

## EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE FOLHAS DE SORGO (*Sorghum bicolor*, L.)

Carlos Augusto Lima Porto

Antonio Evaldo Klar<sup>(2)</sup>

José Vicente Vasconcelos

Departamento de Engenharia Rural – Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP

Fone: (014) 821-3883 Fax: (014) 821-3438

18603-97' – Botucatu - SP

### 1 RESUMO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Botucatu, SP, com delineamento experimental inteiramente casualizado, com 12 repetições. A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*, L.) foi plantada em vasos que continham 8,0 kg de solo (base em peso de solo seco), pertencente ao grande grupo Terra Roxa Estruturada para os dois tratamentos: a) plantas submetidas a défices hídricos, sendo irrigadas quando o potencial de água no solo chegava a -1,5 MPa, elevando-o às imediações de -0,01 MPa), e b) plantas irrigadas constantemente por capilaridade. Todas as plantas foram irrigadas aos 55 dias após a emergência e os parâmetros avaliados foram: condutância estomática, potencial de água e teor relativo de água nas folhas mais novas totalmente expandidas, com determinações diárias entre as onze e treze horas, até que o potencial de água no solo atingisse valores em torno de -1,5 MPa. Da análise geral dos dados obtidos, pode-se inferir que a variação no status de água na folha observado através do potencial e do teor relativo de água nas folhas pode ser utilizado para indicar o momento de irrigar; ainda estas medições podem ser indicativas das plantas ou cultivares de sorgo que se mostram mais tolerantes à seca e que o mecanismo de adaptação é o “avoidance”.

**UNITERMOS:** Condutividade estomática, potencial de água na folha, teor relativo de água na folha, tolerância à seca.

**PORTO, C. A. L., KLAR, A. E., VASCONCELLOS, V. J. Water deficit on physiological parameters of soybean leaves (*Sorghum bicolor* L).**

### 2 ABSTRACT

A study was carried out at Agricultural Engineering Department, UNESP, Botucatu - SP, with a sorghum crop (*Sorghum bicolor*, L.) in order to physiologically evaluate the crop response to drought. A completely random design with twelve replications were used. Pots with 8 kg of a medium texture soil (dry weight basis) were used in order to test the influence of the two treatments: a) plants being submitted to a water stress, where irrigation were done when the water potential in the soil ( $\square$ s) were -1,5 MPa, raising it to about -0,01 MPa, and b) plants being always irrigated by capillary. The parameters evaluated were water vapor stomata conductivity, water potential and relative water content in the leaves. All plants were irrigated at 55 days after emergency, with daily determinations from eleven AM to thirteen PM, until soil water potential reaches around -1,5MPa. From the general data analysis, it can be inferred that there was a significant variation in the water status in the leaves by determinations of water potential and relative water content in the leaves, indicating that the method may be used to indicate the moment of irrigation and the plants and cultivars more tolerant to drought. Sorghum plants showed adaptation to water stress under avoidance mechanism.

**KEYWORDS:** Stomata conductivity, water potential in the leaves, relative water content, drought tolerance.

### 3 INTRODUÇÃO

As informações, até agora levantadas sobre o sistema solo-água-planta-atmosfera, relacionadas com a irrigação, são limitadas e a necessidade destas informações vem crescendo à medida que a prática irrigacionista vem se ampliando.

A deficiência hídrica provoca alterações, cuja irreversibilidade no comportamento vegetal vai depender do genótipo, duração e severidade do estresse, estágio de desenvolvimento e história prévia do estresse. As reações das plantas à falta de água no solo são manifestadas por um Quadro sintomatológico bastante complexo, sendo que as alterações nas respostas fisiológicas, ocorrem bem antes que os sintomas possam ser percebidos visualmente. O estado de água na planta representa uma integração da demanda atmosférica, potencial de água no solo, densidade e distribuição de raízes, bem como de outras características da planta. Portanto, para obter uma verdadeira medida do déficit de água da planta, a medição deveria ser feita na planta e não no solo ou atmosfera, que são medições indiretas (Clarck & Hiler, 1973).

