.F.; DAUGHTRY, S.T.
Spectral properties of agricultural crops and soils measured from space, aerial, field and laboratory sensors. IN: PROCEEDINGS OF THE XIV CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY, Hamburg, West Germany, July 13-25, 1980. p. 56-73.
- EPIPHANIO, J.C.N. Dados TM/Landsat-5 no estudo das culturas de trigo e feijão. ESALQ/USP, Piracicaba, 1988. 141 p. (Tese de Doutorado).
- FORMAGGIO, A.R. Características agrônômicas e espectrais para sensoria-mento remoto de trigo e de feijão. ESALQ/USP, Piracicaba, 1989. 161p. (Tese de Doutorado).
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4(1):11-20. 1965.
- GAUSMAN, H.W. Plant leaf optical properties in visible and near-infrared light. Lubbock, Texas. Texas Tech University. Graduate Studies n°. 29. 1985. 78 p.
- HEILMAN, J.L.; HEILMAN, W.E.; MOORE, D.G. Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover. *Agronomy Journal*, 73(3):403-406. 1981.
- JACKSON, R.D.; PINTER JR., P.J.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Hand-held radiometry. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Reviews and Manuals, ARM-W-19. 1980.
- JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50:663-666. 1969.
- KAMAT, A.D.S.; CHATURVEDI, G.S.; SINGH, A.K.; SINHA, S.K. Spectral assessment of leaf area index, chlorophyll content, and biomass of chickpea. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(12):1721-1727. 1983.
- KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The Tasseled-Cap - A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crop as seen by Landsat. IN: PROCEEDINGS OF MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM. 1976. Purdue University, West Lafayette, IN, 1976. p. 4B, 41-51.
- KNIPLING, G.B. Physical and physiological bases for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1:155-159, 1970.
- MATHER, P.M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. Chichester, Wiley, 1987. 352p.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541-1552. 1977.
- ROUSE Jr., J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. IN: PROCEEDINGS OF THE 3rd SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED WITH ERTS-1. NASA SP-351, 1973, p.309-317.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. London, Academic, 1983. 249p.
- TUCKER, C.J. A comparison of satellite sensor bands for vegetation monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(11):1369-1380, 1978.