

# RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA SOJA AO DÉFICIT HÍDRICO EM DOIS SOLOS DE CERRADO<sup>1</sup>

JOSÉ EURÍPEDES DA SILVA e DIMAS VITAL S. RESCK<sup>2</sup>

**RESUMO** - As respostas fisiológicas da soja foram estudadas sob condições de estresse de água em um Latossolo Vermelho-Escuro (LVE) argiloso e em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), argilo-arenoso, através da observação da manifestação dos sintomas de murcha e, concomitantemente, pela avaliação de alguns parâmetros fisiológicos, como o conteúdo relativo de água na folha (RWC), o potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ) e a resistência difusiva dos estômatos (rs), a medida que o déficit hídrico se desenvolvia. A manifestação dos sintomas de estresse da planta em relação ao conteúdo de água no solo foi muito diferente entre os dois solos; entretanto, os valores de RWC,  $\psi_{wf}$  e rs, medidos nas plantas mostraram que os estômatos se fecharam ao ser atingido 10 bares de potencial de água na folha em ambos os solos, correspondendo a 25,5 e 19% de teor de água para o LVE e LVA respectivamente. Através dos dados foi possível fazer uma escala relacionando 4 estágios de déficit com o conteúdo de umidade do solo. O estágio de murchamento da planta, variou de 24 a 21% e de 14,5 a 12% do conteúdo de umidade do solo respectivamente, no LVE e LVA. O limite inferior destes estágios, corresponde, em ambos os solos, a valores de: 35% para RWC, 23-25 bares  $\psi_{wf}$  e, 34 s/cm para rs.

Termos para indexação: disponibilidade de água em solos tropicais.

## PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF SOYBEAN UNDER WATER STRESS IN TWO "CERRADO" SOILS

**ABSTRACT** - The physiological responses of soybean with different degrees of water stress was observed in both clay DRL (Dark Red Latosol) and sandy clay RYL (Red Yellow Latosol) cerrado soils, through the observation of RWC (Relative Water Content),  $\psi_{wf}$  (Leaf Water Potential) and rs (Stomatal Diffusive Resistance), as the stress developed. The soil water content for the same degree of plant water stress was different between the soils but the values of RWC,  $\psi_{wf}$  and rs measured in plants, show that the stomats closed at 10 bars of leaf water potential in both soils, corresponding to 25.5 and 19 % of soil water content for DRL and RYL soils, respectively. From the data, a scale with four stress stages related to moisture content of soil was made. The plant wilting ranged from 24 to 21% and from 14.5 to 12 % of moisture content in DRL and RYL, respectively. The lower limit of each range of DRL and RYL soils respectively corresponds to RWC of 35%,  $\psi_{wf}$  of 23-25 bars and rs of 34 s/cm, measured in plants in that point.

Index terms: water availability in tropical soils.

## INTRODUÇÃO

Alguns autores consideram que água útil ou disponível, é a água retida no solo entre a capacidade de campo (definida a uma tensão de 1/3 de atmosfera) e o ponto de murcha permanente (definido a uma tensão de 15 atmosferas). A utilização dessa tensão de 15 atmosferas para definir a umidade de murchamento tornou-se conhecida, durante muito tempo, como o conceito das 15 atmosferas (Richards & Weaver 1943), mas este conceito é estático, pois é considerado como sendo uma característica física constante do so-

lo (Briggs & Shantz 1911), não levando em conta a espécie, tipo ou condição ambiental em que a planta se encontra (Sykes 1969). Uma evidência disso é que a palmeira oleosa não murcha visivelmente, mesmo quando extremamente dessecada (Kozłowski 1972). Desse modo, o importante é determinar a umidade mínima disponível no solo para o crescimento da planta (Sykes 1969), não importando a que tensão está submetida. Slatyer (1957, 1960) relata, em uma ampla revisão do conceito, os raciocínios discordantes de vários autores, em que o ponto de murcha permanente varia, dentro de um mesmo solo, com a espécie, idade da planta e com as condições ambientais onde ela se encontra.

