

ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DA CULTURA DO FEJJOEIRO IRRIGADO¹**WATER STRESS INDEX FOR IRRIGATED BEAN CROP**

Malaquias da Silva Amorim Neto², Reinaldo Lúcio Gomide³, Gilberto Chohaku Sedyama⁴,
Ricardo Augusto Lopes Brito³, Paulo César Magalhães³, João Carlos Ferreira Borges Júnior⁵

RESUMO

A determinação das necessidades hídricas de culturas, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é uma etapa importante para o manejo de irrigação. Entre os métodos usualmente utilizados, destacam-se o método gravimétrico, medidas do potencial de água na folha, tensiômetros e climatológicos. A utilização de técnicas de sensoriamento remoto apresenta-se como uma alternativa importante por permitir a detecção do "status" de água da planta, em função da emitância radiante da superfície da cultura. Dentre os equipamentos usados destaca-se o termômetro a infravermelho por sua praticidade de uso. Neste estudo utilizou-se a termometria infravermelha, associada ao balanço de energia para obtenção de um índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) que possibilitasse ao irrigante saber em tempo real, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, quando irrigar. Os valores do IEHC variaram de -0,06 a 0,053; -0,041 a 0,221 e -0,038 a 0,108, respectivamente, para os níveis de tensão de umidade do solo de 0,04; 0,06 e 0,08 MPa. Embora os índices obtidos não tenham apresentado diferenças acentuadas entre os tratamentos, os resultados evidenciam o potencial do método para realização do manejo de irrigação.

Palavras-chave: termometria a infravermelho, balanço de energia, necessidades hídricas da cultura.

SUMMARY

The determination of crop water requirement, for each growth stage, is very important step for irrigation management. The methods usually adopted to

measure the water needs of the crops are the gravimetric, measures of the water potential in the leaf, tensiometers, and climatologicals. The utilization of remote sensing techniques is an alternative method due to the fact that it detects the status of water in the plant in function of the emitted radiation from the plant canopy. The infrared thermometer is frequently used because it is a practical method. In this study, it was utilized an infrared thermometry associated to the energy balance, for determining the crop water stress index (CWSI) of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. These indexes allow irrigators to know when release water for each phenological phases of the plant. The CWSI values changed from -0.06 to 0.053; from -0.041 to 0.221; and from -0.038 to 0.108 for the soil water retention levels of 0.04; 0.06; and 0.08 MPa, respectively. Although the obtained indexes do not have shown high differences among treatments, the results show the potential of the studied method for being applied in the irrigation management.

Key words: infrared thermometry, energy balance, crop water requirements.

INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelos recursos hídricos para atender ao consumo humano, a indústria e a agricultura irrigada, tem dado origem a pesquisas que visam otimizar o seu uso. Dentre estas são destacadas as relacionadas com os estudos das necessidades hídricas das culturas, em que se procuram identificar as exigências das plantas em seus diferentes estádios de desenvolvimento.

O desenvolvimento do termômetro infravermelho, que detecta a energia emitida pela superfície da

¹ Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa, em agosto de 1994.

² Meteorologista, D. Sc., EMBRAPA-CNPA, Cx. P. 174, 58107-720, Campina Grande, PB.

³ Eng^o Agr^o, PhD., EMBRAPA-CNPMS, Cx. P. 151, 35701-970, Sete Lagoas, MG.

⁴ Eng^o Agr^o, PhD., UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 36570-000, Viçosa, MG.

⁵ Eng^o Agrícola, BSc., PATRUMEC, 57230-000, Coruripe, AL.

cultura em comprimentos de ondas longas, possibilita a determinação do estado hídrico de uma comunidade de plantas, com base na temperatura do dossel da cultura relacionada com a temperatura ambiente.

JACKSON et al (1981), utilizando a temperatura do dossel obtida com o termômetro infravermelho, em conjunto com a temperatura do ar determinada com termômetros de bulbos seco e úmido e o saldo de radiação líquida estimado, desenvolveram uma equação a partir do balanço de energia para calcular o índice de estresse hídrico da cultura (IEHC). Limites teóricos foram determinados para a diferença entre a temperatura do dossel e a do ar, relacionados com o déficit de pressão de vapor. O intervalo de variação foi definido entre zero para condições ótimas de umidade no solo, permitindo a planta transpirar a taxas potenciais, e 1, para planta sofrendo o máximo de estresse hídrico, cessando teoricamente a transpiração. O índice proposto fundamenta-se em conceitos físicos e biológicos, envolvendo parâmetros atmosféricos e da cultura. O modelo é uma relação entre os valores de evapotranspiração real e potencial da cultura, obtidos de acordo com a metodologia de Penman-Monteith (MONTEITH & UNSWORTH, 1990).