O presente trabalho objetivou avaliar algumas das respostas fisiológicas de plantas de sorgo granífero à deficiência hídrica. As respostas foram avaliadas com relação ao, comportamento estomático, potencial de água e teor relativo de água nas folhas.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP, Botucatu, SP. Utilizaram-se vasos plásticos contendo 8.000 gramas de solo (base em peso de solo seco), classificado por Carvalho et al. (1983) como pertencente ao grande grupo Terra Roxa Estruturada.

Este solo recebeu corretivos de acidez e fertilidade, com posterior adubação de manutenção, conforme análise de solo, sendo que a correção foi realizada 40 dias antes do plantio. Todos os vasos receberam adição de uma solução completa de micronutrientes.

Cada vaso recebeu 10 sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.) e após 15 dias da germinação foi realizado desbaste deixando apenas 4 plantas por vaso, iniciando-se a diferenciação entre os tratamentos. Os tratamentos foram: a) plantas irrigadas constantemente por capilaridade; b) plantas irrigadas somente quando atingisse o potencial matricial do solo ( $\psi_s$ ) em torno de -1,5 MPa. Neste ponto, adicionava-se a quantidade de água suficiente para elevar o potencial ao valor próximo a -0,01 MPa.

O potencial de água no solo foi avaliado através de pesagens feitas diariamente em uma balança de precisão de 1,0 grama. Para tanto utilizou-se da curva característica de água do solo (Figura 1)

Aos 55 dias após a emergência das plantas, todos os vasos receberam água até em torno de -0,01 MPa de potencial de água no solo. A partir deste momento, não mais se ministrou água, iniciando-se o processo de avaliação dos parâmetros fisiológicos com observações realizadas diariamente entre 11:00 e 13:00 horas até o momento em que as plantas encontravam-se com déficit hídrico correspondente a um  $\psi_s = -1,5$  MPa, aproximadamente.

Os parâmetros avaliados foram: condutividade estomática ( $C_i$ ), potencial de água na folha ( $\psi_f$ ) e teor relativo de água da folha (TRA). Para se determinar a resistência difusiva ao vapor de água nas folhas ( $R_s = 1/C_i$ ), utilizou-se um porômetro automático modelo MK3, da Delta - T Devices (Kanemasu et al., 1969). O potencial de água no solo ( $\psi_s$ ) foi determinado através do método da placa de pressão e o potencial de água das folhas pela câmara de pressão (Scholander et al., 1965). O teor relativo de água da folha foi determinado pelo processo descrito por Klar (1988).

