

AVALIAÇÃO DA BIOMASSA DE TRIGO CULTIVAR IAC-24 - TUCURUÍ UTILIZANDO RADIOMETRIA DE CAMPO E IMAGENS NOAA-AVHRR

EMÍLIA HAMADA ¹
HILTON SILVEIRA PINTO ²
JURANDIR ZULLO JÚNIOR ²

¹EMBRAPA MEIO AMBIENTE
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil
emilia@cnpma.embrapa.br

²CEPAGRI - Universidade Estadual de Campinas
Cid. Universitária Zeferino Vaz s/ no. - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{hilton, jurandir}@cepagri.unicamp.br

Abstract. The agronomic development of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar IAC-24 - Tucuruí and the seasonal evolution of its spectral characteristics were evaluated under field conditions. The study was carried out at an irrigated commercial farm, located in the municipality of Paranapanema, SP. Biophysical parameters included canopy height, density of plant, number of leaves, phytomass, leaf area, and leaf area index (LAI). The spectral data included the field radiometry and the NOAA-AVHRR satellite images. Reflectance factor spectra of seven data were measured and then the mean values of the reflectance factor between 580 and 680nm (channel 1) and from 725 to 1,100nm (channel 2) of NOAA, and three vegetation indexes were calculated. Maximum reflectance in the near infrared band was reached at beginning of heading process, when maximum LAI was also observed. The relationship between biophysical and spectral variables were dependent of growth stage of the crop. The best correlation were obtained from heading through middle maturity.

Keywords: remote sensing, wheat, spectral characteristic, meteorological satellite.

1. Introdução

O sensoriamento remoto orbital constitui um importante sistema e aquisição de informações das superfícies naturais por sua capacidade de integração espacial, através de sua visão sinóptica, e pela periodicidade de obtenção de dados-imagem gerados por sensores à bordo de satélites.

Os satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), embora de vocação meteorológica, vêm sendo muito utilizados no monitoramento da vegetação em escala regional e global e, mais recentemente, estudos vêm sendo realizados enfocando o seu uso no monitoramento agrícola. Seu radiômetro AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) inclui um canal na banda correspondente ao vermelho e outro na banda do infravermelho próximo, que são os adotados em estudos de cobertura vegetal. Devido à sua frequência de imageamento, 2 a 4 vezes por dia de um mesmo local, tem-se aumentada a probabilidade de obtenção de dados-imagem em boas condições ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura comercial.

O trigo é um alimento básico da população brasileira, sendo o País tradicionalmente um importador de trigo em grão, atendendo à ordem de 75% do consumo (dados de 1996 a 2000), segundo a CSBPT (2001).

Leamer et al. (1980) estudaram as mudanças sazonais na reflectância de três cultivares de trigo de primavera e as relacionaram com o seu desenvolvimento fenológico. Nos comprimentos de onda do infravermelho próximo as reflectâncias foram indicativas do estágio fisiológico do crescimento da planta e da quantidade de material verde da planta. À medida que as plantas entraram no estágio de emborrachamento, as folhas das camadas inferiores da planta começaram a perder a clorofila e a coloração verde e as espigas, que

continham menos clorofila que as folhas, começaram a ser expostas. O decréscimo nos níveis de clorofila nessas folhas ocasionou o decréscimo na reflectância do infravermelho próximo, indicando o desenvolvimento fisiológico nos estádios de emborrachamento, florescimento e maturação.

Baret et al. (1987) monitoraram a evolução dos fatores de reflectância de quatro cultivares de trigo durante o ciclo de crescimento da cultura. O comportamento geral da evolução sazonal do espectro de reflectância foi independente do cultivar e das datas de plantio, porém foi fortemente dependente do estágio fenológico da cultura. Antes do espigamento, a evolução da reflectância foi influenciada pela fração de área do solo exposto. Após o espigamento e no início da senescência, cresce o número de folhas que amarelecem, desta forma, afetando o espectro de reflectância do dossel. Durante a senescência, a reflectância do dossel aumentou no visível e decresceu no infravermelho próximo.

