



## Scientia Agricola

Print version ISSN 0103-9016

Sci. agric. vol.56 n.3 Piracicaba July 1999

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000300012>

# Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento

Maurício Alves Moreira<sup>1\*</sup>; Rubens Angulo Filho<sup>2</sup>;  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>







<sup>1</sup>Divisão de Sensoriamento Remoto - INPE, C.P. 515 - CEP: 12.227-010 - São José dos Campos, SP.

<sup>2</sup>Depto. Engenharia Rural - ESALQ/USP, C.P. 09 - CEP: 13.418-900 - Piracicaba, SP.

\*email: [mauricio@ltid.inpe.br](mailto:mauricio@ltid.inpe.br)

### Services on Demand

#### Article

-  Article in xml format
-  Article references
-  How to cite this article
-  Curriculum ScienTI
-  Automatic translation
-  Send this article by e-mail

#### Indicators

#### Related links

#### Bookmark

| More

 Permalink

**RESUMO:** Durante a safra de inverno de 1995 conduziu-se um experimento de campo, em Piracicaba, SP, para analisar a eficiência do uso da radiação ( $e$ ) e o índice de colheita (IC) do cultivar de trigo IAC-287 'YACO', quando submetido ao estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. O delineamento foi em blocos ao acaso com cinco tratamentos e três repetições. O estresse hídrico foi aplicado nas fases de perfilhamento, espigamento, enchimento de grãos e maturação. A eficiência do uso da radiação para produção de fitomassa ( $e_F$ ) foi reduzida em 22,8 e 15,4% em relação à testemunha, quando o estresse hídrico foi aplicado durante as fases de perfilhamento e de enchimento de grãos, respectivamente. O estresse hídrico, quando aplicado durante as fases de perfilhamento, espigamento e enchimento de grãos, reduziu a eficiência do uso da radiação para a produção de grãos ( $e_G$ ) em 21,1; 22,2 e 22,2%, respectivamente, em relação à testemunha. Com relação ao IC, o efeito do estresse hídrico foi maior quando aplicado durante o enchimento de grãos, cuja redução em relação à testemunha foi de 19,1%. Uma redução do IC, em relação à testemunha, também foi observada, em menor intensidade, quando o estresse hídrico foi aplicado nas fases de espigamento (7,5%,  $p < 0,05$ ) e de maturação (7,9%,  $p < 0,05$ ).

**Palavras-chave:** trigo, estresse hídrico, radiação, índice de colheita

### Radiation use efficiency and harvest index for wheat under drought stress at different growth stages

**ABSTRACT:** During the winter season of 1995 a field experiment was conducted in Piracicaba, SP, Brazil, to analyse the radiation use efficiency ( $e$ ) and the harvest index (IC) of the wheat cultivar IAC-287 'YACO', when submitted to drought stress at different growth stages. The experiment was a randomized complete block design with five treatments and three replicates. The drought stress was applied during tillering, booting, grain filling and ripening stages. The radiation use efficiency for fitomass production ( $e_F$ ) was reduced by 22.8 and 15.4% when compared to the control treatment, for drought stress applied during tillering and booting stages, respectively. The drought stress, when applied during tillering, booting and grain filling stages, reduced the radiation use efficiency for grain production ( $e_G$ ) by 21.1, 22.2 and 22.2%, respectively, when compared to the control treatment. With regard to the harvest index (IC), the drought stress effect had a major impact on the grain filling stage, being reduced by 19.1% when compared to the control treatment. A less intense reduction of

the harvest index, when compared to the control treatment, was also observed, when drought stress was applied during booting (7.5%,  $p < 0.05$ ) and ripening stages (7.9%,  $p < 0.05$ ).

**Key words:** wheat, drought stress, radiation, harvest index

## INTRODUÇÃO

A radiação contida na faixa espectral compreendida entre 400 e 700 nm do espectro eletromagnético é conhecida tanto como radiação visível quanto radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Esta radiação é a fonte de energia para as plantas realizarem a fotossíntese.

