



MEMORIAS DEL

WILSON

DEL

DEL

DEL

EFEITO DO NITROGÊNIO E DO DÉFICIT HÍDRICO NA RESPOSTA ESPECTRAL DE CULTIVARES DE TRIGO

Bernardo F. T. Rudorff e Mauricio Alves Moreira

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12.201-970, São José dos Campos, SP, Brasil
E-mail: <bernardo@ltid.inpe.br>; <mauricio@ltid.inpe.br>

Antonio F. P. Oviedo

Universidade de Taubaté
Estrada Dr. José Luiz Cambranelli, 5000, Taubaté, SP, Brasil
E-mail: smajac@iconet.com.br

José Guilherme de Freitas

Instituto Agronômico
Caixa Postal 28, 13.001-970, Campinas, SP, Brasil
E-mail: <jfreitas@cec.iac.br>

RESUMO

Foi realizado um experimento de campo para verificar o efeito do déficit hídrico (reposição de 100%, 50% e 25% da água evapotranspirada) e da adubação nitrogenada (0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio) em dois cultivares de trigo (IAC-24 e IAC-287). O estudo foi conduzido na fazenda experimental da Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, SP para demonstrar a viabilidade da produção do trigo como cultura alternativa, na região do Vale do Paraíba, durante a estação de inverno quando, em geral, ocorre uma deficiência hídrica, sendo necessária a suplementação de água, especialmente, em estádios críticos de crescimento e desenvolvimento. Como parte deste experimento foram realizadas medidas de radiometria de campo, com o Spectron SE-590. O valores de reflectância correspondentes às bandas 3 e 4 do sensor TM foram utilizadas para obter os valores do índice vegetativo da diferença normalizada (NDVI). De um modo geral as interações para os valores de NDVI não foram significativas, exceto para irrigação x cultivar na fase de floração, indicando que o déficit hídrico teve efeito mais pronunciado nos valores do NDVI para o cultivar IAC-287 do que para cultivar IAC-24. A partir da fase de floração o déficit hídrico reduziu os valores de NDVI. Não foi constatada diferença nos valores de NDVI para as doses de nitrogênio (N) de 60 e 120 kg ha⁻¹. Entretanto, a não aplicação de N reduziu os valores de NDVI desde a fase de perfilhamento. Apenas a interação irrigação x nitrogênio foi significativa para a radiação absorvida e acumulada (RAA) pela cultura, indicando que a contínua redução de água para a cultura diminui a RAA. Por outro lado, a RAA não foi aumentada quando a dose de N passou de 60 para 120 kg ha⁻¹. Para o peso de grãos foi observada significativa interação para irrigação x nitrogênio, indicando que a disponibilidade de água para a cultura está relacionada com a quantidade de nitrogênio absorvido e, conseqüentemente, com a produção de grãos. Também foi observado que houve interação para irrigação x cultivar o que pode ser atribuído a uma diminuição na produção de grãos proporcionalmente maior para o cultivar IAC-287 do que para o IAC-24, em função do déficit hídrico. Foi observado que o cultivar IAC-24, em relação ao IAC-287, foi mais eficiente em absorver radiação para produção de grãos devido a sua maior resistência ao déficit hídrico.

Introdução

Técnicas de sensoriamento remoto na agricultura permitem estimar parâmetros agronômicos essenciais para a implementação de modelos de estimativa de crescimento e produtividade agrícola (Bauer, 1985). Dada a característica sinóptica dos dados de sensoriamento remoto, especialmente, aqueles obtidos por sensores a bordo de satélites, pode-se estimar esses parâmetros, para grandes áreas ou regiões, em função da quantidade de radiação refletida ou emitida pela cultura e captada pelo sensor em diferentes faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético (Henderson e Badhwar, 1984).

A radiometria de campo tem sido uma técnica bastante utilizada para o estabelecimento de relações de dados de sensoriamento remoto com parâmetros biofísicos, pois permite obter medidas, quase que diárias, ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas sob condições bem mais favoráveis em termos de influência da atmosfera quando comparado com o dado adquirido por sensores remotos a bordo de plataformas orbitais (Deering, 1989).