Tucker et al. (1980) conduziram experimento com trigo de inverno, relacionando os dados obtidos por radiometria de campo e a produtividade final de grãos. Foram observadas relações lineares significativas entre os índices de vegetação (RATIO e NDVI) e a produtividade de grãos, sendo que os dados espectrais foram mais altamente correlacionados no período de tempo de cinco semanas, entre os estádios de desenvolvimento da planta do alongamento ao florescimento, e foram menos relacionados no início e no final do ciclo de crescimento do trigo. Os índices de vegetação foram calculados utilizando as medidas de radiação espectral nas faixas do sensor MSS do satélite Landsat: vermelho (0,65-0,70 μ m) e infravermelho próximo (0,775-0,825 μ m).

Quarmby et al. (1992) utilizaram dados NOAA-AVHRR na estimativa das áreas das culturas de trigo, arroz, algodão e milho no norte da Grécia. As áreas estimadas das culturas foram comparadas aos dados estatísticos oficiais, sendo observada uma precisão média de 89% das áreas estimadas em escala regional. Nesse estudo, por hipótese, cada pixel do AVHRR era uma mistura das quatro culturas. As áreas de trigo foram estimadas de forma precisa quando a área era ou dominada ou quase ausente de trigo.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o desenvolvimento agrônômico do trigo e relacioná-lo ao comportamento espectral do dossel de trigo ao longo de seu ciclo de crescimento, obtido de medidas de campo e de informações de dados-imagem do satélite NOAA-AVHRR, da área teste está localizada no município de Paranapanema, sudoeste do Estado de São Paulo.

2. Material e Métodos

A área de estudo localizava-se no município de Paranapanema, à sudoeste do Estado de São Paulo, em uma propriedade agrícola comercial, associada à Cooperativa Agro-Industrial Holambra. A área está situada nas coordenadas geográficas 23°30'24"S e 48°55'14"O e a 585m de altitude.

Na seleção da área procurou-se atender às condições ideais de estudo em sensoriamento remoto de culturas: área de grande dimensão (aproximadamente 100ha), compatível com a resolução espacial de 1,1km do sensor AVHRR no nadir, terreno de relevo plano a suave ondulado, predominância de um tipo de solo e uniformidade de cultivar e de manejo da cultura em toda a área.

A área selecionada foi de tamanho aproximado de um pixel da imagem NOAA-AVHRR e bordadura de 500m de mesmo cultivo. Essa condição foi observada quando do início do experimento.

As datas das campanhas para a coleta de dados de campo foram definidas em função da probabilidade de obtenção de imagens NOAA de boa qualidade sobre o local. A imagem para

ser considerada de boa qualidade, além de apresentar-se sem contaminação de nuvens, deveria atender às características básicas referentes à órbita de passagem do satélite, adotadas neste estudo, tais como ângulo de elevação superior a 60° e direção do centro da passagem à oeste da estação de recepção de imagens, em Campinas, SP.

Sete campanhas foram realizadas no período de desenvolvimento do trigo. As campanhas iniciaram em 23 de maio de 1995, 38 dias após o plantio, e foram encerradas em 28 de agosto de 1995, um dia antes da colheita. Excepcionalmente, na última data de campanha, dia 28 de agosto (240 dias decorridos no ano - DDA), embora sem possibilidade prévia de obtenção de imagem de boa qualidade, segundo os critérios adotados, foram realizadas as medidas de radiometria de campo e biofísicas da cultura, a fim de caracterizar o ponto de colheita.

Para a coleta das plantas no campo, foram definidas parcelas, delimitadas por uma armação ou esquadro de dimensões de 1,0m x 1,0m, de forma a conter cinco linhas de plantas.

Os seguintes parâmetros de crescimento foram determinados: altura, densidade de plantas, número de folhas, fitomassa (massas fresca e seca da parte aérea da planta e de folhas), área foliar e índice de área foliar (IAF), ao longo do desenvolvimento da cultura, nas datas das campanhas.

As medidas de radiometria de campo foram obtidas ao longo do crescimento da cultura ao redor dos cinco pontos amostrais da área de estudo.

Na radiometria de campo foi utilizado um espectroradiômetro portátil modelo LI-1800, marca Licor, com medidas de radiação eletromagnética na faixa espectral de 400 a 1.100nm, em intervalos de 2nm. Esse equipamento proporciona espectros contínuos, de forma a possibilitar a reprodução de bandas de medida de muitos sensores, nesse intervalo de comprimento de onda.