Vários estudos demonstram que a produção de matéria seca das culturas agrícolas é diretamente proporcional à RFA absorvida pelo dossel vegetativo (Gallagher & Biscoe, 1978; Steven et al., 1983; Prince, 1991, entre outros). A razão entre a matéria seca produzida por unidade de RFA absorvida é definida por Gallo et al. (1993), como eficiência do uso da radiação ( $\epsilon$ ) ou eficiência fotoquímica, cuja unidade é  $\text{g MJ}^{-1}$ . A eficiência do uso da radiação é uma das variáveis utilizadas em modelos de estimativa de produção de grãos ou de fitomassa (Monteith, 1972).

A RFA absorvida pelo dossel da cultura durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento, pode ser estimada a partir de um índice de vegetação (NDVI) obtido através de medidas espectrorradiométricas do fator de reflectância (FR) do dossel (Asrar et al., 1984). Conhecendo-se a RFA absorvida acumulada (RFAAac) e a produção de fitomassa ou de grãos, pode-se obter o valor de  $\epsilon_F$  ou  $\epsilon_G$ , respectivamente.

Até o presente momento, ainda não existe um consenso na literatura sobre a constância do valor de  $\epsilon$  para uma determinada cultura agrícola. Alguns autores afirmam que plantas saudáveis, bem nutridas e com disponibilidade de água adequada podem apresentar um valor constante para  $\epsilon$  (Rawson et al., 1984; Squire et al., 1984). Outros afirmam que  $\epsilon$  varia substancialmente em função da época de plantio (Sales, 1973; Fasheun & Dennett, 1982), da densidade de plantio (Muchow et al., 1982) e da intensidade de luz (Sales, 1973). Rudorff et al. (1996) observaram que a cultura do trigo apresentou uma redução no valor de  $\epsilon$  quando submetido ao estresse crônico de ozônio; porém, não observaram variações para as plantas de trigo submetidas ao enriquecimento de dióxido de carbono. Entretanto, a literatura carece de valores de  $\epsilon$  para plantas submetidas ao estresse hídrico.

Por outro lado, sensíveis aumentos na produção de grãos foram alcançados durante as últimas décadas através da seleção de cultivares com elevado índice de colheitas (IC). O índice de colheita representa a razão entre o rendimento biológico (produção total de fitomassa acima do solo) e o rendimento de grãos (parte colhida e comercializada da cultura) sendo geralmente expresso em percentagem.

De acordo com Donald & Hamblin (1976), a vantagem de se usar o índice de colheita no processo de seleção de plantas é que ele relaciona o rendimento de grãos com o rendimento biológico, indicando a eficiência com que a planta converte o rendimento biológico em rendimento de grãos. Por exemplo, o IC de 20% comparado ao IC de 40%, para um mesmo rendimento biológico, indica que as plantas com IC de 40% são duas vezes mais eficientes na conversão de seu rendimento biológico em grãos.

O IC pode ser empregado para estudar o efeito de fatores ambientais e/ou edáficos (p. ex.: estresse hídrico) sobre o desenvolvimento e crescimento de determinada cultura. Conforme a resposta da cultura ao estresse hídrico, é possível estabelecer o seu grau de resistência ao déficit de água no solo e definir qual o estágio fenológico mais sensível à disponibilidade de água. É dentro deste contexto que se insere a presente pesquisa, ou seja, ela visa determinar tanto a eficiência do uso da radiação ( $\epsilon$ ), estimada através de técnicas de sensoriamento remoto e dados meteorológicos, quanto o índice de colheita (IC) da cultura do trigo, submetida ao estresse hídrico em diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento.

## MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi conduzido sob condições de campo, numa área experimental do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em Piracicaba, SP, durante a safra de inverno de 1995.

Utilizou-se neste estudo o cultivar de trigo IAC-287 'YACO' que é de ciclo precoce com duração de 115 a 120 dias da emergência à maturação. O plantio foi feito manualmente no dia 1º de junho de 1995 com espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade aproximada de 80 sementes por metro linear.

O experimento foi instalado sobre uma Terra Roxa Estruturada eutrófica (Sparovek et al., 1993) que na classificação americana (United State Department of Agriculture, 1990) é um Kandudalfic Eutródico, contendo 18,9; 21,4 e 59,7% de areia, silte e argila, respectivamente. Na adubação de plantio aplicou-se 20 kg de N, 90 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 30 kg de  $\text{K}_2\text{O}$  por hectare, utilizando a mistura de adubo na fórmula 4-14-8. Após 30 dias da

emergência fez-se uma adubação de cobertura com nitrato de amônia na razão de 40 kg/ha.