Instituições de pesquisas como o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) vêm dedicando esforços no melhoramento e seleção de novas variedades trigo a fim de prover o mercado de sementes com cultivares mais produtivos e adaptados às diferentes regiões agrícolas do País (Camargo et al., 1993). Com isto, vem-se observando um aumento sensível na produtividade deste cereal e um considerável aumento de seu cultivo em áreas de cerrado (Frizzone et al., 1996). A região tritícola do estado de São Paulo concentra-se nos municípios localizados no centro-oeste. A região do Vale do Paraíba possui uma vasta área de terras agricultáveis e tecnologia de cultivo com alto nível de mecanização (Kurkdjian et al., 1992). Esta região, aparentemente, é propícia para o cultivo do trigo podendo inclusive ser utilizada para produção de sementes, devido à baixa incidência de pragas e doenças do trigo nesta região.

Um dos parâmetros chaves em modelos de crescimento que se baseiam na radiação utilizada pela cultura, para produção de fitomassa, é a fração da radiação fotossinteticamente ativa e absorvida (f_A) pela cultura (Goudriaan e Laar, 1994). Diversos autores demonstraram que este parâmetro pode ser estimado a partir da radiação refletida pela cultura e convertida para o índice vegetativo da diferença normalizada (NDVI; Tucker, 1974, Asrar et al., 1984; Daughtry et al., 1992; Rudorff et al., 1996; Moreira, 1997). Com os valores diários da f_A e da radiação incidente pode-se estimar a quantidade de radiação absorvida durante o ciclo da cultura. Com base no uso da eficiência da radiação absorvida pode-se estimar a quantidade de fitomassa produzida (Daughtry et al., 1992).

Todavia, a eficiência com que a radiação absorvida é convertida para produção de fitomassa deve ser vista com cuidado (Demetriades-Shah et al., 1992). A absorção da radiação é apenas uma das muitas variáveis envolvidas no processo de produção de fitomassa e grãos. Por exemplo, irrigação e adubação nitrogenada exercem uma grande influência em diversos processos fisiológicos e bioquímicos não necessariamente ligados ao processo de absorção da radiação e que podem impor limitações ao uso exclusivo de

técnicas de sensoriamento remoto para estimar variações, em certos parâmetros biofísico (p. ex.: fração da radiação absorvida, índice de área foliar, fitomassa), decorrentes do efeito do déficit hídrico e da adubação nitrogenada.

Níveis adequados de irrigação e adubação nitrogenada que proporcionem um sinergismo destes dois fatores sobre a produção do trigo ainda necessitam de estudos mais refinados a fim de fornecer ao agricultor práticas de manejo adequadas para otimizar o uso dos recursos e obter uma produção rentável (Frizzone et al., 1996). Em experimentos de campo e em casa de vegetação foi verificado que estresse de água com adubação nitrogenada teve uma interação negativa sobre a produção de trigo (Camargo, 1976; Parameswaran et al., 1984) pois o principal mecanismo de absorção de nitrogênio é o fluxo de massa, ou seja, quanto mais água for absorvida pelas plantas de trigo, mais nitrogênio da solução do solo será absorvida (Epstein, 1975).

Na safra de inverno de 1996 foi realizado um experimento na fazenda experimental da Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, SP visando obter algumas respostas básicas e iniciais sobre o cultivo do trigo na região do Vale do Paraíba. O cultivar IAC-24 foi plantado em duas densidades e com irrigações diferenciadas em função do estágio fenológico, semelhante ao estudo realizado por Moreira (1997) em Piracicaba, SP. A partir da análise dos resultados deste estudo foi realizado o presente experimento durante a safra de inverno de 1997, através de uma cooperação entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a UNITAU e o Instituto Agrônomo (IAC). O experimento visa estudar o efeito interativo de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada na produtividade da cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L.), através de técnicas de sensoriamento remoto, e fornecer recomendações de manejo adequado para uma produção rentável e sustentável da cultura do trigo, na região do Vale do Paraíba.

