

VARIAÇÃO ESPECTRAL E EFICIÊNCIA DE USO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA EM ENSAIO COM GENÓTIPOS DE TRIGO⁽¹⁾

MAURICIO ALVES MOREIRA⁽²⁾; BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDORFF⁽²⁾;
JOÃO CARLOS FELÍCIO⁽³⁾; JOSÉ GUILHERME DE FREITAS⁽³⁾; MARCELO DOS SANTOS TARGA⁴

RESUMO

Medidas de radiometria de campo são utilizadas para quantificar a variação espectral e a eficiência de uso da radiação solar na produção de fitomassa (ϵ_F), em um experimento com 20 genótipos de trigo, cultivado na área experimental da Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, durante o período de maio a outubro de 1999. A cultura foi irrigada em intervalos semanais, visando manter o solo próximo à capacidade de campo. Foram obtidas oito medidas do fator de refletância da cultura do trigo, entre a emergência das plântulas e a maturação fisiológica dos grãos com o radiômetro Spectron SE-590. Essas medidas foram transformadas no índice de vegetação com diferença normalizada (IVDN) e, juntamente com dados de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), foram utilizadas no cálculo da RFA absorvida acumulada (RFAAA) ao longo do ciclo da cultura, a fim de estimar os valores de ϵ_F . Pelo resultado, em ϵ_F observou-se significativa variação entre genótipos, a técnica de radiometria de campo é uma ferramenta promissora na identificação de genótipos com maior ϵ_F , e ainda, para produção de fitomassa, o aproveitamento da radiação, no processo fotossintético, é bem mais relevante do que a RFAAA.

Palavras-chave: trigo, sensoriamento remoto, eficiência de uso da radiação, produção de biomassa.

ABSTRACT

SPECTRAL VARIATION AND RADIATION USE EFFICIENCY IN A WHEAT GENOTYPE TRIAL

Field radiometry measurements are used to quantify the spectral variation and the solar radiation use efficiency of biomass production (ϵ_F), in an experiment with 20 wheat genotypes cultivated at the experimental site of the University of Taubaté in Taubaté, São Paulo State, Brazil, during the period from May to October of 1999. The crop was irrigated on a weekly basis in order to supply water close to soil field capacity. Eight radiometric measurements were taken with the field spectroradiometer Spectron SE-590, from plant emergency through physiological grain maturity. These measurements were transformed into the normalized difference vegetation index (NDVI) that, along with the photosynthetic active radiation (PAR) data, were used to calculate the accumulated absorbed PAR (AAPAR) over the crop growing season in order to estimate the values of ϵ_F . The result showed that ϵ_F presented a significant variation among genotypes and that the field radiometric technique is a promising tool to identify genotypes with high ϵ_F , and furthermore, for biomass production, the use of solar radiation, in the photosynthetic process, is much more relevant than AAPAR.

Key words: wheat, field radiometry, remote sensing, radiation use efficiency, biomass production

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 19 de agosto de 2004 e aceito em 28 de março de 2005. Trabalho parcialmente financiado pela FAPESP (Processo N° 97/11075-7).

⁽²⁾ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Sensoriamento Remoto, Av. dos Astronautas, 1.758, 12227-010 São José dos Campos, SP. E-mail: mauricio@ltid.inpe.br; bernardo@ltid.inpe.br

⁽³⁾ Instituto Agrônômico (IAC), Av. Barão de Itapura, 1.481, 13020-902 Campinas (SP). E-mail: jfelicio@iac.sp.gov.br, jfreitas@iac.sp.gov.br

⁽⁴⁾ Universidade de Taubaté (UNITAU), Departamento de Ciências Agrárias, Estrada Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000, 12081-010 Taubaté (SP). E-mail: m.targa@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

As medidas de radiometria de campo na agricultura são frequentemente utilizadas em estudos, que relacionam a radiação solar refletida pelas culturas com variáveis agronômicas (DEERING, 1989), tais como: índice de área foliar (IAF), fitomassa, fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (f_A) (ASRAR et al., 1984). A f_A é uma variável importante em modelos de crescimento de culturas agrícolas (GOUDRIAAN e LAAR, 1994). Pode ser estimada a partir da radiação refletida, em bandas espectrais, das regiões do visível (vermelho; 630 a 690 nm) e do infravermelho próximo (780 a 900 nm), transformadas matematicamente em índice, tal como o índice de vegetação com diferença normalizada (IVDN) (TUCKER, 1979). Por meio da soma diária do produto entre a f_A e a RFA (radiação fotossinteticamente ativa) incidente no topo da cultura, pode-se estimar a quantidade de RFA absorvida acumulada (RFAAA) ao longo do ciclo da cultura.