A umidade mínima do solo, que não afeta o desenvolvimento da planta, pode ser avaliada por métodos físicos, que são essencialmente relacionados com as características do solo e associados aos fisiológicos, onde a planta é utilizada como indicador de déficit hí-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 24 de janeiro de 1981. Trabalho apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Manaus, 8 a 13 de julho de 1979.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023, CEP. 73.300 - Planaltina, DF.

drico no solo, podendo com isso, apresentar dados mais próximos da realidade (Medina 1972). Dentre os métodos físicos, destaca-se o uso da membrana de pressão (Richards 1949) medição do potencial de água na folha, de resistência difusiva e da taxa fotosintética. O método de Briggs & Shantz (1911) é ainda muito usado e, apesar de clássico, esse trabalho baseia-se apenas na caracterização de um ponto final, obtido pela visualização da manifestação externa dos sintomas de murcha apresentados pela planta. Visto que a murcha visual pode não ocorrer, outros fatores da própria planta devem ser considerados, tendo em vista caracterizar a umidade mínima do solo para a realização de suas funções fisiológicas e crescimento.

Atualmente, vários trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de caracterizar o déficit hídrico no solo em função não apenas da murcha, mas também através da determinação de parâmetros fisiológicos mensuráveis em condições de laboratório e de campo. Dentre esses parâmetros, destacam-se: potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ), que pode ser medido através da "bomba de pressão" (Scholander 1965); conteúdo relativo de água na folha (RWC), que representa a quantidade de água no tecido em relação ao total que ele pode reter quando completamente túrgido (Bars & Weatherley 1962); resistência difusiva a movimentação de água na forma de vapor do interior da folha para a atmosfera, determinada através de um porômetro de difusão (Kanematsu et al. 1969, Alvim 1966).

Hsiao (1973), utilizando os parâmetros potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ) e conteúdo relativo de água na folha (RWC), tomando como base plantas inicialmente bem abastecidas de água, em condições de suave demanda evaporativa, estabeleceu algumas faixas gerais para comparação entre os graus de déficit na planta. Assim, um "déficit suave" compreende um abaixamento de  $\psi_{wf}$  de poucos bares e, um decréscimo em RWC de 8-10%; um "déficit moderado" refere-se a um abaixamento em  $\psi_{wf}$  de alguns bares, mas, menos de 12-15 e um decréscimo em RWC de 10-20%; um "déficit severo" corresponde a uma redução de  $\psi_{wf}$  de mais de 15 bares e em RWC de mais de 20%. O termo dessecação foi reservado para casos em que há remoção de mais de 50% da água do tecido.

Reunindo as observações de vários trabalhos sobre níveis de déficit e respostas da planta, Hsiao (1973) correlacionou a sensibilidade ao déficit com as manifestações de processos e parâmetros fisiológicos da planta, organizando os dados conforme mostra a Tabela 1. Dependendo da espécie, alguns desses processos, como a abertura de estômatos e a assimilação de  $CO_2$ , são afetados a níveis mais baixos de potencial

de água na folha ( $\psi_{wf}$ ), o que torna viável a sua utilização como meio de caracterizar déficits hídricos mais severos.

A variação na resistência difusiva da folha em função da disponibilidade de água no solo vem se destacando como um método viável para avaliar respostas das plantas ao déficit hídrico. Alvim (1966) desenvolveu um porômetro para medir a difusão de gases e, fazendo determinações em algodão, encontrou que a porosidade máxima da superfície da folha ocorreu próximo à capacidade de campo, enquanto que, no ponto de murcha permanente, a porosidade foi bastante baixa, significando um elevado índice de fechamento dos estômatos.