Em culturas semeadas em linha, como é o caso da maioria das formas de semeadura das culturas anuais, a maior parte das perdas de água nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas ocorre por evaporação do solo (BERGAMASCHI et al, 1988). Isto limita a aplicação da termometria infravermelha, porque, como as plantas não têm área foliar suficiente para cobrir toda a superfície do solo, a medição da temperatura do dossel é afetada pelas radiações refletida e emitida pelo solo. Assim, deve-se utilizar esta técnica na fase da cultura em que a cobertura foliar atinja um nível tal, que minimize os efeitos do solo. Em função desta limitação, NIELSEN & ANDERSON (1989) estudaram a utilização do termômetro infravermelho para medir a temperatura de folhas individuais de girassol e determinar o IEHC, correlacionando os resultados com outras medidas de estresse hídrico da planta, como resistência estomática, taxa de variação de difusão de CO₂, potencial da água na folha, taxa de transpiração e porcentagem de água disponível na zona ativa das raízes. Concluíram que a medida da temperatura de folhas individuais é um meio rápido de se conhecer o estado hídrico de plantas que não cobrem completamente o solo.

Em estudos realizados com a cultura do trigo, JACKSON et al (1981) concluíram que o IEHC pode ser muito promissor para identificação do estresse hídrico nas plantas.

O IEHC foi utilizado por NAKAYAMA & BUCKS (1984) para estudar sua relação com a disponibilidade de água no solo e a produção de borracha de três variedades de "guayule" (*Parthenium argentatum* A. Gray), submetidas a seis níveis de irrigação. Os autores concluíram que o índice é promissor para programas de manejo de irrigação, visando otimizar a

produção de borracha da cultura.

Graficamente, o IEHC é uma posição relativa entre as linhas bases superior e inferior da relação entre a diferença da temperatura das folhas da cultura e a do ar com o déficit de pressão de vapor do ar. Estudando a resposta da temperatura da cobertura parcial do algodoeiro ao estresse hídrico, HATFIELD et al (1985) observaram que a linha base do IEHC para condições em que não há ocorrência de estresse hídrico, com o algodão cobrindo completamente o solo, tinha declividade em torno do dobro da do solo parcialmente coberto. Tal resultado demonstrou que a cobertura parcial é um sistema muito complexo, porque a temperatura da cobertura detectada pelo termômetro a infravermelho pode estar associada a temperatura do solo, portanto os valores do IEHC devem ser interpretados muito cuidadosamente.

HOWELL et al. (1986) verificaram que a temperatura das folhas da cultura do trigo, sob quatro regimes de irrigação, aumentou com a velocidade do vento e, conseqüentemente, diminuíram as diferenças com relação à temperatura do ar. O IEHC mostrou-se útil como parâmetro para determinar mais precisamente quando irrigar, enquanto o balanço hídrico pode ser usado para quantificação da irrigação.

O efeito da localização da parcela sobre a temperatura das folhas e o IEHC do algodão, sob diferentes regimes de irrigação, foi averiguado por GAITAN et al. (1990). Estes autores concluíram que a localização da parcela no bloco afetou a temperatura do dossel da cultura irrigada ou estressada e que a diferença da declividade da função linear entre a temperatura e o déficit de pressão de vapor aumenta com o grau de estresse e a distância da bordadura do bloco, no entanto não afetou o IEHC das parcelas saturadas, tendo efeito sobre a estressada. O algodão, com umidade suficiente no solo, não foi afetado pela advecção. As parcelas próximas a bordadura tiveram maior IEHC do que as localizadas no centro do bloco, o que foi atribuído à advecção do calor sensível dos solos secos expostos para a cultura irrigada.

O objetivo deste estudo foi obter os índices de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), usando-se a termometria a infravermelho associada ao balanço de energia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado no município de Sete Lagoas, MG (latitude: 19°08' S, longitude: 44°15' W e altitude: 735 m).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima do local é do tipo Aw, ou seja, de savana, com temperatura média do mês mais frio acima de 18°C. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado, com relevo

suavemente ondulado.

A cultivar de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizada foi a Capixaba Precoce (Grupo Preto). A semeadura foi realizada em 23 de julho de 1993, no espaçamento de 0,50 m entre linhas com 10 a 12 plantas por metro linear. O preparo do solo consistiu de uma aração com arado de aiveca e uma gradagem com grade niveladora. A adubação de plantio foi realizada de acordo com os resultados da análise química do solo, com a aplicação de 200 Kg/ha da fórmula 4-30-16 mais 0,4% de zinco. As adubações de cobertura foram realizadas via água de irrigação, constando de 150 Kg/ha de sulfato de amônia e 75 Kg/ha de uréia, aos 34 e 45 dias após a semeadura, respectivamente. O controle de ervas daninhas realizou-se com a aplicação de herbicidas. Durante a condução do experimento não ocorreu incidência de pragas e doenças.