A razão entre o valor da fitomassa seca da parte aérea e o valor da RFAAA determina a eficiência de uso da radiação ou eficiência fotoquímica da cultura (DAUGHTRY et al., 1992), variável que auxilia na seleção de genótipos mais eficientes na conversão da energia solar em química. Assim, é importante o conhecimento sobre a variação espectral entre genótipos, ao longo da estação de crescimento e sua relação com variáveis agronômicas.

HATFIELD (1981), em estudo sobre a variação espectral de oitenta e dois genótipos de trigo, entre a fase de emborrachamento e ponto de colheita, observou que durante o período de enchimento de grãos ocorreu a maior variabilidade na resposta espectral dos genótipos. Resultado similar foi observado por PINTER JR. et al. (1985), em estudo de radiometria de campo sobre o efeito do ângulo de elevação solar e da arquitetura do dossel na reflectância de seis genótipos de trigo. Os autores concluíram que a reflectância de dosséis de trigo não é apenas função de variáveis agronômicas, como IAF ou fitomassa verde, mas também altamente dependente da geometria de incidência da radiação solar e sua interação com as características da arquitetura dos dosséis vegetativos; verificaram-se nas medidas de reflectância obtidas próximo ao meio dia diferenças máximas entre cultivares para as bandas do infravermelho próximo, enquanto para as bandas do visível as diferenças foram mínimas nesse horário.

No Brasil, não se tem conhecimento do uso das técnicas de sensoriamento remoto e de radiometria de campo, como ferramenta auxiliar na seleção de genótipos, de tal forma que o objetivo desta pesquisa

foi avaliar a variação espectral e a eficiência de uso da radiação solar na produção de fitomassa em genótipos de trigo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido sob condições de campo, na área experimental do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté (UNITAU), em Taubaté, São Paulo, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 22° 54' S, longitude de 45° 33' W e altitude de 600 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical de altitude, com inverno seco e chuvas de verão).

O solo da área em estudo corresponde ao Latossolo (EMBRAPA, 1999). O delineamento estatístico foi em blocos ao acaso, com 20 genótipos de trigo e 4 repetições. A semeadura foi realizada em 1.º de maio de 1999, em parcelas com dimensões de 3,0 m x 2,0 m. Utilizou-se espaçamento de 20 cm entre linhas, com 80 sementes viáveis por metro. A adubação de macro e micronutrientes baseou-se na análise de solo coletada na área de estudo, e de acordo com tabela de recomendação de adubação para a cultura do trigo, para o Estado de São Paulo (IAC, 1999).

A irrigação foi realizada por aspersão, para repor as perdas de água e manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo. Para o cálculo da lâmina de água evapotranspirada a ser repostada nos talhões de trigo, empregou-se o manejo de irrigação recomendado pelo Boletim Técnico 167 (IAC, 1999), que tem por base a evaporação do tanque classe A e a necessidade de água da cultura.

O fator de reflectância do dossel do trigo foi obtido semanalmente, ou conforme as condições meteorológicas permitiram, sob condições de céu claro no horário entre 11 e 12h, desde a emergência das plântulas até a maturação dos grãos. Utilizou-se o radiômetro portátil de campo, modelo SE-590 (Spectron Inc. EUA), que opera em 252 bandas espectrais na faixa de 350 a 1150 nm do espectro eletromagnético (STEFFEN, 1993). O instrumento foi fixado em mastro de alumínio, a cerca de 3 m acima da estatura média das plantas, e utilizou-se uma lente com ângulo de visada de 15°, que permitiu obter a radiância do dossel em uma área de 0,5 m². No início e no fim de cada bloco, mediu-se a radiância refletida de uma placa-padrão de sulfato de bário (BaSO₄), a fim de possibilitar o cálculo do fator de reflectância (FR), que é a razão entre a radiância espectral da amostra (cultura) e da placa-padrão, medida na mesma