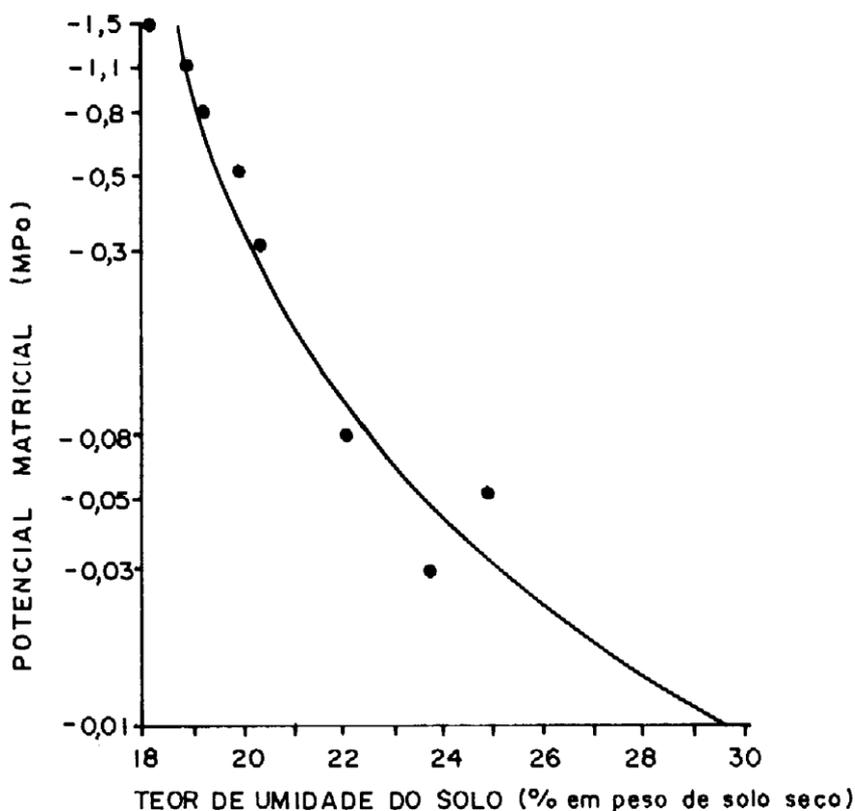


Figura 1 – Curva característica de umidade do solo (Potencial Matricial x Teor de Umidade) com base em peso de solo seco.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Potencial de Água da Folha

As alterações no potencial de água na folha ( $\psi_f$ ) das plantas de sorgo constantemente irrigadas (controle) e das submetidas a déficit hídrico (estressadas) são mostradas na Figura 2. Se observa que o potencial de água na folha ( $\psi_f$ ) manteve-se seguindo uma tendência de estabilidade até o quarto dia, com valores entre -0,58 e -0,95 MPa para os tratamentos irrigados e stressados. A partir do quarto dia, o potencial de água na folha ( $\psi_f$ ) das plantas stressadas começou a baixar (mais negativo), atingindo -2,75 MPa entre o oitavo e o nono dia. Nas plantas constantemente irrigadas, o potencial de água na folha ( $\psi_f$ ) começou a baixar gradativamente, porém com baixa intensidade, a partir do sexto dia de estresse até o nono dia, com valores em torno de -1,0 a -1,3 MPa e, a partir daí, também baixou bruscamente até atingir -3,5 MPa.

Este comportamento fazia antever um possível fechamento dos estômatos, ou seja, o potencial crítico da água na folha. Tal fato se comprova ao se medirem as condutividades estomáticas que chegaram nas imediações de zero no nono dia do tratamento irrigado por capilaridade.

Após a reirrigação, houve uma recuperação rápida com as plantas, voltando a níveis de potencial da água ( $\psi_f$ ) igual ao do início do estresse em 24 horas, com valores de -0,47 MPa para o tratamento irrigado constantemente. No tratamento submetido a estresses constantes, o nível de potencial de água nas folhas crítico foi de -2,66 MPa e no irrigado por capilaridade, -3,5 MPa, o que demonstra a capacidade de adaptação destas plantas à seca, pelo menos com base nestes parâmetros estudados. Esta assertiva pode ser confirmada por trabalhos de outros autores como o de Sanchez-Diaz & Kramer (1973) que encontraram em sorgo cultivado em casa de vegetação evolução de -0,59 a -1,89 MPa em um período de estresse, retornando aos níveis do pré-estresse após a irrigação, atingindo valores próximos de -0,58 MPa em 48 horas.

Boyer (1971) afirmou que a recuperação do potencial da água da folha ( $\psi_f$ ) por pré-estresse em girassol e milho depende da severidade da dessecação e da taxa evaporativa, e que quando não houve esta rápida recuperação foi devido ao incremento das resistências do fluxo de água no solo para o transporte até as raízes e dentro destas..

Ackerson et al. (1977) encontraram que folhas de algodão apresentaram um potencial da água na folha em torno de -1,7 MPa, ao meio dia, permanecendo constante até que o solo não podia mais fornecer água para satisfazer a demanda evaporativa. Neste ponto, o potencial diminuiu rapidamente para -2,0 MPa e, logo após a irrigação, o nível do potencial de água nas folhas voltou aos de pré-estresse. Os mesmos autores mostraram, também, que o potencial de água na folha de plantas de sorgo, cultivadas a campo, alcançou um valor máximo (mais negativo) de -2,8 MPa nas folhas das plantas não submetidas a déficit hídrico.

### 5.2. Condutividade Estomática

A alteração na condutividade estomática das folhas de sorgo irrigado constantemente (controle) e submetidas a ciclos de seca com posterior irrigação é indicada na Figura 3 que mostra que as plantas controle já apresentavam valores maiores de condutividade ( $l/R_s$ ) no início do estresse em relação às submetidas a ciclos de seca.