A estação de recepção de imagens NOAA está localizada no Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura - CEPAGRI, da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, nas coordenadas $22^\circ 49' 22'' S$ e $47^\circ 03' 59'' O$. A fim de minimizar os efeitos de distorção causados por grandes ângulos de visada do sensor do satélite, os critérios utilizados na seleção das imagens foram os de apresentar a direção do centro da passagem a oeste da antena de recepção terrestre e o ângulo de elevação superior a 60° .

Foram utilizadas as imagens obtidas nos canais 1 (580 a 780nm) e 2 (725 a 1.100nm), respectivamente as faixas espectrais vermelho e infravermelho próximo.

Foram estudadas as inter-relações entre as características espectrais e os atributos biológicos da cultura, através da análise de correlação simples entre as variáveis biofísicas e espectrais, coletadas por radiometria de campo (fator reflectância nos canais 1 e 2, RATIO, NDVI e TVI). Os dados espectrais obtidos da radiometria de campo foram consideradas como a referência terrestre das imagens NOAA.

3. Resultados e Discussão

O ciclo de desenvolvimento da cultura apresentou duração total de 135 dias. Na primeira fase do desenvolvimento, o perfilhamento iniciou 19 dias após o plantio e teve duração aproximada de 26 dias. Na segunda fase, o alongamento, teve duração de 26 dias. Na fase seguinte, o espigamento, ocorreu no período de 22 dias e a última fase, a maturação, compreendeu 42 dias (**Figura 1**).

As maiores taxas de crescimento em altura foram observadas entre o início do alongamento (estádio 6) e, aproximadamente, o início do espigamento (10.2).

O número de plantas por área apresentou valor máximo próximo ao início do desenvolvimento da cultura, diminuindo ao longo do tempo, até atingir o mínimo na maturação final.

Foi observado no início do ciclo de desenvolvimento da cultura um aumento acentuado no número de folhas por planta até atingir o máximo e, posteriormente, um declínio contínuo até o valor mínimo no ponto de colheita.