condição de iluminação e observação (MILTON, 1987). A partir dos valores espectrais do FR foram computados os valores do FR, em intervalos de comprimento de onda correspondente às bandas TM1 (azul; 450 a 520 nm), TM2 (verde; 530 a 610 nm), TM3 (vermelho; 630 a 690 nm) e TM4 (infravermelho próximo; 780 a 900 nm), do sensor TM (Thematic Mapper) a bordo do satélite Landsat, cujas imagens são amplamente utilizadas em estudos agrícolas de sensoriamento remoto. Com os valores das bandas TM3 e TM4 foi computado o índice de vegetação com diferença normalizada (IVDN) (TUCKER, 1979):

$$\text{IVDN} = \frac{\text{TM4} - \text{TM3}}{\text{TM4} + \text{TM3}} \quad (1)$$

Os valores do IVDN, obtidos nas várias datas de coleta de medidas radiométricas, foram empregados na análise de correlação com dados de produção de fitomassa seca total da parte aérea, por ocasião da colheita. As medidas de campo, com coeficientes de correlação (r) mais elevados, foram utilizadas tanto para indicar o estágio de desenvolvimento em que a resposta espectral do trigo, representada pelo IVDN, melhor se relaciona com a fitomassa seca total da parte aérea, quanto para avaliar a variação espectral dos genótipos por meio da análise de agrupamento. Nessa análise, utilizou-se, como medida de dissimilaridade, a distância euclidiana e, como método hierárquico aglomerativo, o método de Ward. Por meio desse método, foi estabelecido o dendograma que permitiu verificar o grau de similaridade entre genótipos e grupos similares, ou entre grupos distintos, em termos dos valores médios do fator de reflectância dos genótipos, nas bandas TM1, TM2, TM3 e TM4. As análises de agrupamento foram realizadas utilizando-se o programa STATISTICA for Windows (STATSOFT Inc., 2002).

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa para produção de fitomassa seca total da parte aérea (ϵ_F), para cada genótipo, foi obtida pela razão entre a fitomassa seca total da parte aérea e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (RFAAA) ao longo do ciclo da cultura, conforme equação abaixo:

$$\epsilon_F = \frac{\text{Produção de fitomassa seca total da parte aérea (g m}^{-2}\text{)}}{\text{RFAAA (MJ m}^{-2}\text{)}} \quad (2)$$

Estimou-se a RFAAA pelo somatório dos valores diários da RFA absorvida (RFAA; Equação 3), desde a emergência das plântulas, para o qual foi estipulado o valor de IVDN de 0,15 (solo exposto), até

a maturação fisiológica das plantas, quando o IVDN atingiu o valor de 0,5 (RUDORFF e BATISTA, 1990). A RFAA foi estimada a partir do produto entre a f_A (Equação 4) e a RFA medida em uma estação meteorológica a poucos metros da área experimental (DAUGHTRY et al., 1992):

$$\text{RFAA}_{\text{Diária}} = f_A \cdot \text{RFA}_{\text{Diária}} \quad (3)$$

Os valores diários do IVDN (Equação 1), interpolados linearmente entre datas consecutivas de medidas radiométricas, foram utilizados para estimar a f_A conforme a seguinte equação (ASRAR et al., 1984):

$$f_A = -0,109 + 1,253 \text{ IVDN} \quad (4)$$

A colheita do trigo foi realizada na parte central de cada unidade experimental, desprezando-se duas linhas de cada lado e 0,5 m no comprimento, para evitar o efeito de bordadura. Na análise de variância da RFAAA, ϵ_F e fitomassa da parte aérea das plantas aplicou-se o teste Duncan ($\mu = 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos estádios de florescimento e no início de enchimento de grãos ocorreram os mais altos coeficientes de correlação, da análise entre o IVDN e a produção final de fitomassa seca total da parte aérea (Tabela 1; Figura 1). Considerando que esse índice é coletado remotamente, podendo ser obtido para grandes regiões por meio de imagens de satélites de sensoriamento remoto, o resultado é bastante positivo, concordando com aqueles obtidos por RUDORFF e BATISTA (1991). HATFIELD (1981) também observou os mais altos coeficientes de correlação e a maior variabilidade na resposta espectral de genótipos de trigo, no estágio de enchimento de grão. Outro aspecto favorável na escolha dos estádios de florescimento e do início de enchimento de grãos é que o dossel das plantas está bem desenvolvido e a contribuição dos efeitos do solo, na reflectância, é mínima; além disso, as folhas superiores ainda não amareleceram (BARET et al., 1987).