3. Material e Métodos

O experimento foi realizado na fazenda experimental da Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, SP, em solo do tipo latossolo vermelho amarelo álico fase terraço. O delineamento estatístico foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com 3 repetições. Os tratamentos de irrigação foram aplicados nas parcelas de trigo de acordo com o seguinte protocolo: 1) 100% da demanda evaporativa; 2) 50% da demanda evaporativa; e 3) 25% da demanda evaporativa. A reposição da lâmina de água foi calculada segundo recomendações da CATI (1994). Até o período de ~40 dias após emergência foi mantida a demanda evaporativa de 100% para todas parcelas em função de chuvas que ocorreram neste período. A partir daí não ocorreram mais precipitações significativas que viessem a alterar o protocolo de irrigação e, portanto, não foi necessário cobrir as parcelas com 50 e 25 % da demanda evaporativa. O nitrogênio (N) foi aplicado nas subparcelas em três doses de N (0, 60 e 120 kg de N ha⁻¹) utilizando-se uréia como fonte de N. Um terço do N foi aplicado no sulco de semeadura e o restante no início do estágio de alongamento (~40 dias após a emergência das plantas, segundo recomendam Camargo et al., 1988). Os cultivares IAC-287 e IAC-24 foram semeados, no dia 09 de maio, nas sub-subparcelas (3 x 2,5 m) em área

previamente cultivada com milho. O espaçamento foi de 0,17 m nas entrelinhas com aproximadamente 80 sementes viáveis por metro linear. Não foi necessária a aplicação de defensivos agrícolas.

As medidas de radiometria de campo foram coletadas semanalmente ao longo do ciclo da cultura ou conforme as condições meteorológicas permitiram. Foi utilizado um espectrorradiômetro portátil de campo modelo SE590 (Spectron Inc., EUA), fixado num mastro a cerca de 3 m sobre a cultura com um ângulo de visada de 15° que permitiu obter a radiância de uma superfície de aproximadamente 0,5 m² (Moreira, 1997). As medidas obtidas com o espectrorradiômetro foram transformadas em reflectância para as faixas espectrais correspondentes ao sensor TM na banda 3 (630 a 690 nm) e na banda 4 (760 a 900 nm). Os valores de reflectância nestas bandas foram utilizadas para o cálculo do índice vegetativo da diferença normalizada (NDVI; Tucker, 1979).

Utilizando o modelo apresentado por Asrar et al. (1984) foi estimada a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida ($f_A = -0,109 + 1,253 \text{ NDVI}$), a partir dos valores do NDVI interpolados para valores diários (Daughtry et al., 1992; Rudorff et al., 1996; Moreira, 1997). A radiação absorvida e acumulada (RAA) ao longo do ciclo da cultura foi obtida através do somatório diário (5 dias após emergência até maturação fisiológica) do produto da f_A pela radiação solar fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm). Finalmente, a eficiência do uso da radiação para produção de grãos (ϵ_G) foi obtida pela razão entre o peso dos grãos (G) com a radiação absorvida e acumulada ao longo do ciclo da cultura. Por problemas operacionais, a fitomassa não foi pesada antes da trilhagem, não sendo possível obter a eficiência do uso da radiação para produção de fitomassa (ϵ_F).

O índice de área foliar (IAF) foi estimado através de medidas não-destrutivas utilizando-se o *Plant Canopy Analyzer*, modelo LI-2000 (LI-COR Inc., EUA). As medidas foram obtidas entre as fases de início de emborrachamento (17 de julho) e final de espigamento (07 de agosto), logo ao amanhecer (radiação difusa máxima) em dois pontos opostos, dentro de cada sub-subparcela.

A colheita se deu no dia 02 de setembro (ciclo de 116 dias). Para evitar o efeito da bordadura o trigo foi colhido na parte central de cada sub-subparcela, numa área de 1,36 m² (8 linhas de 1 m).

Os dados foram analisados utilizando procedimentos de análise de variância adequados para um delineamento experimental em blocos com sub-subparcelas; diferenças entre tratamentos foram avaliadas através do teste estatístico de Duncan utilizando o pacote de software estatístico SAS (SAS Inst., 1985).