Os tratamentos foram diferenciados aos 31 dias após a semeadura, constando de quatro níveis de tensão de água no solo (0,02; 0,04; 0,06 e 0,08 MPa) e três repetições.

As parcelas foram de 18 m x 18 m, com área útil de 12 m x 12 m, espaçadas entre si de 6,0 m. O controle de umidade do solo foi realizado com tensiômetros e blocos de resistência elétrica de gesso, instalados nas profundidades de 15, 30, 45 e 60 cm. As irrigações foram realizadas com a utilização de aspersores setoriais. A água foi aplicada sempre que a tensão prefixada era atingida nos tensiômetros e blocos de gesso instalados a 15 cm de profundidade.

O índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) utilizado foi o proposto por JACKSON et al. (1981), expresso pela seguinte equação:

$$IEHC = \frac{\gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) - \gamma \left(1 + \frac{r_{cp}}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \quad (1)$$

onde, γ é a constante psicométrica (Pa/°C); r_c é resistência da cultura (s/m); r_a a resistência aerodinâmica (s/m); r_{cp} a resistência da cultura em condições de transpiração potencial (s/m); e Δ a tangente à curva de saturação do vapor de água (Pa/°C).

A relação entre a resistência da cultura e a resistência aerodinâmica (r_c/r_a) foi expressa pela equação obtida por JACKSON et al. (1981):

$$\frac{r_c}{r_a} = \frac{\frac{\gamma r_a Rn}{\rho C_p} - (T_c - T_a) (\Delta + \gamma) - [e^*(z) - e(z)]}{\gamma \left[(T_c - T_a) - \frac{r_a Rn}{\rho C_p} \right]} \quad (2)$$

onde, Rn é o saldo de radiação (W/m²); ρ a densidade absoluta do ar (kg/m³); C_p a capacidade calorífica do ar (J/kg°C); T_c a temperatura das folhas do dossel (°C); T_a a temperatura do ar (°C); $e^*(z)$ a pressão de

saturação do vapor do ar (Pa); e $e(z)$ a pressão de vapor do ar (Pa).

A resistência aerodinâmica (r_a) da cultura foi calculada diariamente, de acordo com a metodologia descrita por ALLEN et al. (1989), MONTEITH & UNSWORTH (1990) e JENSEN et al. (1990), que é dada pela seguinte expressão:

$$r_a = \frac{\left[\frac{\ln(z-d)}{z_0} \right]^2}{K^2 U} \quad (3)$$

onde, \ln é o logaritmo neperiano; z altura em que a velocidade do vento foi medida (2,0 m); d deslocamento do plano zero (2/3 hc), em que hc é a altura da cultura (m); z_0 comprimento de rugosidade (0,123 hc); k constante de von Karman (0,41); e U velocidade do vento (m/s).

A tangente à curva de pressão de saturação do vapor de água (Δ) é uma função da temperatura do ar e pode ser adequadamente aproximada (JACKSON et al, 1988) por:

$$\Delta = 45,03 + 3,014T + 0,0534T^2 + 0,00224T^3 \quad (4)$$

em que T é a média aritmética entre T_c e T_a .

Os parâmetros atmosféricos necessários a resolução das equações foram registrados em intervalos horários, diariamente, em uma estação automática, instalada anexa à área experimental, exceto a temperatura do ar que foi tomada a cada 30 minutos. A velocidade do vento foi obtida às 12, 18 e 24 horas GMT, na Estação Climatológica Principal do CNPMS. O saldo de radiação foi determinado a partir do registro contínuo de um radiômetro líquido acoplado a um registrador eletrônico com diagrama analógico.

A temperatura do dossel da cultura foi obtida diariamente, no período de 10 as 15 horas, em intervalos de 30 minutos, com um termômetro a infravermelho. As medidas foram realizadas com o termômetro formando um ângulo de aproximadamente 30° com a superfície do dossel da cultura. As observações foram realizadas, visando o dossel da cultura em relação aos quatro pontos cardeais, norte, sul, leste e oeste. O valor médio destas medições foi considerado como sendo a temperatura do dossel no horário observado.