Com base na distância euclidiana do FR médio nas bandas TM1, TM2, TM3 e TM4, os 20 genótipos de trigo foram distribuídos em três grupos no estágio de florescimento e dois grupos no de enchimento de grãos (Figura 2).

Apesar da aparente dissimilaridade entre os grupos, não foi possível separar esses mesmos grupos quando se utilizou o valor do FR de cada parcela amostral, conforme a figura 3, por meio do desvio-padrão de cada grupo.

Tabela 1. Data de coleta de dados radiométricos, estágio fenológico e coeficiente de correlação entre IVDN (índice de vegetação com diferença normalizada) e fitomassa total da parte aérea

Data da coleta	Estádio fenológico	r
16/5	Emergência das plântulas	0,49
25/5	Planta com 3 folhas	0,66
1.º/6	Início do perfilhamento	0,68
22/6	Final do emborrachamento	0,68
29/6	Florescimento	0,73
14/7	Enchimento de grãos	0,79
25/7	Grão pastoso	0,65
11/8	Maturação dos grãos	0,67

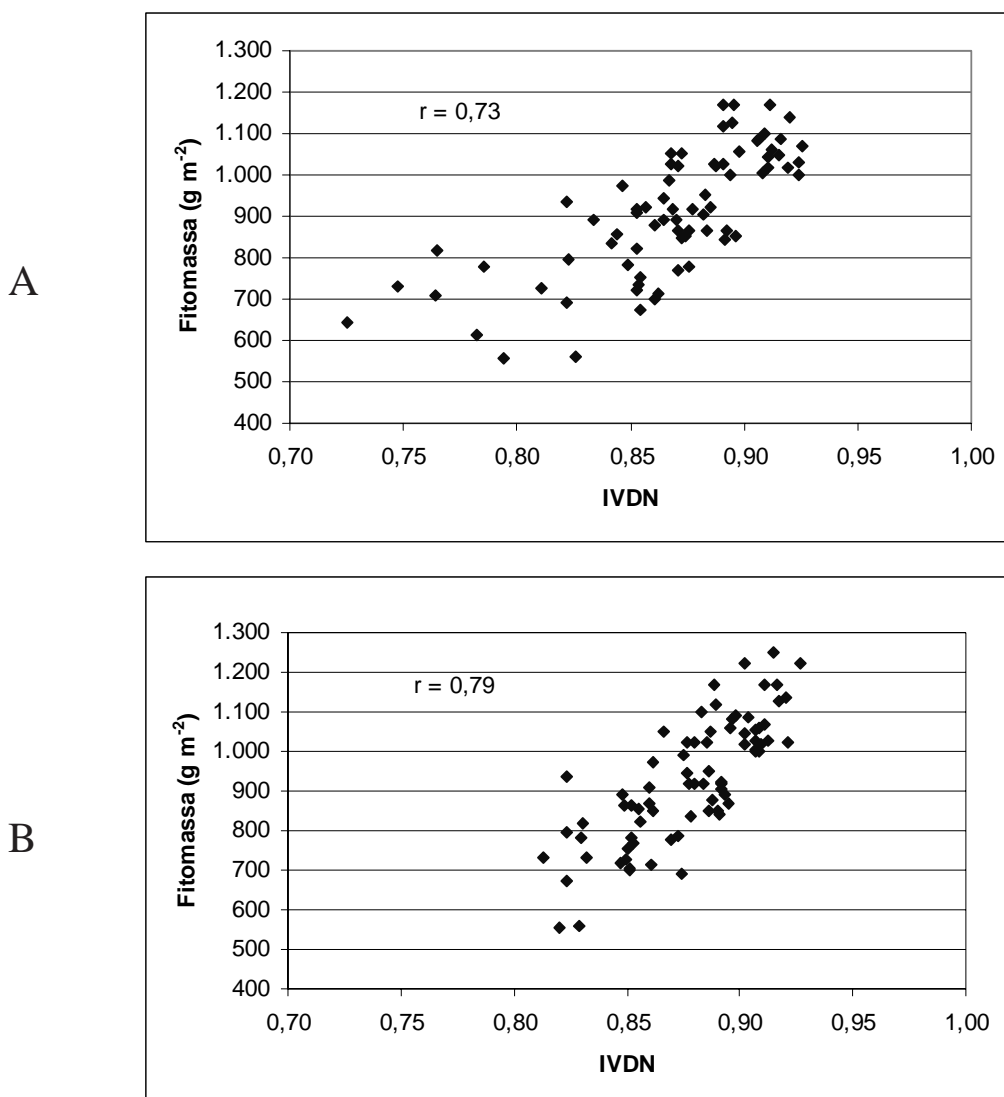


Figura 1. Correlação entre IVDN (índice de vegetação com diferença normalizada) e produção de fitomassa (g m^{-2}), para os estádios de florescimento (A; 29 de junho) e enchimento de grãos (B; 14 de julho).

Esse fato ocorre devido à variabilidade na resposta espectral entre parcelas de um mesmo genótipo ser maior do que a variação espectral entre genótipos devido a uma série de fatores, tais como: diferenças no estágio fenológico (AHLRICHS e BAUER, 1983); diferentes condições de vento ao longo da obtenção das medidas radiométricas (MARLOIE, et al., 2001); diferença na posição do radiômetro dentro da parcela; e geometria de iluminação (PINTER JR. et al., 1985).