Nas primeiras 24 horas do ciclo de seca, as plantas controle apresentaram valores de condutividade estomática mais elevados que  $5 \text{ mm. s}^{-1}$ , enquanto as stressadas apresentavam valores de  $3,15 \text{ mm. s}^{-1}$ , indicando que estas já acionaram o mecanismo de adaptação à seca, através da ajuste osmótico, proveniente dos 55 dias de ciclos de seca. A partir deste momento, houve um gradual decréscimo na condutividade, tanto nas plantas stressadas como nas de controle. No nono dia de seca, as plantas stressadas apresentaram valor de  $0,16 \text{ mm. s}^{-1}$ , quando consideraram-se os estômatos fechados, sendo neste momento irrigadas, apresentando uma recuperação que não atingiu os valores iniciais. Com 24 horas após a irrigação, as plantas submetidas à seca apresentavam valor de  $1,38 \text{ mm. s}^{-1}$ , começando a declinar novamente. As plantas controle apresentaram uma queda acentuada do nono para o décimo dia de seca, declinando de  $1,92 \text{ mm. s}^{-1}$  até o fechamento total dos estômatos.

Em trabalho a campo com arroz, O'toole & Cruz (1980) observaram a tendência das plantas stressadas apresentarem valores da condutividade estomática menores do que as plantas stressadas com a evolução do ciclo de deficiência hídrica.

Henzel et al. (1975) encontraram que o sorgo granífero aumentou a resistência estomática ( $R_s$ ) com o cessar da irrigação e que também havia uma diferenciação entre genótipos diferentes. Concluíram, ainda, que a resistividade estomática se presta muito para melhoristas escolherem variedades resistentes à seca.

Epstein & Grant (1973) também mostraram que a resistência difusiva das folhas de batatas aumentou com o passar dos dias, mais nas plantas stressadas do que nas plantas irrigadas continuamente, com diferenças entre variedades distintas, com valores duas a três vezes maiores nas não irrigadas. Klar & Franco (1979), estudando duas variedades de batata, cuja principal diferença era a resistência ao ataque de nematóides, verificaram que as resistentes aos nematóides também eram mais tolerantes à seca. Os estudos foram desenvolvidos com as mesmas medições de resistência estomática, potencial de água e teor relativo de água nas folhas.

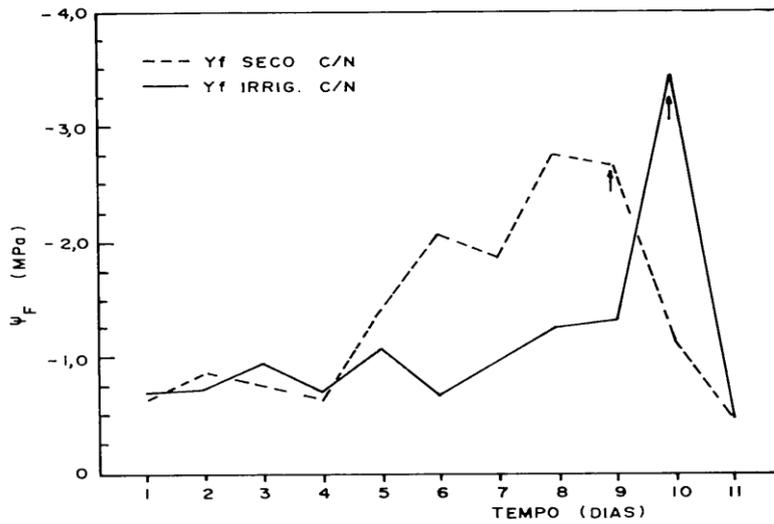


Figura 2 – Potencial da água na folha ( $\psi_f$ ) de plantas submetidas a estresse hídrico e irrigadas constantemente, em função do tempo (dias), após a suspensão da irrigação. As setas indicam o momento da reirrigação.