Com base nessas informações, desenvolveu-se este trabalho para determinar respostas fisiológicas da soja em condições de déficit de água em dois solos típicos da região, observando-se a manifestação visual dos sintomas de murcha e acompanhando, simultaneamente, as modificações nos parâmetros: potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ), conteúdo relativo de água na folha (RWC) e resistência difusiva de estômatos (rs), até o valor de umidade do solo em que as plantas não mais se recuperaram do murchamento quando colocadas em câmara úmida saturada.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se dois solos: Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, cujas características são mostradas na Tabela 2. Utilizou-se a soja (cultivares I0-751448 e IAC-2) como planta-reste, em vasos contendo 5 kg de terra, mantendo-se uma planta por vaso. A irrigação foi constante até os 40 dias após a emergência, findos os quais, separou-se, para cada unidade de solo, um grupo de vasos, nos quais foi suspenso o fornecimento de água. Os vasos deste grupo foram cobertos com uma folha de plástico para evitar as perdas de água no solo por evaporação superficial. A temperatura ambiental variou de 20 a 28°C e a umidade relativa manteve-se entre 60 a 65%, produzindo, apesar do controle existente, uma demanda evaporativa relativamente alta em determinados dias.

Diariamente, no período de 8 às 9 h, foram determinados nos solos em vasos irrigados e não-irrigados a umidade do solo (método gravimétrico) e, nas plantas de todos os vasos, o conteúdo relativo de água na folha (RWC), segundo Bars & Weatherley (1962); o potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ), usando-se uma bomba de pressão Cayuga, calibrada de 0 a 400 psi, de acordo com Scholander (1965) e, usando-se um porômetro de difusão LAMBDA LI-65, determinou-se a difusão de gases (porosidade da folha, abertura de estômatos), segundo Kanematsu et al. (1969). Cada observação foi tomada como média de cinco repetições.

TABELA 1. Sensibilidade geral para parâmetros e processos fisiológicos da planta ao "déficit hídrico" (Hsiao 1973).

Processo ou parâmetro afetado	Sensibilidade ao estresse		Observações
	0 bar	20 bares	
Crescimento celular	_____	_____	Tecido em rápido crescimento Tecido em rápido crescimento Folhas estioladas
Síntese da parede	_____	_____	
Síntese de proteínas	_____	_____	
Formação da protoclorofila	_____	_____	Depende da espécie Depende da espécie
Nível de nitrato redutase	_____	_____	
Acumulação de ABA	_____	_____	
Nível de citoquinina	_____	_____	
Abertura de estômatos	_____	_____	
Assimilação de CO <sub>2</sub>	_____	_____	
Respiração	_____	_____	
Acumulação de prolina	_____	_____	
Acumulação de açúcar	_____	_____	

1 A extensão das linhas horizontais representa a faixa do nível de déficit no qual o processo passa a ser afetado. As linhas interrompidas significam as reduções baseadas em dados mais recentes.

2 O potencial de água na folha ( $\psi_L$ ) de plantas com bom abastecimento de água, sob condições de uma suave demanda evaporativa, foi tomado como ponto de referência.

TABELA 2. Características químicas e físicas dos solos.

A. Análise química						
Solo	pH	Al	Ca + Mg	P	K	
		mEq/100g		ppm		
LVE	4,60	1,50	0,54	1,0	18	
LVA	4,50	0,28	0,19	1,0	15	

B. Análise textural da camada de 0-20 cm						
Solo	Argila	Silte	Areia		Class. textural	
			Grossa	Fina		
	%					
LVE	51	11	32	6	Argiloso	
LVA	37	1	57	5	Argilo-arenoso	

Ao se apresentarem os sintomas severos de murcha, os vasos foram colocados em uma câmara saturada de umidade para verificar se ainda havia recuperação da planta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Fig. 1 e 2, mostram as variações obtidas nos parâmetros RWC,  $\psi_{wf}$  e  $r_s$ , com o decréscimo do conteúdo de umidade, de 32 a 21% e de 26 a 12% de umidade nos solos LVE e LVA, respectivamente.