Pela figura 4a, verifica-se que a RFAAA tem uma correlação significativa com a produção de fitomassa seca total da parte aérea ($r = 0,78$). Contudo, a correlação entre RFAAA e ϵ_F é bem inferior ($r = 0,44$)

posto que o aumento da radiação solar absorvida está pouco relacionado com a eficiência de conversão da energia solar em química, ou seja, mesmo que a arquitetura do dossel de um genótipo favoreça a absorção da radiação solar incidente, é necessário que a conversão dessa radiação em fotoassimilados seja equivalente. Na tabela 3, nota-se que os valores médios da ϵ_F para os genótipos analisados variaram em até 31% (1,85 a 2,66 g MJ⁻¹) enquanto os valores médios de RFAAA variaram em apenas 18% (353 a 431 MJ m⁻²). A grande variação nos valores de ϵ_F contraria a afirmação de que esse valor é relativamente constante para uma dada espécie (MONTEITH, 1977).

Tabela 2. Agrupamento dos genótipos em função da resposta espectral nas bandas TM1, TM2, TM3 e TM4, para os estádios de florescimento (29 de junho) e enchimento de grãos (14 de julho)

Agrupamento Espectral	Número dos Genótipos*	
	Florescimento (29 de junho)	Enchimento de grãos (14 de julho)
1	2, 4, 11, 12	2, 4, 6, 8, 11, 12, 17, 20
2	5, 7, 9, 15, 20	1, 3, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 18, 19
3	1, 3, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19	-

* Número do genótipo conforme apresentado na Tabela 3.