Resultados e Discussão

Como provável consequência do efeito *El Niño* foi observado um clima atípico com temperaturas acima da média e precipitações abaixo da média, para este período do ano. Diversas irrigações foram realizadas ao longo da estação de crescimento para manter a demanda evaporativa especificada conforme os tratamentos de irrigação. A análise dos dados do índice de área foliar (IAF) é apresentada na Tabela 1. Os maiores valores de IAF foram alcançados na fase de início do emborrachamento. A adubação nitrogenada teve efeito significativo nas três datas de medição e os maiores valores de IAF foram observados para o nível de 60 kg N ha⁻¹. Na fase final de

TABELA 1 - Efeitos dos fatores irrigação e nitrogênio no índice de área foliar (IAF) dos cultivares de trigo IAC-24 e IAC-287, em três fases do ciclo da cultura.

FATORES			início do em- borrachamento 17 de julho	início do espigamento 23 de julho	final do espigamento 07 de agosto
<u>Irrigação</u>	<u>Nitrogênio</u>	<u>Cultivar</u>			
100%	-	-	2,75	2,71	2,36 a
50%	-	-	2,68	2,52	2,01 ab
25%	-	-	2,51	2,37	1,77 b
-	0 kg ha ⁻¹	-	1,89 c	1,89 c	1,61 c
-	60 kg ha ⁻¹	-	3,20 a	2,98 a	2,36 a
-	120kg ha ⁻¹	-	2,85 b	2,74 b	2,18 b
-	-	IAC-24	2,76	2,66	2,19 a
-	-	IAC-287	2,54	2,41	1,91 b
<u>Análise de variância, valores de F</u>					
Irrigação			0,74 NS	1,35 NS	9,02 *
Nitrogênio			62,13 **	74,25 **	61,05 *
Cultivar			2,96 NS	4,23 NS	11,13 *
Irrigação x Nitrogênio			0,59 NS	1,90 NS	2,91 *
Irrigação x Cultivar			0,61 NS	0,11 NS	0,30 NS
Nitrogênio x Cultivar			0,16 NS	0,41 NS	0,63 NS
Irrigação x Nitrogênio x Cultivar			1,35 NS	1,71 NS	1,97 NS
Coeficiente de Variação, %			13,7	11,4	10,4

NS, não significativo ao nível de $P \leq 0,05$; *, **, significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente. Médias com letras iguais não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Duncan.

espigamento a irrigação reduziu o IAF para o tratamento de 25% da demanda evaporativa. O cultivar IAC-287 teve IAF reduzido o que provavelmente se deve à menor resistência deste cultivar ao déficit hídrico quando comparado com o IAC-24. A única interação significativa para o IAF foi irrigação x nitrogênio indicando que a disponibilidade de água para a cultura está relacionada com a quantidade de nitrogênio absorvido e conseqüentemente com o crescimento e desenvolvimento da planta que se expressa através do IAF.

TABELA 2 - Efeitos dos fatores irrigação e nitrogênio nos valores do NDVI dos cultivares IAC-24 e IAC-287 para as fases de: perfilhamento (27 de junho); emborrachamento (09 de julho); floração (28 de julho); enchimento de grãos (01 de agosto); e maturação fisiológica (11 de agosto).

FATORES			27	09	28	01	11
			junho	julho	julho	agosto	agosto
<u>Irrigação</u>	<u>Nitrogênio</u>	<u>Cultivar</u>					
100%	-	-	0,787	0,810	0,798 a	0,773 a	0,659 a
50%	-	-	0,814	0,821	0,728 b	0,690 a	0,541 b
25%	-	-	0,813	0,794	0,627 c	0,558 b	0,431 c
-	0 kg ha ⁻¹	-	0,689 b	0,714 b	0,589 b	0,542 b	0,448 b
-	60 kg ha ⁻¹	-	0,875 a	0,879 a	0,777 a	0,743 a	0,582 a
-	120kg ha ⁻¹	-	0,850 a	0,858 a	0,774 a	0,736 a	0,601 a
-	-	IAC-24	0,797	0,817	0,753 a	0,710 a	0,592 a
-	-	IAC-287	0,813	0,799	0,680 b	0,637 b	0,495 b
<u>Análise de variância, valores de F</u>							
Irrigação			0,70 NS	4,57 NS	36,86 **	44,00*	102,71 **
Nitrogênio			69,35 **	85,71 **	64,21 **	132,86 **	37,73 **
Cultivar			1,86 NS	3,23 NS	37,15 **	30,14 **	25,04 **
Irrigação x Nitrogênio			0,98 NS	1,12 NS	1,67 NS	2,65 NS	2,12 NS
Irrigação x Cultivar			0,05 NS	2,54 NS	6,14 *	1,17 NS	0,42 NS
Nitrogênio x Cultivar			0,68 NS	0,89 NS	0,34 NS	0,36 NS	0,03 NS
IrrigaçãoxNitrogênioxCultivar			0,61 NS	1,65 NS	0,81 NS	2,07 NS	1,43 NS
Coeficiente de Variação, %			5,2	5,6	7,7	5,1	10,5