Os tratamentos consistiram da testemunha e da suspensão da irrigação seguida de estresse hídrico em quatro fases distintas do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura, a saber: a) quando as plântulas apresentaram três folhas a água foi suspensa por 29 dias até o final do perfilhamento, sendo que as parcelas deste tratamento ficaram 12 dias sob estresse hídrico; b) no início do emborrachamento a água foi suspensa por 31 dias até o final do espigamento, ficando as parcelas deste tratamento sob estresse hídrico durante 24 dias; c) no início do florescimento a água foi suspensa por 17 dias até o final do enchimento dos grãos, ficando as parcelas deste tratamento sob estresse hídrico por 13 dias e; e) no início da maturação fisiológica a água foi suspensa por 17 dias até a maturação final, ficando as parcelas deste tratamento sob estresse hídrico por 7 dias.

O método do balanço hídrico modificado proposto por Braga (1982) foi empregado para se determinar o número de dias em que a cultura esteve sob estresse hídrico após a suspensão da irrigação. Este método permite calcular diariamente a água disponível no solo para a cultura. Quando a disponibilidade de água na zona das raízes está abaixo de um nível crítico, a cultura está sob condição de estresse hídrico e o seu crescimento fica limitado.

Nos dias de chuva, as parcelas com irrigação suspensa foram protegidas por cobertura de lona plástica de 10m x 8m a uma altura de 1,5m. Em torno das parcelas foram feitos sulcos de aproximadamente 20cm de profundidade para evitar a contaminação das mesmas pelo escoamento de água da chuva, na superfície do solo.

A eficiência do uso da radiação ( $\epsilon$ ) foi estimada através da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (RFAA<sub>ac</sub>), desde a emergência até a maturação fisiológica, e a produção de fitomassa ou grãos.

A quantidade diária de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA) pelo dossel da cultura foi estimada a partir da fração da RFAA ( $f_A$ ), segundo Daughtry et al. (1992):

$$RFAA = f_A \times RFA_d$$

onde: RFA<sub>d</sub> é a radiação fotossinteticamente ativa diária.

Para determinar a fração da RFAA ( $f_A$ ) empregou-se a equação empírica proposta por Asrar et al. (1984).

$$f_A = -0,109 + 1,253 \times NDVI$$

onde:  $f_A$  é a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida e NDVI é o índice de vegetação com diferença normalizada.

O NDVI foi obtido a partir de medidas do fator de reflectância (FR) nas regiões do vermelho (630 a 700 nm) e do infravermelho próximo (760 a 900 nm) do espectro eletromagnético. Para obter os valores do FR utilizou-se o espectrorradiômetro SPECTRON SE-590, da *Spectron Engineering Inc.*, Denver, Colorado, EUA. Uma descrição detalhada sobre o fator de reflectância pode ser obtida em Milton (1987) e Steffen (1996). As medidas espectrorradiométricas foram feitas a uma altura de aproximadamente 3m acima do dossel da cultura em condições de céu aberto. Nos dias em que houve cobertura de nuvens, o FR foi estimado através da interpolação de medidas adjacentes. Para o cálculo do NDVI, empregou-se a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{FR_{ivp} - FR_{ver}}{FR_{ivp} + FR_{ver}}$$

onde: FR<sub>ivp</sub> é o fator de reflectância na região do infravermelho próximo e FR<sub>ver</sub> é o fator de reflectância na região do vermelho do espectro eletromagnético.

Para quantificar o valor diário da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em MJ m<sup>-2</sup>, na região de Piracicaba, SP, foram utilizadas as equações propostas por Assunção (1994):

- a) RFA = 0,417 R<sub>g</sub>, para dias em que  $n/N \leq 0,1$  ( $r^2 = 0,99$ )
- b) RFA = 0,429 R<sub>g</sub>, para dias em que  $0,1 < n/N < 0,9$   
( $r^2 = 0,96$ )
- c) RFA = 0,496 R<sub>g</sub>, para dias em que  $n/N \geq 0,9$  ( $r^2 = 0,99$ )