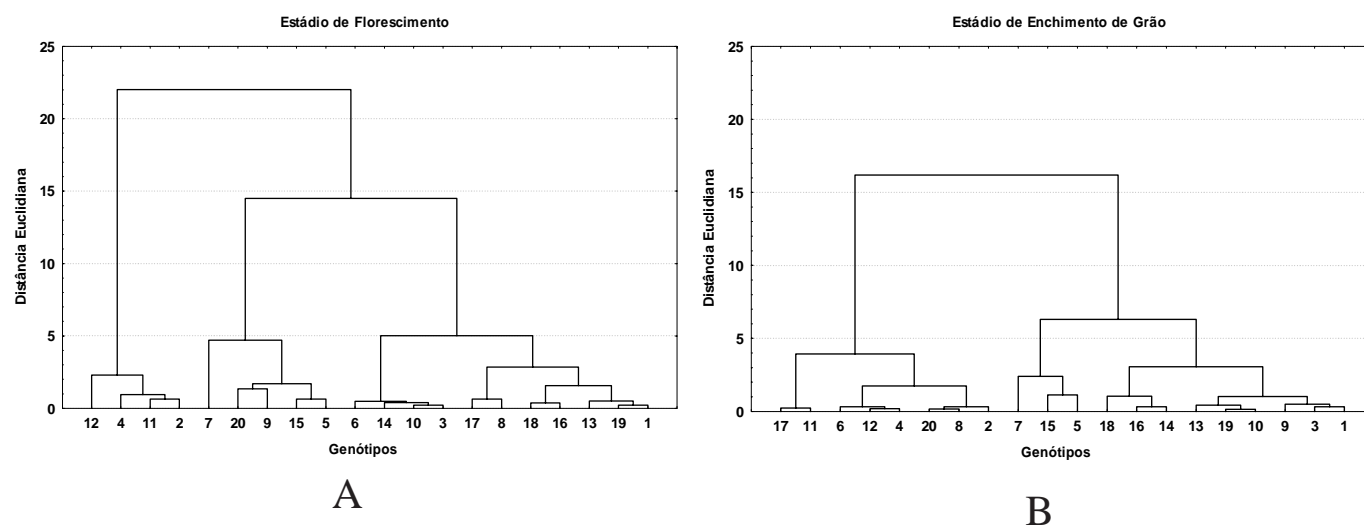


Figura 2. Dendrograma de similaridade, estabelecido pela análise de agrupamento pelo método hierárquico de Ward, com base na distância euclidiana do FR médio dos genótipos, nas bandas TM1 (450 a 520 nm), TM2 (530 a 610 nm), TM3 (630 a 690 nm) e TM4 (780 a 900 nm), nos estádios fenológicos de florescimento (A) e enchimento de grãos (B). Número dos genótipos conforme Tabela 3.

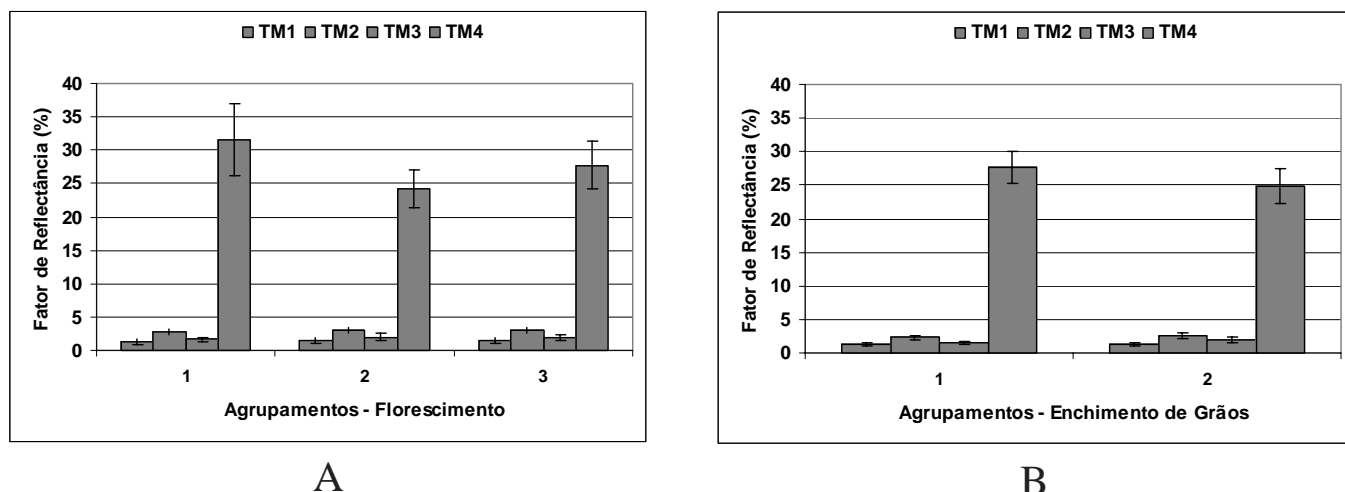


Figura 3. Resposta espectral nas bandas TM1 (450 a 520 nm), TM2 (530 a 610 nm), TM3 (630 a 690 nm) e TM4 (780 a 900 nm), dos grupos de genótipos de trigo (Tabela 3), nos estádios fenológicos de florescimento (A) e enchimento de grãos (B).

As maiores produções de fitomassa seca não foram observadas para os genótipos com maior capacidade de absorção da radiação, mas para os genótipos com alta eficiência de uso dessa radiação. Por exemplo, os genótipos Kauz*2 / Chen // BCN (14) e IAC 373 (20) tiveram a menor e maior eficiência de uso da radiação respectivamente. Contudo, a RFAAA não diferiu significativamente, ao passo que a produção de fitomassa do IAC 373 (20) foi 36,5% superior ao Kauz*2 / Chen // BCN (14) (Tabela 3). Como exemplo, pode-se observar por meio da comparação entre os genótipos Ana (19) e IAC-373 (20). Em ambos não houve diferença significativa na RFAAA; todavia, a produção de fitomassa difere significativamente, pois a ϵ_F do genótipo IAC-373 (20) é significativamente superior ao genótipo Ana (19).