Até os 40 dias, época de suspensão da irrigação para observação dos efeitos do déficit hídrico, o crescimento das plantas foi satisfatório, sendo a cultivar IAC-2 de menor porte do que Lo 751448. Ambas as cultivares apresentaram a mesma tendência de comportamento nas respostas ao déficit hídrico. Observou-se que, com o decréscimo do conteúdo de água no solo, os sintomas de déficit se tornaram mais evidentes na cultivar Lo-751448.

Houve grande diferença entre os dois solos no valor da umidade em que as plantas de soja sofreram estresse severo de água. Observou-se que os intervalos de 32 a 21% e de 26 a 12% de umidade no solo representam as faixas de disponibilidade de água para as plantas no LVE e LVA, respectivamente. Conforme mostra a Tabela 2, através das características físicas dos solos, o LVE foi classificado como argiloso e o LVA, como argilo-arenoso, o que explica as diferenças entre as faixas de disponibilidade de água e a

magnitude dos valores do conteúdo de umidade de cada solo.

O conteúdo relativo de água na folha (RWC) decresceu desuniformemente com a diminuição da umidade do solo. As condições ambientais parecem responder por essas desuniformidades, já que, apesar do controle efetuado, algumas variações acentuadas na temperatura e umidade relativa não puderam ser evitadas, alterando a demanda evaporativa e o conteúdo de água na folha. Apesar disso, uma correlação linear testada entre os RWC e umidade do solo apresentou um  $R^2$  (significativo a 1%) acima de 90%, para os dois solos, indicando uma estreita associação entre os referidos parâmetros.

O potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ) variou de uma tensão de 5 a 25 bares entre os limites de 32 a 21% de umidade no LVE e de 5 a 23 bares entre os limites de 26 a 12% de umidade no LVA.

A variação do  $\psi_{wf}$ , a níveis de umidade mais elevados nos dois solos, inicialmente, foi pequena, indicando um suprimento adequado de água. Com o aumento do déficit hídrico no solo, o  $\psi_{wf}$  aumentou de maneira gradual no LVA (Fig. 2) e acentuada, no LVE (Fig. 1).

A resistência difusiva de estômatos ( $r_s$ ), nos intervalos de umidade estudados, variou de 3 para 33 s/cm no LVE e 4 para 34 s/cm no LVA. A curva de resposta em função da umidade do solo durante o desenvolvimento do déficit foi, praticamente, a mesma verificada para o  $\psi_{wf}$ , conforme mostram as Fig. 1 e 2. A

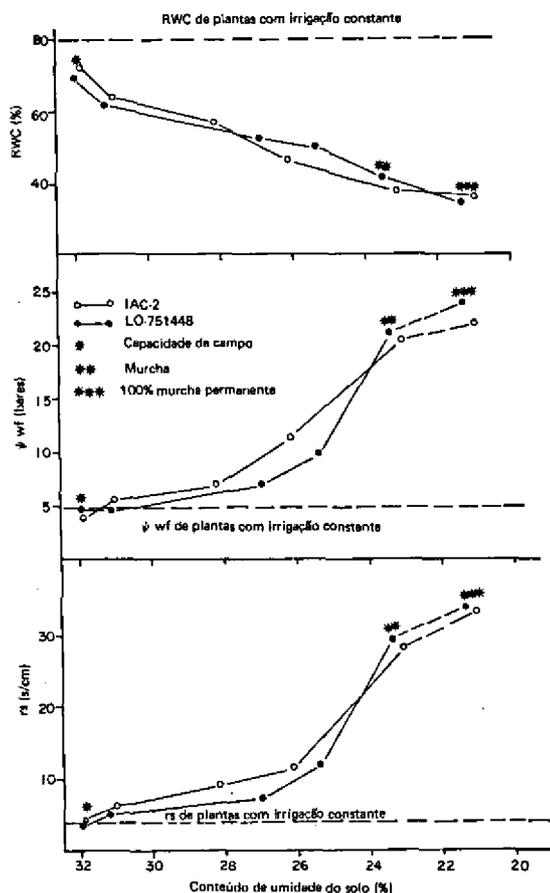


FIG. 1. Variação no conteúdo relativo de água na folha (RWC), potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ) e resistência difusiva de estômatos ( $r_s$ ) em função do conteúdo de umidade do solo LVE. (Cada ponto representa a média de 5 observações).