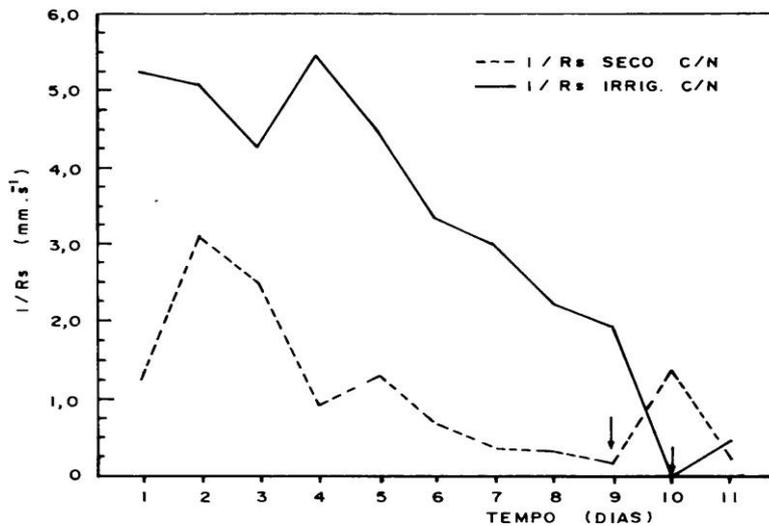


Figura 3 – Condutância estomática ( $1/R_s$ ) de plantas submetidas a estresse hídrico e irrigadas constantemente, em função do tempo (dias) após a suspensão da irrigação. As setas mostram o momento da reirrigação.

### 5.3 Teor Relativo de Água

A variação do teor relativo de água na folha (TRA) para os tratamentos irrigados por capilaridade (controle) e com ciclos de déficits hídricos é mostrada na Figura 4. O TRA, nos primeiros quatro dias do ciclo de seca, apresentou valores em torno de 90% para todas as plantas. A partir do quinto dia, começou a haver uma diferenciação entre o TRA das plantas controle e o das estressadas. Estas tiveram forte decréscimo e no oitavo dia atingiram o valor mínimo (52,7%). Nas plantas controle, o valor mínimo só foi alcançado no décimo dia, porém atingindo 34,3%. Quando se comparam as plantas controle com as estressadas, observa-se uma tendência das plantas submetidas a ciclos de estresse apresentarem a tendência de atingirem menores valores de TRA na folha, antes que as de controle, o que pode demonstrar mais ainda a capacidade destas plantas se adaptarem à seca. SHONFELD et al. (1988), em dois experimentos de anos diferentes, com trigo cultivado a campo, citando Morgan (1984), observaram que esse fato devia-se a um conseqüente ajuste osmótico.

Observa-se também que após a reirrigação, as plantas apresentaram uma rápida recuperação do TRA, voltando aos níveis iniciais em 48 horas, tanto nas plantas controle como nas estressadas.

### 5.4. Condutividade Estomática x Potencial de Água na Folha

A variação da condutividade estomática, em função do potencial da água na folha, é mostrada na Figura 5. Observa-se que houve dispersão entre os valores e significativas correlações. Mas, era esperado, houve tendência de aumento na condutividade estomática com o aumento do potencial da água na folha. Pode-se verificar que as plantas submetidas a ciclos de défices hídricos mantiveram os estômatos abertos a baixos potenciais de água na folha (em torno de  $-2,75$  MPa), enquanto as irrigadas constantemente por capilaridade atingiram o mínimo de  $-1,5$  MPa. Isto coincide com as observações de McCree (1974) e de Outar et al. (1987) em milho, de que é possível modificar o comportamento na resposta dos estômatos, em função das condições de aplicação de água. Bennet et al. (1987) encontraram resultados semelhantes. Nota-se que, enquanto a condutividade estomática variou entre valores na proximidades de zero (quando o potencial de água da folha atingia  $-2,8$  MPa) a pouco mais de  $4,0$   $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  nas plantas sob ciclos de seca, as plantas sob capilaridade tiveram variações de  $1,7$  a  $6,3$   $\text{mm}/\text{s}$  na condutividade estomática. A condutância estomática diminui com o aumento do déficit hídrico, sugerindo que o fechamento dos estômatos é consequência da diminuição da disponibilidade de água no solo às plantas. (Jordan et al., 1975).