Resultado semelhante pode ser observado por meio da comparação dos genótipos Anahuac/IAC-227 (18) e Kauz*2 / Chen // BCN (14). A correlação entre a ϵ_F e a produção de fitomassa seca total da parte aérea é bastante elevada ($r = 0,91$), confirmando que as diferenças na produção de fitomassa estão mais relacionadas com a ϵ_F do que com a RFAAA, conforme também observaram CHAPMAN e EDMEADES (1996), em estudo de linhagens de milho (Figura 4b). Portanto, aspectos relacionados à arquitetura da planta, espaçamento entre plantas, disposição das linhas de plantio e outros, que visam aumentar a absorção da RFA incidente, devem considerar também a eficiência com que essa radiação absorvida é convertida em fotoassimilados e direcionada para a produção de grãos.

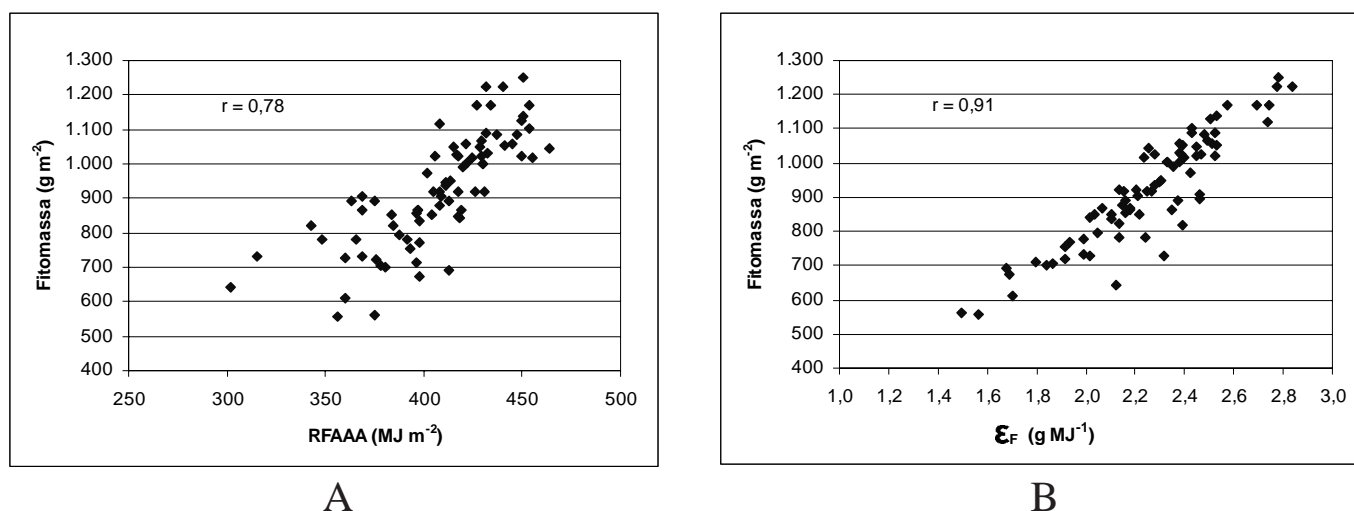


Figura 4. Correlação da fitomassa seca total da parte aérea das plantas (g m^{-2}) com: A) Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida Acumulada (RFAAA; MJ m^{-2}) e B) eficiência de uso da radiação (ϵ_F ; g MJ^{-1}).

Tabela 3. ANOVA dos genótipos para médias de fitomassa total da parte aérea (g m^{-2}), radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAAA; MJ m^{-2}) e eficiência de uso da radiação (ϵ_F ; g MJ^{-1})