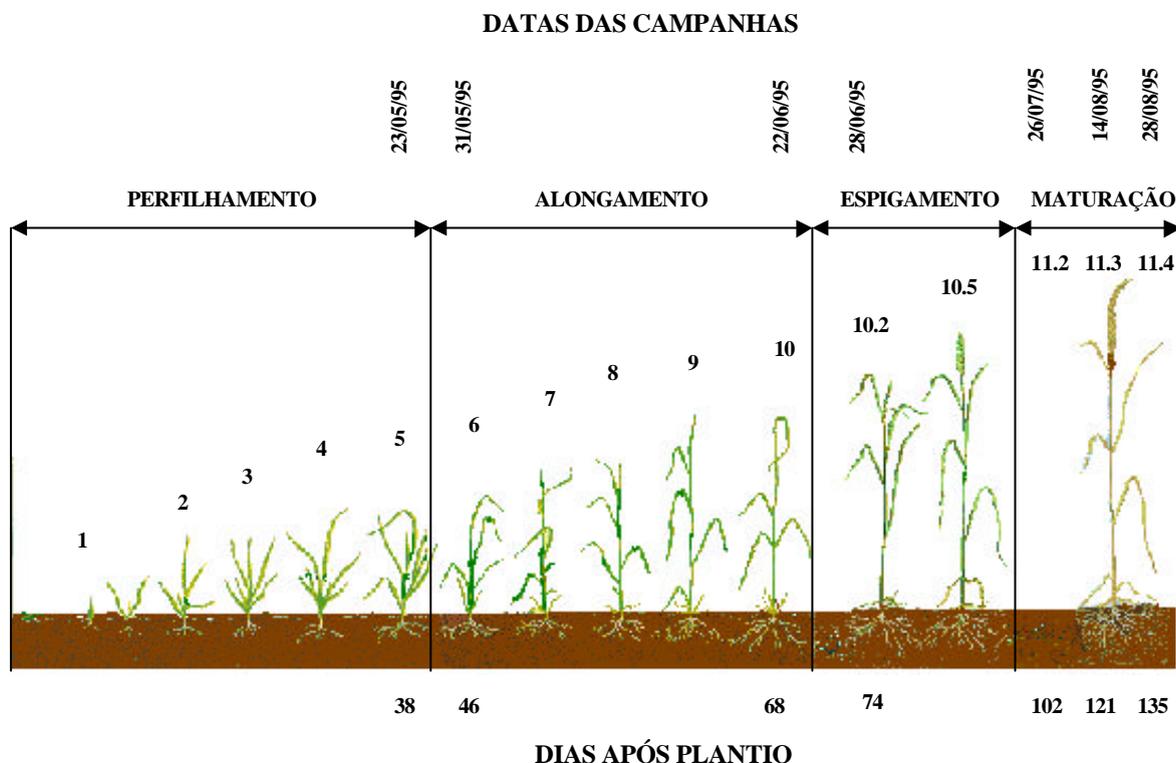


FIGURA 1 - Estádios de desenvolvimento do trigo na escala de Feekes e datas correspondentes das campanhas de campo. Adaptado de ilustração de Large (1954).

Foi observado um crescimento acentuado próximo ao início do ciclo da cultura até meados da metade do ciclo, quando começou a se estabilizar, atingindo o máximo de produção de matéria fresca da planta por unidade de área e, posteriormente, decresceu até o ponto de colheita. Este resultado é concordante com os obtidos por Baret (1986), Formaggio (1989) e Valeriano (1992).

A acumulação de matéria seca da planta por área foi crescente desde o início do período experimental até o máximo observado na fase de maturação fisiológica e, depois, um pequeno decréscimo até a maturação final.

Foi observado um crescimento em área foliar por planta na fase inicial do período experimental, até atingir o máximo observado no emborrachamento - estágio 10, aos 68 DAP, com 252,24cm²/planta, e, depois, foi observado um decréscimo até a maturação final.

Foi observado um crescimento do índice de área foliar (IAF) desde o início do período experimental até o máximo, obtido em meados da metade do ciclo de desenvolvimento, e, depois, decréscimo até a maturação final. O máximo de IAF corresponde à máxima atividade fotossintética, ocorrida no espigamento (10.2). Após esse período, o IAF decresceu devido à senescência das folhas, embora a atividade fotossintética e a produção de biomassa fresca continuasse um pouco mais, até o início da fase de maturação da cultura (11.2).

A reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (acima de 725nm), utilizada geralmente como indicativo da atividade biológica das plantas, apresentou tendência crescente à medida que a porção verde das plantas aumentava, com o desenvolvimento da cultura. A máxima reflectância na porção do infravermelho próximo foi observada no início do processo

de espigamento (10.2), aos 74 DAP. Posteriormente, os valores de fator de reflectância decresceram com o avanço no processo de formação das espigas, florescimento e maturação da cultura. Durante a senescência, o fator de reflectância do dossel aumentou no visível e decresceu no infravermelho próximo, provocado pelo amarelecimento da planta.

O NDVI é o índice de vegetação mais comumente utilizado com os dados do NOAA-AVHRR. No comportamento sazonal do NDVI da cultura, foi observado que a partir do perfilhamento ocorreu um rápido desenvolvimento vegetativo até o ponto máximo no início do espigamento (10.2), no valor de 0,89, seguida de pequena redução até a maturação média (11.2) e, depois, nos estádios de florescimento e maturação ocorreu uma redução mais acentuada no NDVI, até a maturação final (11.4), no valor de 0,43. Esse comportamento é semelhante ao observado por Quarmby et al. (1993), indicando que os estádios de crescimento inicial e de maturação seriam, desta forma, os mais críticos para a estimativa da produtividade.

O TVI foi menos sensível (menor amplitude de valores) que o NDVI, principalmente nos estádios iniciais de crescimento, entre o perfilhamento (5) e início do alongamento (6) e no estádio de maturação, entre o início da maturação (11.2) e a maturação final (11.4). Nos estádios intermediários, TVI e NDVI tiveram comportamentos muito semelhantes. O valor máximo de TVI foi de 1,18, alcançado no início do espigamento (10.2) e valor mínimo de 0,96, na maturação final (11.4).

O RATIO foi mais sensível que o NDVI em todo o ciclo de crescimento da cultura. O valor máximo foi de 17,64, no início do espigamento (10.2) e valor mínimo de 2,51 na maturação final. Esse comportamento foi em parte diferente de Gupta (1993), pois esse autor observou que entre os estádios de alongamento à maturação de grãos leitosos e duros, a taxa de crescimento do RATIO e do NDVI foi semelhante, o que não foi observado neste estudo.