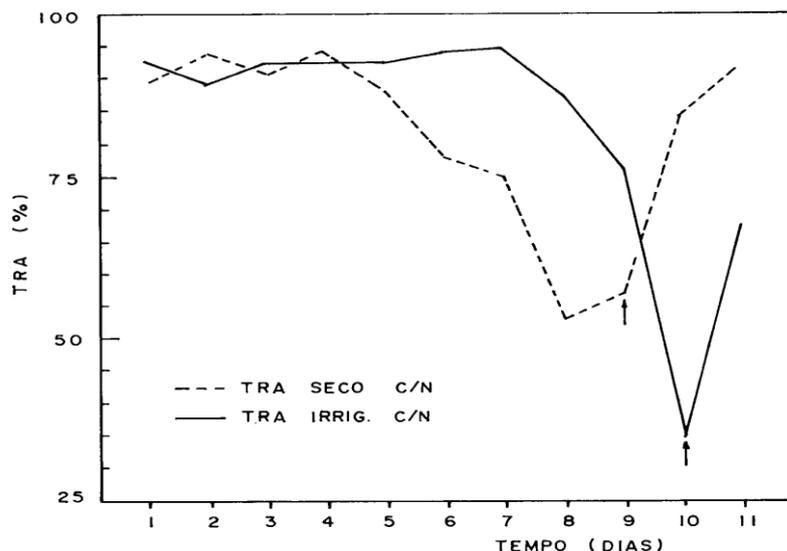


Figura 4 – Teor relativo da água na folha (TRA) de plantas submetidas à estresse hídrico e irrigadas constantemente, em função do tempo (dias) após a suspensão da irrigação. As setas indicam o momento da reirrigação.

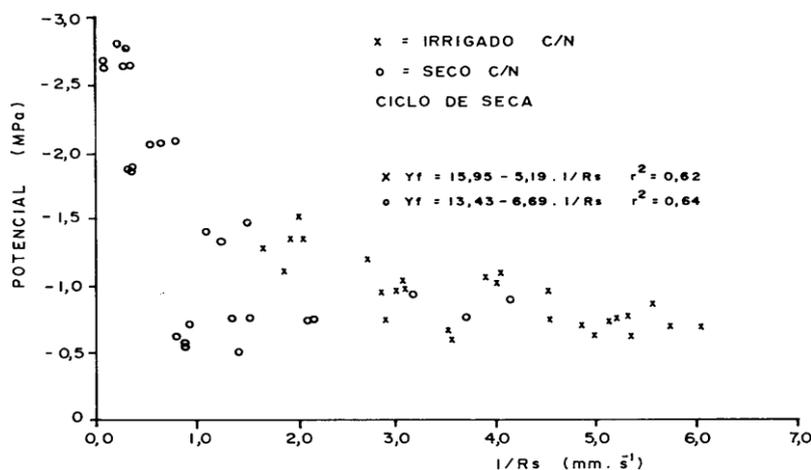


Figura 5 – Relação entre condutância estomática e potencial da água na folha durante o ciclo de estressamento para os tratamentos com déficit hídrico e controle. As setas indicam o momento da reirrigação.

### 5.5. Potencial de Água da Folha x Teor Relativo de Água

Na Figura 6 apresenta-se a evolução do potencial de água da folha, relacionado ao teor relativo de água (TRA), para os tratamentos com déficit hídrico e controle.

Observa-se que a diminuição do potencial da água da folha acompanha um conseqüente decréscimo no teor relativo de água, em relação linear, com correlação positiva para ambos os tratamentos. Observa-se, ainda, que nas plantas controle houve uma concentração dos pares de dados entre uma faixa estreita de teor relativo de água e, também, de potencial da água na folha entre 70 e 96% para o TRA correspondentes a -0,62 e -1,5 MPa. Já para os tratamentos submetidos a déficit hídrico, os valores ficaram entre uma faixa mais larga, com valores entre 43 a 96% para o TRA e -0,5 a -2,81 MPa para potencial. Isto mostra que as plantas submetidas a ciclos de seca mostraram adquirir tolerância a déficits hídricos.

Segundo Cutler et al. (1980), estas mudanças nas relações podem sugerir mudança na hidratação osmótica ou propriedades mecânicas das paredes das células, ou seja, houve ajuste osmótico.