inclinação mais acentuada para a resistência difusiva e potencial hídrico no solo LVE (Fig. 1) se deve à sua maior capacidade de retenção e, portanto, menor disponibilidade de água para as plantas. Também poderia estar relacionado com a diferença de porosidade nos dois solos, ou seja, maior quantidade de microporos no LVE, fazendo com que este apresente menor quantidade de água disponível a baixas tensões.

Slatyer (1967) sugere que o déficit hídrico não afeta significativamente a resistência difusiva até que o potencial de água na folha atinja um valor crítico. Os dados obtidos mostram que a resistência difusiva aumentou acentuadamente a partir de 10 bares para o

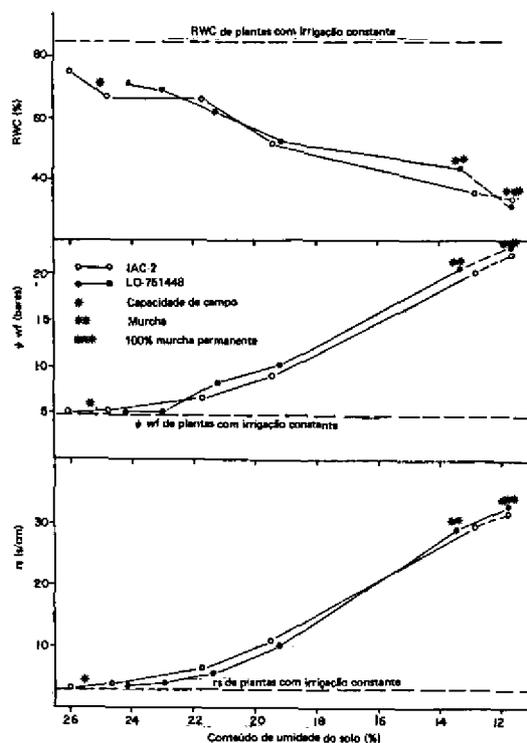


FIG. 2. Variação no conteúdo relativo de água na folha (RWC), potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ) e resistência difusiva de estômatos ( $r_s$ ) em função do conteúdo de umidade do solo LVA. (Cada ponto representa a média de 5 observações).

$\psi_{wf}$ . Este ponto crítico está diretamente relacionado com a cultura e é de grande importância nos estudos de relações solo-água-plantas. O fechamento rápido dos estômatos acima de 10 bares produz uma diminuição na acumulação de fotoassimilados, o que, em última análise, irá diminuir o rendimento final da planta. Desse modo, para evitar a queda de produção, a água de irrigação deveria ser repostada quando a umidade do solo atingisse aproximadamente 25,5% de umidade no LVE e 19% no LVA.

Combinando-se os dados experimentais (Fig. 1 e 2) e as observações visuais do comportamento da planta, elaborou-se a representação da evolução do processo de estresse hídrico para a soja nos dois solos, conforme mostra a Fig. 3. Na fase A, sem qualquer sintoma de murcha, foram observadas algumas variações no conteúdo relativo de água na folha; o potencial de água na folha e resistência difusiva de estômatos pouco variaram. O teor de água no solo no

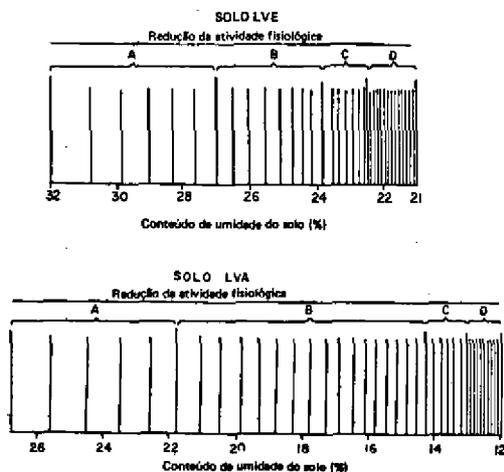


FIG. 3. Evolução do processo de murcha em função do conteúdo de umidade do solo. A maior proximidade entre os traços verticais representa um aumento no estresse hídrico da planta (A - sem sintomas de murcha; B - com alguns sintomas; C - murcha com recuperação; D - 100% com murcha permanente).