NS, não significativo ao nível de $P \leq 0,05$; *, **, significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente. Médias com letras iguais não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Duncan.

A análise de variância para os efeitos dos fatores irrigação, nitrogênio e cultivar nos valores do NDVI para as fases de: perfilhamento (27 de junho); emborrachamento (09 de julho); floração (28 de julho); enchimento de grãos (01 de agosto); e maturação fisiológica (11 de agosto) é apresentada na Tabela 2. De um modo geral as interações não foram significativas para as datas analisadas, exceto para irrigação x cultivar na fase de floração (28 de julho) indicando que o déficit hídrico teve efeito mais pronunciado nos valores do NDVI para o cultivar IAC-287 do que para cultivar IAC-24. Na medida em que o ciclo da cultura avançou os efeitos dos fatores sobre os valores do NDVI foram se tornando mais pronunciados. A partir da fase de floração o déficit hídrico reduziu os valores de NDVI. Nitrogênio (N) aplicado nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ não alterou os valores de NDVI. Entretanto, a não aplicação de N reduziu os valores de NDVI desde a fase de perfilhamento (~40 dias após emergência).

TABELA 3 - Efeitos dos fatores irrigação e nitrogênio na radiação absorvida e acumulada (RAA), no peso de grãos e na eficiência do uso da radiação para produção de grãos (ϵ_G) dos cultivares IAC-24 e IAC-287.

FATORES			RAA MJ m ⁻²	Peso de grãos (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da radiação (ϵ_G)
<u>Irrigação</u>	<u>Nitrogênio</u>	<u>Cultivar</u>			
100%	-	-	287,6 a	2884 a	1,00
50%	-	-	258,9 b	2343 b	0,91
25%	-	-	223,2 c	1908 b	0,86
-	0 kg ha ⁻¹	-	203,0 b	1965 b	0,96
-	60 kg ha ⁻¹	-	288,0 a	2596 a	0,89
-	120kg ha ⁻¹	-	278,8 a	2573 a	0,92
-	-	IAC-24	266,3 a	2560 a	0,96 a
-	-	IAC-287	246,8 b	2196 b	0,88 b
<u>Análise de variância, valores de F</u>					
Irrigação			70,24 **	17,43 **	2,38 NS
Nitrogênio			97,55 **	15,67 **	2,01 NS
Cultivar			11,16 *	22,11 **	6,08 *
Irrigação x Nitrogênio			4,40 **	2,89 *	1,25 NS
Irrigação x Cultivar			1,05 NS	5,08 *	4,73 NS
Nitrogênio x Cultivar			1,45 NS	0,26 NS	0,97 NS
Irrigação x Nitrogênio x Cultivar			1,31 NS	1,57 NS	0,91 NS
Coeficiente de Variação, %			7,8	16,1	12,2

NS, não significativo ao nível de $P \leq 0,05$; *, **, significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente. Médias com letras iguais não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Duncan.

Apenas a interação irrigação x nitrogênio foi significativa para a radiação absorvida e acumulada (RAA) pela cultura (Tabela 3). Isto indica que a contínua redução de água para a cultura diminui a RAA ao passo que o aumento da dose de N de 60 para 120 kg ha⁻¹ não alterou a RAA (Tabela 3).