A eficiência do uso da radiação ou eficiência fotoquímica para produção de fitomassa ( $\epsilon_F$ ) e de grãos ( $\epsilon_G$ ) foi determinada pelas seguintes equações:

$$\epsilon_F = \frac{\text{Produção de fitomassa seca acima do solo (g)}}{RFAA_{ac} \text{ (MJ}^{-1}\text{)}}$$

$$\epsilon_G = \frac{\text{Produção de grãos (g)}}{RFAA_{ac} \text{ (MJ}^{-1}\text{)}}$$

O índice de colheita (IC) foi determinado dividindo a produção de grãos pela produção de fitomassa total acima

do solo:

$$IC(\%) = \frac{\text{Produção de grãos(g)}}{\text{Produção de fitomassa(g)}} \times 100$$

Para se fazer a análise da eficiência do uso da radiação e do índice de colheita, outras características agrônômicas da cultura foram medidas, tais como: altura das plantas, índice de área foliar, número de espigas por metro quadrado, número de grãos por espiga, número de espiguetas desenvolvidas e não-desenvolvidas, e peso de 1000 grãos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando-se os níveis de significância de 1 e 5% para o teste F. Empregou-se o teste de comparação múltipla diferença mínima significativa (DMS), para a análise da diferença entre médias dos tratamentos, quando o valor de F foi significativo.

$$DMS = t \sqrt{2QME / r}$$

onde: QME é o quadrado médio do erro, r é o número de repetição e t é o valor obtido na tabela do teste de Student para  $\alpha = 0,05\%$ .

Todas análises estatísticas foram realizadas usando o pacote estatístico *Statistical Analysis System* (SAS Institute, 1985).

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na [TABELA 1](#) estão contidos os resultados da radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (RFAAac), da produção de fitomassa e de grãos, da eficiência do uso da radiação para produção de fitomassa ( $e_f$ ) e de grão ( $e_g$ ) e do índice de colheita (IC).

TABELA 1 - Radiação fotossinteticamente ativa absorvida acumulada (RFAAac), fitomassa (FITO), grãos (GRÃO), eficiência do uso da radiação para de fitomassa (EFf), eficiência do uso da radiação para produção de grãos (EFg) e índice de colheita (IC).

Tratamento	RFAAac MJ m-2	FITO kg ha-1	GRÃO kg ha-1	EFf g MJ-1	EFg g MJ-1	IC (%)
Testemunha	333 a	7825 ab	2994 a	2,34 a	0,90 a	38,3 ab
Perfilhamento	295 b	5405 c	2106 b	1,83 c	0,71 b	38,8 a
Espigamento	350 a	6932 b	2453 b	1,98 b	0,70 b	35,4 bc
Enchimento	351 a	7966 a	2470 b	2,27 a	0,70 b	31,0 d
Maturação	357 a	8288 a	2923 a	2,32 a	0,82 a	35,3 c
Valor F	5,20 *	17,80 **	7,74 *	35,20 **	12,40 *	12,50 *
DMS (0,05)	3,6	899,8	431,3	0,13	0,08	2,8
CV (%)	5,68	6,56	8,85	3,15	5,71	4,29

\*\* e \* Significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste DMS.

Os resultados contidos na [TABELA 1](#) para RFAAac, produção de fitomassa e grãos,  $e_f$ ,  $e_g$  e IC indicam que o estresse hídrico afetou esses parâmetros em pelo menos uma das fases de crescimento e desenvolvimento do cultivar IAC-287.

Para a fase de perfilhamento o efeito do estresse hídrico reduziu a RFAAac em 11,7% ( $p < 0,05$ ) em relação à testemunha ([TABELA 1](#)). É provável que esta redução está relacionada com a menor produção de fitomassa que é consequência da menor altura média das plantas e do menor perfilhamento (menor número de espiga por metro quadrado) conforme pode ser visto na [TABELA 2](#). A redução no índice de área foliar ([Figura 1](#)) favorece a redução na absorção da radiação solar, levando a uma redução da RFAAac.

TABELA 2 - Altura média das plantas (AMP), número de espigas por metro quadrado, (EMQ), número de sementes por espiga (SE), peso de 1000 grãos (PMG), tamanho médio das espigas (TESP), espiguetas não desenvolvidas (ESPND) e espiguetas desenvolvidas (ESPD).