A descrição dos equipamentos utilizados para obtenção dos parâmetros atmosféricos e da planta usados nas equações podem ser encontrados em AMORIM NETO (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentada a variabilidade do índice de estresse hídrico do feijoeiro, do subperíodo de pre-floração ao início da formação das vagens, para os tratamentos submetidos às tensões de 0,04; 0,06

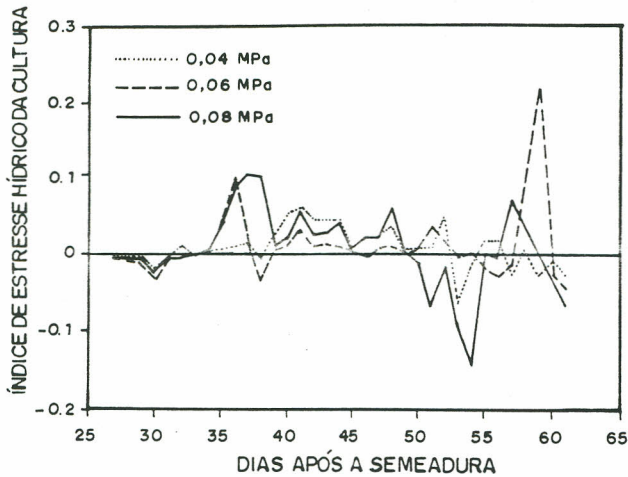


Figura 1 - Variação do Índice de Estresse Hídrico da Cultura do feijoeiro versus dias após a semeadura, para os tratamentos submetidos às tensões de 0,04; 0,06 e 0,08 MPa. Sete Lagoas, MG, 1993.

e 0,08 MPa. Este subperíodo foi escolhido por ser o mais suscetível à deficiência hídrica no solo.

O tratamento sob tensão de 0,02 MPa foi tomado como referencial. Nesta condição considerou-se que as plantas estariam evapotranspirando potencialmente, uma vez que não houve restrição de umidade no solo, logo, seu índice de estresse foi zero. Observa-se que as variações dos índices nos diferentes tratamentos indicam a resposta do feijoeiro à reposição da água evapotranspirada. Verificou-se uma redução do índice, após a realização da irrigação, e seu crescimento, à medida que ocorria diminuição da disponibilidade de água no solo.

Para a tensão da água no solo de 0,04 MPa isso ficou mais evidenciado após as irrigações aplicadas aos 34, 38, 46, 53 e 57 dias após a semeadura, com o índice de estresse variando de -0,06 a 0,053. Para a tensão de 0,06 MPa, o mesmo comportamento foi observado aos 37, 41, 45, 51, 54 e 60 dias após a semeadura, com variações do índice de estresse entre -0,041 e 0,221. Resultados similares foram encontrados para a tensão de 0,08 MPa aos 39, 49 e 58 dias após a semeadura, com os índices variando entre -0,138 e 0,108.

De modo geral, embora não quantificado o tempo, verificou-se que a resposta da planta à irrigação não foi imediata. Isto pôde ser constatado através de observação visual sobre a turgidez das plantas e nos cálculos do IEHC, porque o mesmo não retornava de imediato ao valor zero, condição em que a cultura estaria sem restrição hídrica, portanto evapotranspirando potencialmente. A provável razão para que isto ocorresse está associada ao tempo de redistribuição da água na zona do sistema radicular e a mecanismos fisiológicos da planta quando submetida a condição

de estresse hídrico. Esse comportamento também foi observado por JACKSON et al (1981), estudando a cultura do trigo.

Os valores do índice de estresse hídrico da cultura próximos de zero indicaram que o estresse aplicado ao feijoeiro não foi suficiente para afetar o metabolismo das plantas. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por GAITAN et al (1990) para a cultura do algodoeiro irrigado por gotejamento, em que diferenciavam a evapotranspiração de referência da cultura por intermédio dos fatores 1,4; 1,0 e 0,6. A provável causa para a obtenção desses baixos valores de índice foi atribuída à elevada percentagem de matéria orgânica no solo (3,9%), fato não comum para solos do cerrado, com reflexos em sua capacidade de retenção de umidade, nas camadas mais profundas, associada à reposição integral da lâmina de água consumida pelo feijoeiro, isto é, o estresse hídrico não foi cumulativo. Com isto, à medida que o sistema radicular da cultura se aprofundava, a disponibilidade de água nas camadas mais profundas era suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas, muito embora as tensões à profundidade de 15,0 cm, tomada como referência para obtenção das tensões preestabelecidas, indicasse que a cultura estava sob estresse. De acordo com OLIVEIRA & SILVA (1990), cerca de 83% das raízes do feijoeiro concentram-se nos 40 cm superficiais do solo.