N.º	Nome do genótipo	Fitomassa	RFAAA	ϵ_F
1	IAC 24	931 bcde	410 abcd	2,27 cdefgh
2	IAC 289	998 abc	431 a	2,32 bcdefg
3	IAC 315	910 bcde	420 abc	2,16 efghi
4	IAC 350	1073 ab	427 abc	2,51 abc
5	IAC 351	832 cdefg	370 ef	2,26 cdefgh
6	IAC 370	974 abcd	416 abcd	2,34 abcde
7	IAC 339	796 efg	391 cde	2,04 fghij
8	IAC 364	1076 ab	429 ab	2,51 abc
9	Mochis	962 bcde	430 a	2,24 cdefgh
10	ATTILA	810 defg	407 abcd	1,98 hij
11	Kauz / CMH77.308 // Baú	1003 abc	417 abcd	2,39 abcde
12	Munia // Chen / Altar 85	972 abcd	425 abc	2,28 bcdefgh
13	Chil / 2*Star	859 cdef	400 abcde	2,14 efghi
14	Kauz*2 / Chen // BCN	726 fg	392 bcde	1,85 j
15	Kauz *2 / Yaco // Kauz	672 g	353 f	1,91 ij
16	Hahn / Turaco // Turaco	790 efg	386 de	2,03 ghij
17	Uhu "S" / Seri 82	1054 ab	409 abcd	2,57 ab
18	Anahuac / IAC 227	974 abcd	391 bcde	2,47 abc
19	Ana (Tol AL)	940 bcde	427 abc	2,19 defghi
20	IAC 373	1143 a	423 ab	2,66 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Duncan.

4. CONCLUSÃO

A técnica de radiometria de campo, como ferramenta auxiliar na seleção de genótipos, é promissora na identificação de genótipos com diferentes eficiências de uso da radiação, visto que o aproveitamento da radiação solar absorvida pelas plantas (ϵ_F) é bem mais relevante do que a absorção da radiação solar (RFAAA) na produção de fitomassa, uma vez que a ϵ_F apresentou significativa variação entre genótipos.

AGRADECIMENTOS

À Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento do projeto número 97/11075-7 que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AHLRICH, J.S.; BAUER, M.E. Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. *Agronomy Journal*, Madison, v. 75, p. 987-993, 1983.
- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; HATFIELD, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v.76, n.2, p.300-306, 1984.
- BARET, F.; CHAMPION, I.; GUYOT, G.; PODAIRE, A. Monitoring wheat canopies with high spectral resolution radiometer. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 22, p.367-378, 1987.
- CHAPMAN, S.C.; EDMEADES, G.O. Differences in radiation use efficiency among lines in a tropical maize population. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 8., 1996, Toowoomba. *Proceedings...* Gosford: The Regional Institute, 1996. 5 p.

- DEERING, W.D. **Field measurements of bidirectional reflectance**. In: Theory and Applications of Optical Remote Sensing. New York: Wiley, 1989. p. 14-65.
- DAUGHTRY, C.S.T.; GALLO, K.P.; GOWARD, S.N.; PRICE, S.D.; KUSTAS, W.P. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.39, p.141-152, 1992.
- EMBRAPA: Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H.H. Modelling potential crop growth processes - Textbook with exercises. In: LEFFELAAR, P.A. (Ed.). Current Issues in Production Ecology, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994. v. 2, 238 p.
- HATFIELD, J.L. Spectral behavior of wheat yield variety trials. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, London, v.47, p.1487-1491, 1981.
- INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). **Trigo: recomendações**. 2.ed. Campinas: IAC, 1999. 100p. (Boletim Técnico, 167).
- MILTON, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.8, n.12, p. 1807-1827, 1987.
- MARLOIE, O.; KÖTZ, B.; BRUGUIER, N.; BARET, F. Influence of the wind on canopy reflectance. The case of maize and wheat crops. In: SYMPOSIUM ON PHYSICAL MEASUREMENTS AND SIGNATURES IN REMOTE SENSING, 8., 2001, Aussois. **Proceedings... ISPRS**, 2001. 6p.
- MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, B281, p. 277-294, 1977.
- PINTER JR., P.J.; JACKSON, R.D.; EZRA, C.E.; GAUSMAN, H.W. Sun-angle and canopy-architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.6, n.12, p.1813-25, 1985.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Spectral response of wheat and its relationship with agronomic variables in the tropical region. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.31, p.53-63, 1990.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Wheat yield estimation at the farm level using Landsat TM and agrometeorological data. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.12, p. 2477-2484, 1991.
- STEFFEN, C.A. Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE/SELP, 1993. 7p.
- STATSOFT INC. **Statistica for Windows: version 2.0**. Tulsa, Estados Unidos, 2002.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 8, n.2, p.127-150, 1979.