Tratamento	AMP (cm)	EMQ	SE	PMG (g)	TESP (cm)	ESPND	ESPD
Testemunha	72,0 ab	408 a	38 a	35,7 a	8,60 a	1,93 c	15,01 a
Perfilhamento	64,0 c	264 c	35 b	35,3 a	7,98 b	1,51 d	3,51 c
Espigamento	68,6 b	339 b	33 b	35,9 a	8,34 a	2,61 a	14,49 ab
Enchimento	74,5 a	416 a	33 b	30,8 b	8,46 a	2,41 ab	14,40 ab
Maturação	72,8 a	420 a	34 b	34,6 a	8,32 a	2,24 b	14,40 b
Valor F	10,30*	11,69*	6,33*	11,50*	13,50**	16,54**	10,60 *
DMS (0,05)	4,03	64,48	2,76	2,03	0,28	0,29	0,56
CV (%)	3,03	9,26	4,21	3,13	1,82	7,37	2,08

\*\* e \* Significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo DMS.

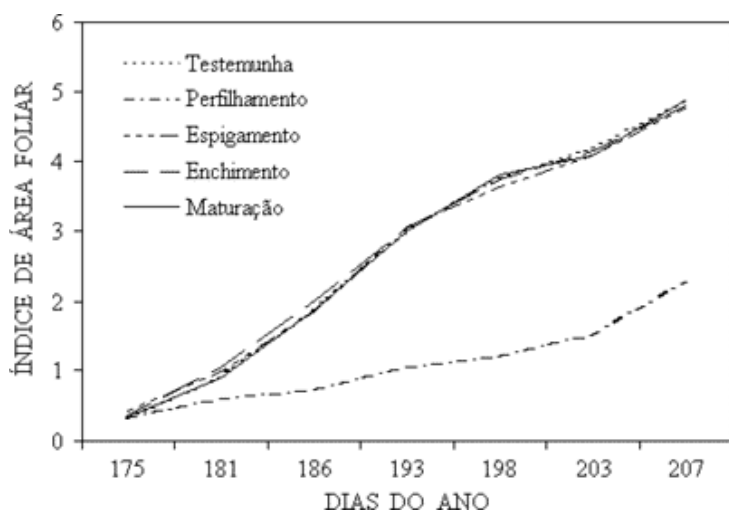


Figura 1 - Índice de área foliar obtido para os cinco tratamentos, do perfilhamento até o início da maturação.

Analisando os resultados obtidos para a eficiência do uso da radiação para produção de fitomassa ( $e_f$ ) verifica-se que o efeito do estresse hídrico causou uma redução significativa de 22,8 e 15,4% em relação à testemunha, nas fases de perfilhamento e espigamento, respectivamente. Estes resultados também podem ser entendidos como sendo consequência da menor altura das plantas e menor perfilhamento (TABELA 2) em resposta à deficiência de água nestas fases de crescimento da planta. A redução da  $e_f$ , nestes tratamentos, refletiu uma redução na produção de fitomassa de 30,9% para a fase de perfilhamento e de 11,4% para a fase de espigamento, em relação à testemunha conforme apresentado na TABELA 1.

Em termos da eficiência do uso da radiação para produção de grãos ( $e_g$ ), os resultados contidos na TABELA 1 indicam que o estresse hídrico durante as fases de perfilhamento, espigamento e enchimento de grãos provocou uma redução percentual em relação à testemunha de 22,1; 22,2 e 22,2%, respectivamente. A provável explicação da semelhança dos valores de  $e_g$  para estes tratamentos é que o estresse hídrico deve ter atuado de forma semelhante nos processos fisiológicos da planta, reduzindo na mesma magnitude, o fracionamento da radiação para a produção de grãos. Por outro lado, como afirma Demetriades-Shad et al. (1992), a eficiência com que a radiação absorvida é convertida em produção de matéria seca deve ser vista com cuidado uma vez que a radiação absorvida pela cultura é somente uma das muitas variáveis relacionadas com a produção de fitomassa e de grãos.

Embora o estresse hídrico tenha provocado efeito semelhante na  $e_g$ , a redução na produção de grãos (TABELA 1) em cada um desses tratamentos, está também relacionada com mudanças de certas características agrônomicas, dependendo da fase em que o estresse hídrico foi aplicado, conforme consta na TABELA 2.