Devido a problemas de operacionalidade na tomada de dados, os parâmetros ambientais e fisiológicos da planta, envolvidos no cálculo do índice de estresse, não foram obtidos simultaneamente. Isto aconteceu para parâmetros como temperaturas do dossel da cultura e do ambiente, o que pode ter sido uma provável causa dos baixos valores dos índices.

Como a resistência da cultura varia acentuadamente com a velocidade do vento (JACKSON et al. 1988) e em conjunto com o saldo de radiação, é muito importante no cálculo do índice. A variabilidade destes elementos afetaram os valores dos índices obtidos, particularmente no caso da velocidade do vento utilizada, que foi originária de valores médios obtidos no período e não de medições instantâneas, tal como os demais parâmetros.

Observou-se, em alguns dias, a existência de índices de estresse hídrico negativos, o que teoricamente não se esperava obter. Isto está associado à ocorrência de evapotranspiração dos tratamentos estressados superior à do tratamento de referência, ocasionada pelo estresse sofrido por este último devido ao excesso de umidade no solo proporcionado pelas irrigações frequentes. WANJURA et al. (1990) em estudos com algodão e sorgo, também encontraram valores negativos para o IEHC para cultura sem estresse. Atribuíram esses resultados a erros no cálculo do IEHC causados pela estimativa da resistência do dossel em condições de evapotranspiração potencial e aos cálculos da resistência aerodinâmica. Como o índice de estresse é igual a 1 menos a relação

entre a evapotranspiração da cultura em condições reais (ETR) e a potencial ou máxima (ETm) (IEHC=1-ETR/ETm), existe a possibilidade de obtenção de valores negativos. Resultados similares também foram obtidos por CLAWSON et al. (1989), para alfafa e por FOLEGATTI (1988), para o feijoeiro

Embora os índices de estresse hídrico obtidos não tenham apresentado diferenças acentuadas entre os tratamentos, os resultados indicam que a metodologia tem potencial para ser utilizada na realização de manejo de irrigação. No entanto, outras pesquisas devem ser conduzidas para um melhor ajuste do índice, principalmente no que se refere aos níveis de estresse a serem aplicados, para permitir maior diferenciação entre os tratamentos, o que proporcionará resposta da planta no que concerne à fenologia e aos componentes fisiológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G., JENSEN, M. E., WRIGHT, J. L. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.
- AMORIM NETO, M. da S. **Termometria a infravermelho associada ao balanço de energia na determinação do índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. Viçosa: UFV, 1995. 89 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- BERGAMASCHI, H., VIEIRA, H. J., OMETTO, J. C. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 733-743, 1988.
- CLAWSON, K. L., JACKSON, R. D., PINTER Jr., P. J. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 6, p. 858-863, 1989.
- FOLEGATTI, M. V. **Avaliação do desempenho de um "Sheduler" na detecção do estresse hídrico em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigada com diferentes lâminas**. Piracicaba: USP, 1988. 188 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Curso de Pós Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1988.
- GAITAN, C. A., McFARLAND, M. J., MOORE, J. Effects of plot location on the canopy temperature function and crop water stress index of cotton. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 6, p. 1933-1938, 1990.
- HATFIELD, J. L., WANJURA, D. F., BARKER, G. L. Canopy temperature response to water stress under partial canopy. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 5, p. 1607-1611, 1985.
- HOWELL, T. A., MUSICK, J. T., TOLK, J. A. Canopy temperature of irrigated winter wheat. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1692-1698, 1986.
- JACKSON, R. D., IDSO, S. B., REGINATO, R. J. et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resource Research**, Washington, v. 17, n. 4, p. 1133-1138, 1981.
- JACKSON, R. D., KUSTAS, W. P., CHOUDHURY, B. J. A reexamination of the crop water stress index. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 9, n. 2, p. 309-317, 1988.
- JENSEN, M. E., BURMAN, R. D., ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 70)
- MONTEITH, J. L., UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. 2ª ed., Edward Arnold. London, 291 p. 1990.
- NAKAYAMA, F. S., BUCKS, D. A. Crop water stress index, soilwater, and rubber yield relations for the guayule plant. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 5, p. 791-794, 1984.
- NIELSEN, D. C., ANDERSON, R. L. Infrared thermometry to measure single leaf temperatures for quantification of water stress in sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 5, p. 840-842, 1989.
- OLIVEIRA, F. A. de, SILVA, J. J. S. e. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 317-322, 1990.
- WANJURA, D. F., HATFIELD, J. L., UPCHURCH, D. R. Crop water stress index relationships with crop productivity. **Irrigation Science**. Heidelberg, v. 11, n. 1, p. 93-99, 1990.