Para o peso de grãos, foi observada significativa interação para irrigação x nitrogênio (Tabela 3) indicando que a disponibilidade de água para a cultura está relacionada com a quantidade de nitrogênio absorvido e, conseqüentemente, com a produção de grãos. Também foi observado que houve interação para irrigação x cultivar (Tabela 3) o que pode ser atribuído a uma diminuição na produção, proporcionalmente maior para o cultivar IAC-287 do que para o IAC-24, em função do déficit hídrico. Ou seja, o cultivar IAC-24 apresentou maior resistência ao déficit hídrico.

Com relação à eficiência do uso da radiação para produção de grãos foi observado apenas que o cultivar IAC-24 foi mais eficiente em absorver radiação para produção de grãos do que o cultivar IAC-287.

Referências Bibliográficas

- Asrar, G.; M. Fuchs; E.T. Kanemasu; J.L. Hatfield. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal** **76**: 300-306.
- Bauer, M.E. 1985. Spectral inputs to crop identification and condition assessment. *In Proceedings of the IEEE*, **73**(6):1071-1085.
- Camargo, C.E.O. 1976. Adubação de trigo. IX. Interpretação econômica dos resultados obtidos em experimentos com N, P, K e S, em latossolo roxo do estado de São Paulo. **Bragantia**, **35**(1): 95-106.
- Camargo, C.E.O.; J.C. Felício; A. Petinelli Jr.; L. S Rocha Jr. 1988. Adubação nitrogenada em cultura do trigo irrigado por aspersão no estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, (Boletim científico, 15). 26 p.
- Camargo, C.E.O.; C.R.O. Camargo; J.C. Felício; A.W.P. Ferreira Filho; R.R Santos, G Decot. 1993. Avaliação das características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de trigo duro, trigo e triticale. Campinas, Instituto Agrônomo,(Boletim científico, 29). 27 p.
- CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 1994. Recomendações da comissão técnica de trigo para 1994. Campinas, CATI (Boletim 216). 74 p.
- Daughtry, C.S.T.; K.P. Gallo; S.N. Goward; S.D. Price; W.P. Kustas. 1992. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, **39**:141-152.
- Deering, D.W. 1989. Field measurements of bidirectional reflectance. p. 14-65. *In* Asrar, G. (ed.) Theory and Applications of Optical Remote Sensing. New York, Wiley.

- Demetriades-Shah, T.D.; M. Fuchs; E.T. Kanemasu; I. Flitcroft. 1992. A note of caution concerning the relationship between cumulated intercepted solar radiation and crop growth. **Agricultural and Forestry Meteorology**, **58**:193-207.
- Epstein, E.A. 1975. Aquisição de nitrogênio. *In* Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. Trad. de E. Malavolta. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, **EDUSP**, p. 213-34.
- Frizzone, J.A.; A.V. Mélo Jr.; M.V. Folegatti; T.A. Botrel. 1996. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **31**(6):425-434.
- Goudriaan, J.; H.H. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes - Textbook with exercises. 238 p. *In* Leffelaar (ed.) Current Issues in Production Ecology, vol. 2. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Henderson, K. E.; G.D. Badhwar. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. **Remote Sensing of Environment**. **14**:55-63
- Kurkdjian, M.L.N.O.; M. Valério Filho; P. Veneziani; M.N. Pereira; T.G. Frorenzano; C.E. Anjos; T. Ohara; P.L. Donzeli; M.M. Abdon; T.M. Sausen; S.A.P. Pinto; M.A. Bertoldo; J.G. Blanco. 1992. Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e litoral norte do estado de São Paulo. São José dos Campos, INPE (INPE-5381-PRP/165).
- Moreira, M.A. 1997. Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agronômicos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 142 p.
- Parameswaran, K.V.M.; Graham, R.D.; Aspinall, D. 1984. Studies on the nitrogen and water relations of wheat. II. Effects of varying nitrogen and water supply on growth and grain yield. **Irrigation Science**, **5**:105-21.
- Rudorff, B.F.T.; C.L. Mulchi; C.S.T. Daughtry; E.H. Lee. 1996. Growth, radiation use efficiency, and canopy reflectance of wheat and corn grown under elevated ozone and carbon dioxide atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, **55**: 163-173.
- SAS Institute. 1985. SAS user's guide: Statistics. SAS Inst., Cary, Nc, EUA.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, **8**(2): 127-150.