Durante o perfilhamento o estresse hídrico atuou na redução do perfilhamento, levando a um menor número de plantas por metro quadrado, acarretando uma menor produção de grãos. Além disso, observa-se na TABELA 2 que houve diferença significativa para os seguintes parâmetros agrônomicos: tamanho médio das espigas, número de sementes por espiga, número de espiguetas desenvolvidas e não-desenvolvidas.

Quando o estresse hídrico foi aplicado durante a fase de espigamento o efeito foi manifestado no número de espigas por metro quadrado, altura média das plantas, grãos por espiga, tamanho médio da espiga e número de

espiguetas desenvolvidas e não-desenvolvidas. Os resultados obtidos estão de acordo com Saini & Aspinall (1981) e Gusta & Chen (1987) que afirmam que o desenvolvimento da cultura do trigo sob condições desfavoráveis de umidade no solo, pode causar a esterilidade do estame, provocando sucessiva inviabilidade do grão de pólen, conseqüentemente, reduzindo o número de espiguetas desenvolvidas.

Durante a fase de enchimento de grãos o estresse hídrico reduziu significativamente o peso de 1000 grãos (13,2%) e o número de sementes por espiga (13,6%), em relação à testemunha (TABELA 2). A redução no peso do grão está de acordo com as afirmações de Freitas et al. (1985) sobre a importância da disponibilidade de água nesta fase de desenvolvimento da cultura.

Analisando os resultados obtidos para o índice de colheita (IC) na TABELA 1, verifica-se que o efeito do estresse hídrico nas fases de espigamento, enchimento de grãos e maturação causou reduções de 7,6; 19,1 e 7,9%, respectivamente, em relação à testemunha. Este resultado indica que o IC do cultivar IAC-287 é bastante sensível ao estresse hídrico na fase de enchimento de grãos (redução de 19,7%) e, em menor magnitude, nas fases de espigamento (-7,6%) e maturação (-7,9%). Este resultado confirma a afirmação de Donald & Hamblin (1976) que admitem que o IC é o parâmetro agrônomo mais indicado para ser utilizado num processo de seleção de variedades resistentes à seca.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa chegou-se às seguintes conclusões:

- A eficiência do uso da radiação para a produção de fitomassa ( $e_f$ ) foi afetada quando o estresse hídrico foi aplicado nas fases de perfilhamento e espigamento, com redução de 22,8 e 15,4%, respectivamente, em relação a testemunha.
- O efeito do estresse hídrico na eficiência do uso da radiação para a produção de grãos ( $e_g$ ) foi significativo nos estádios de perfilhamento, espigamento e enchimento de grãos, com redução de 21,1; 22,2 e 22,2%, respectivamente, em relação à testemunha.
- O estresse hídrico, quando aplicado durante o enchimento de grãos, reduziu o índice de colheita (IC) em 19,1% em relação à testemunha. Em menor intensidade o IC foi reduzido quando o estresse hídrico foi aplicado nas fases de espigamento (7,6%,  $p < 0,05$ ) e maturação (7,9%,  $p < 0,05$ ).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, v.76, n.2, p.300-306, 1984. [ [Links](#) ]
- ASSUNÇÃO, H.F. da. Relações entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global em Piracicaba-SP. Piracicaba, 1994. 57p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. [ [Links](#) ]
- BRAGA, H.J. Caracterização da seca agrônoma através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Lagunas, litoral sul do Estado de Santa Catarina. Piracicaba, 1982. 157p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. [ [Links](#) ]
- DAUGHTRY, C.S.T.; GALLO, K.P.; GOWARD, S.N.; PRINCE, S.D.; KUSTAS, W.P. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.39, n.2, p.141-152, 1992. [ [Links](#) ]
- DEMETRIADES-SHAD, T.H.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; FLITEROFT, I. A note of caution concerning the relationship between cumulated intercepted solar radiation and crop growth. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, n.3/4, p.193-207, 1992. [ [Links](#) ]
- DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. In: BRADY, N.C. (Ed.) **Advances in Agronomy**. New York: Academic Press, 1976. v.8, p.361-407. [ [Links](#) ]
- FASHEUN, A.; DENNETT, M.D. Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba*, L). **Agricultural Meteorology**, v.26, n.3, p.221-229, 1982. [ [Links](#) ]
- FREITAS, J.G. de; CARDOSO, A.A.; SEDIYAMA, C.S.; FERREIRA, P.A.; MOURA FILHO, W. Trigo: efeito de três faixas de umidade na evapotranspiração real e na produção de grãos e seus componentes. **Bragantia**, v.44, n.2, p.515-530, 1985. [ [Links](#) ]
- GALLAGHER, H.N.; BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal of Agricultural**