Trabalhando com populações de capim colômbio (*Panicum maximum*), Klar et al. (1978) observaram que as plantas submetidas a estresse hídrico tiveram um maior decréscimo no potencial de água da folha ( $\psi_f$ ) por unidade de decréscimo no teor relativo de água (TRA) do que as plantas não estressadas, isto é, uma menor perda de água para um dado decréscimo no potencial. Resultados similares foram encontrados em algodão por Cutler & Rains (1977). A curva que confronta as duas variáveis pode ser utilizada para identificar cultivares ou plantas mais ou menos resistentes à seca (Klar, 1988).

5.6. Condutividade Estomática x Teor Relativo de Água

A relação entre condutividade estomática (I/Rs) e TRA é mostrada na Figura 7 para ambos os tratamentos. Observa-se que os valores críticos do TRA coincidiram com valores mais baixos de condutividade estomática (I/Rs). Estes valores mais baixos foram atingidos nos tratamentos com déficit hídrico (estressadas).

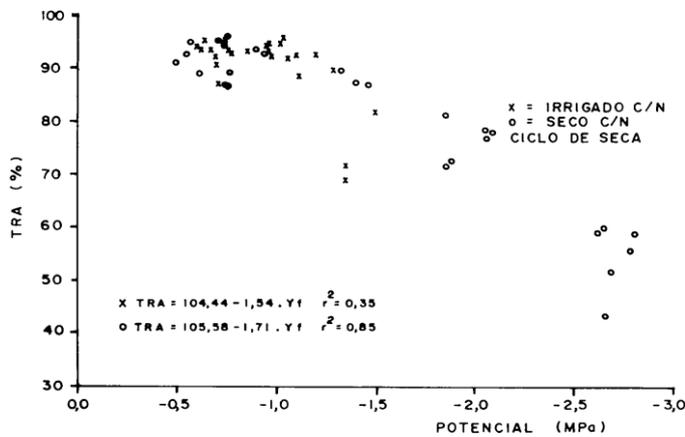


Figura 6 – Relação entre potencial da água na folha e teor relativo de água na folha durante o ciclo de estressamento para os tratamentos com déficit hídrico e controle.

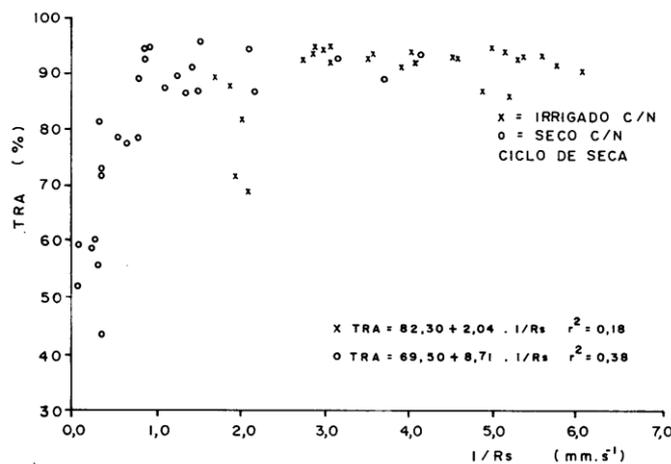


Figura 7 – Relação entre a condutância estomática e teor relativo de água na folha durante o ciclo de estressamento para os tratamentos com déficit hídrico e controle.

Com os dados obtidos durante um ciclo de estressamento, observa-se um ajuste de curva logarítmica com coeficientes de determinação para os tratamentos seco e irrigado, significativos ao nível de 0,01 de probabilidade. Houve

uma grande variabilidade na condutância estomática dentro de uma pequena faixa do teor relativo de água na folha (entre 80 e 95% de TRA) nos tratamentos sem déficit hídrico. Já nos tratamentos com déficits hídricos houve uma tendência de baixos valores de condutividade e uma variação entre uma faixa mais larga de teor relativo de água na folha entre 45 e 95%.

Diversos autores, citados por Bennet et al. (1987), afirmam que muitos estudos têm encontrado uma boa correlação entre condutividade estomática e o "status" de água da folha.