As melhores correlações estatísticas entre as variáveis biofísicas e espectrais foram observadas entre o espigamento e a maturação média. Tucker et al. (1980) observaram que as melhores correlações ocorreram nos estádios anteriores, entre o alongamento e o florescimento e Ahlrichs e Bauer (1983) encontraram nos estádios entre o perfilhamento e o florescimento, ambos utilizando as bandas do Landsat.

Os efeitos atmosféricos, mesmo para um dia sem nuvens, reduzem o contraste entre a vegetação do visível e do infravermelho próximo, portanto, geralmente reduzindo os índices de vegetação (Rondeaux, 1995). A correção atmosférica visa diminuir esses efeitos. No entanto, ao ser utilizado o modelo 5S de correção atmosférica, observou-se que erros mínimos nas estimativas do vapor d'água e de ozônio e da espessura óptica dos aerossóis produzem um erro relativamente significativo, tanto nos valores de fator de reflectância dos canais 1 e 2, como nos índices de vegetação calculados a partir deles.

4. Conclusões

O comportamento espectral na faixa do comprimento de onda do infravermelho próximo demonstrou ser um bom indicador do desenvolvimento da cultura. A reflectância no infravermelho próximo apresentou tendência crescente à medida em que a porção verde das plantas aumentava, com o máximo valor observado no início do processo de espigamento, coincidindo com o máximo IAF ($3,85\text{cm}^2/\text{cm}^2$). Posteriormente, os valores de fator de reflectância decresceram com o avanço no processo de formação das espigas, florescimento e maturação da cultura.

Os dados orbitais foram, em geral, sempre menores que os dados espectrais obtidos da radiometria de campo. Essas diferenças podem ser resultantes dos efeitos atmosféricos, não totalmente eliminados pelo processo de correção atmosférica e também da dificuldade de se

relacionar medidas de amostras de pequenas áreas de terreno com grandes áreas de um pixel NOAA-AVHRR.

Referências

Ahlrichs, J. S.; Bauer, M. E. Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. *Agron. J.*, v. 75, p. 987-993, 1983.

Baret, F. *Contribution au suivi radiometrique de cultures de cereales*. Paris: Centre D'Orsay, 1986. 186p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universite de Paris-Sud, 1986.

Baret, F.; Champion, I.; Guyot, G. et al. Monitoring wheat canopies with a high spectral resolution radiometer. *Remote Sens. Environ.*, v. 22, p. 367-378, 1987. Curran, P.J. *Principles of remote sensing*. London: Logman Scientific, 1985. 260 p.

CSBPT – COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. *Indicações técnicas da comissão sul-brasileira de pesquisa de trigo – 2001*. Passo Fundo: Reunião da CSBPT, 8, 2001. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br>>. Acesso em: 03 set. 2001.

Gupta, R. K. Comparative study of AVHRR ratio vegetation index and normalized difference vegetation index in district level agricultural monitoring. *Int. J. Remote Sensing*, v. 4, n. 1, p. 53-73, 1993.

Large, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*, v. 3, p. 128-129, 1954.

Leamer, R. W.; Noriega, J. R.; Gerbermann, A. H. Reflectance of wheat cultivars as related to physiological growth stages. *Agron. J.*, v. 72, p. 1029-1032, 1980.

Quarmby, N. A.; Milnes, M.; Hindle, T. L. et al. The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. *Int. J. Remote Sensing*, v. 14, n. 2, p. 199-210, 1993.

Quarmby, N. A.; Townshend, J. R. G.; Sette, J. J. et al. Linear mixture modelling applied to AVHRR data for crop area estimation. *Int. J. Remote Sensing*, v. 13, n. 3, p. 415-425, 1992.

Rondeaux, G. Vegetation monitoring by remote sensing: a review of biophysical indices. *Photo-Interpretation*, v. 33, n. 1995/3, p. 197-216, 1995.

Tucker, C. J.; Holben, B. N.; Elgin, J. H. JR. et al. Relationship of spectral data to grain yield variation. *Photogram. Engr. and Remote Sensing*, v. 46, n. 5, p. 657-666, 1980.

Valeriano, M. M. *Reflectância espectral do trigo irrigado (Triticum aestivum, L.) por espectrorradiometria de campo e aplicação do modelo Sail*. São José dos Campos: INPE, 1992. 127p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.