**Science**, v.91, n.1, p.47-60, 1978. [ [Links](#) ]

GALLO, K.P.; DAUGHTRY, C.S.T.; WIEGAND, C.L. Errors in measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. **Agronomy Journal**, v.85, n.6, p.1222-1228, 1993. [ [Links](#) ]

GUSTA, L.V.; CHEN, T.H.H. The physiology of water and temperature stress. In: HEYNY, E.G. **Wheat and wheat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p.115-150. (Series Agronomy, 13). [ [Links](#) ]

MILTON, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.12, p.1807-1827, 1987. [ [Links](#) ]

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v.9, p.747-766, 1972. [ [Links](#) ]

MUCHOW, R.C.; COATES, D.B.; WILSON, G.L.; FOALE, M.A. Growth and productivity of irrigated sorghum bicolor in Northern Australia: I. Plant density and arrangement effects on light interception and distribution, and grain yield, in the hybrid Texas 610SR in low and medium latitudes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, p.773-784, 1982. [ [Links](#) ]

PRINCE, S.D. A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1313-1330, 1991. [ [Links](#) ]

RAWSON, H.M.; DUNSTONE, R.L.; LONG, M.J.; BEGG, J.E. Canopy development, light interception and seed production in sunflower as influenced by temperature and radiation. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.11, p.255-265, 1984. [ [Links](#) ]

RUDORFF, B.F.T.; MULCHI, C.L.; DAUGHTRY, C.S.T.; LEE, E.H. Growth, radiation use efficiency, and canopy reflectance of wheat and corn grown under elevated ozone and carbon dioxide atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, v.55, n.2, p.163-173, 1996. [ [Links](#) ]

SAINI, H.S.; ASPINALL, D. Effect of water deficit on sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Annals of Botany**, v.48, p.623-644, 1981. [ [Links](#) ]

SALES, P.J.M. Productivity of vegetable crops in a region of high solar input: II. Yields and efficiencies of water use and energy. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.24, p.751-762, 1973. [ [Links](#) ]

SPAROVEK, G.; LEPSCH, I.F.; TORRADO, P.V.P.; MODOLO, L.C.; PASSOS, H.R.; VAZ, L.F.A.; BARBOSA, R.G. **Avaliação das terras do Campus "Luiz de Queiroz"**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 28p. [ [Links](#) ]

SQUIRE, G.R.; MARSHALL, B.; TERRY, A.C.; MONTEITH, J.L. Response to temperature in a stand of pearl millet. **Journal of Experimental Botany**, v.35, n.6, p.599-610, 1984. [ [Links](#) ]

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics**. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1985. 378p. [ [Links](#) ]

STEFFEN, C.A. Técnicas radiométricas com o spectron SE-590. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. Salvador: INPE/SELPER, 1996. p.9-14. [ [Links](#) ]

STEVEN, M.D.; BISCOE, P.V.; JAGGARD, K.W. Estimation of sugar beet production from reflection in the red and infrared spectral bands. **International Journal of Remote Sensing**, v.4, n.2, p.325-334, 1983. [ [Links](#) ]

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Management Support Services. Agency for International Development, Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 4 ed. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1990. 422p. (SMSS Technical Monograph, 19). [ [Links](#) ]

Recebido para publicação em 25.06.98

Aceito para publicação em 08.04.99

---

All the contents of this journal, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution License

*Scientia Agricola*

USP/ESALQ - Scientia Agricola  
Av. Pádua Dias, 11  
13418-900 Piracicaba SP Brazil  
Tel.: +55 19 3429-4401 / 3429-4486  
Fax: +55 19 3429-4401

 e-Mail  
[scientia@usp.br](mailto:scientia@usp.br)