Uma possibilidade para o insucesso de encontrar uma relação entre condutividade e status da água na folha, quando submetidas à seca, é uma obtenção inadequada de dados. Portanto, são necessários métodos mais precisos para se determinar estes parâmetros fisiológicos.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados observados no presente trabalho permitem concluir que a conjunção das três variáveis estudadas, difusividade do vapor de água, potencial e teor relativo nas folhas podem levar à identificação do melhor momento para se proceder a irrigação das plantas. Também a conjunção destes três parâmetros podem identificar as plantas ou cultivares mais tolerantes à seca.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERSON, R. C.; KRIES, D. R.; MILLER, T. D. et al. Water relations of field grown cotton and sorghum: temporal and diurnal changes in leaf water, osmotic, and turgor potentials. *Crop. Science*, v. 17, p. 76-80, 1977.
- BENNET, J. M.; SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. et al. Dependence of stomatal conductance on leaf water potential, turgor potential and relative water content in field-growth soybean and maize. *Crop. Sci.*, v. 27, p. 984-990, 1987.
- BOYER, J. S. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiol.*, n. 47, p. 816-20, 1971.
- CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R., PACCOLA, J. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado. *Bol. Cient. Fac. Ciênc. Agron. Botucatu*, v. 1, p. 1-95, 1983.
- CLARK, R. N., HILER, E. A. Plant measurements as indicators of crop water deficit. *Crop. Sci.*, v. 13, p. 466-469, 1973.
- CUTLER, J.M., RAINS, D.W. Effects of irrigation history on responses of cotton to subsequent water stress. *Crop Sci.*, v. 17, p. 329-35, 1977.
- CUTLER, J. M., SHAHAN, K. W., STEPONKS, P. L. Alteration of the water regulations of rice in response to drought mardening. *Crop. Science*, v. 20, p. 307-10, 1980.
- DENADAI, I. A. M. Avaliação de alguns parâmetros fisiológicos relacionados a resistência à seca em quatro cultivares de trigo. Dissertação (Mestrado em Biologia – Área de Botânica), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1989.
- EPSTEIN, E., GRANT, W. J. Water stress relations of the potato plant under field conditions. *Agron. J.*, v. 65, p. 400-4, 1973.
- HENZELL, R. G., McCREE, K. J., VAN BAVEN, C. H. M. et al. Method for screening sorghum genotypes por stomatal sensitivity to water deficits. *Crop Sci.*, v. 15, p. 516-18, 1975.
- JORDAN, W.R., BROWN, K.W., THOMAS, J.C. Leaf age as a determinant in stomatal control of water loss flow cotton during water stress. *Plant Physiol.*, v.56, p 595-99, 1975.
- KANEMASU, E. T., THURTELL, G. W., TANER, C. B. Design, calibration, and field use a stomatal diffusion parameter. *Plant Physiol.*, v. 44, p. 881-85, 1969.
- KLAR, A. E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1988, 408 p.
- KLAR, A. E., FRANCO, J. Effects of cyst-nematodes on the water relations of two potato varieties. *Turrialba*, v. 29, p. 41-4, 1979.
- KLAR, A. E., USBERTI, A.A , HENDERSON, D.W. Differential responses of guinea grass populations to drought stress. *Crop Sci.*, v.18, p. 853-57, 1978.

- McCREE, P. J. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop. Sci.*, v. 14, p. 273-78, 19974.
- O'TOOLE, J. C., CRUZ, R. T. Response of leaf water potential stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.*, v. 65, p. 428-32, 1980.
- OUTAR, S., JONES, R. J., CROOKSTON, R.K., KAJEIOU, M. Effect of drought on water relations of developing maize kernels. *Crop Sci*, v. 27, p. 730-35, 1987.
- SANCHEZ-DIAZ, M. F., KRAMER, P. J. Turgor differences and water stress in maize and sorghum leaves during drought and recovery. *J. Exp. Bot.*, v. 24, p. 511-15, 1973.
- SCHOLLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D., HEMINGSEN, E.A . Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, p. 339-46, 1965.
- SCONFELD, M. A., JOHNSON, R. C., CARVER, B. F. et al. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop. Sci.*, v. 28, p. 526-31, 1988.