limite inferior desta fase foi de 27% no LVE e 22% no LVA. A fase B mostrou grandes diferenças entre os dois solos; alguns sintomas de murcha foram observados com o aumento de  $\psi_{wf}$  e  $r_s$ ; no limite inferior desta fase o teor de água no solo foi de 24% para o LVE e aproximadamente 14% para o LVA. As modificações no  $\psi_{wf}$  e  $r_s$  foram muito mais acentuadas no LVE do que no LVA. Na fase C, as plantas murcharam mas facilmente se recuperaram quando colocadas em câmara úmida saturada; no limite inferior desta fase o teor de água foi de 22,5% para o LVE e 13% para o LVA. Na fase D, observou-se a murcha irreversível para todas as plantas quando a umidade do solo atingiu 21% para o LVE e 12% para o LVA.

A redução verificada no conteúdo relativo de água na folha foi drástica no limite inferior de umidade estudado (déficit severo). As plantas apresentavam um abaixamento de, aproximadamente, 50% do conteúdo relativo de água, o que, segundo Hsiao (1973), corresponde a uma dessecação dos tecidos. Observou-se, entretanto, que a um RWC de 40%, algumas plantas ainda se recuperavam da murcha, quando colocadas na câmara com ambiente saturado de umidade, indicando uma relativa resistência a baixos valores de umidade no solo. Isto sugeriu, também,

que, a um determinado teor de umidade no solo, as respostas da planta dependem das condições ambientais, fenômeno já observado por Sykes (1969). Assim, em condições de alta demanda evaporativa, a perda de água dos tecidos ocorre a uma velocidade maior do que a absorção de água do solo, provocando o murchamento, mesmo havendo ainda alguma água em quantidade para ser absorvida pela planta.

A teoria desenvolvida por Sykes (1969) - de que a murcha permanente é função da condutividade hidráulica do solo até a superfície da raiz - auxilia a compreensão do fenômeno acima, uma vez que a resistência ao movimento de água no solo, associada à resistência ao movimento de água na planta e uma alta taxa de demanda evaporativa podem provocar um déficit hídrico na planta, produzindo uma murcha recuperável, mesmo havendo boas condições de umidade no solo.

Os valores de  $\psi_{wf}$  e  $r_s$  obtidos para a soja no limite inferior de umidade estudado não são muito diferentes entre os dois solos, significando que a planta está submetida ao mesmo déficit hídrico a 21% de umidade no LVE e 12% de umidade no LVA. Isto mostra que a utilização de um parâmetro fisiológico como meio de expressar o estado de água de uma planta é muito mais real do que somente o uso de uma característica física do solo. Assim, a murcha da planta ocorreu a um mesmo valor de  $\psi_{wf}$  e  $r_s$ , em solos diferentes, não importando que conteúdo de água os mesmos apresentavam. De acordo com Alvim (1968) e Sionit & Kramer (1976), os valores de  $r_s$ , apesar de variarem com a idade e desenvolvimento da planta, podem ser usados para caracterizar o balanço de água na planta, permitindo verificar a ocorrência de déficit hídrico.

O estágio definitivo de murcha foi detectado a 21% de umidade no solo LVE e a 12% no solo LVA, porém, a teores de umidade bem mais elevados, as plantas manifestaram sintomas de déficit hídrico caracterizados pela diminuição do conteúdo relativo de água na folha (RWC), aumento do potencial de água na folha ( $\psi_{wf}$ ) e aumento na resistência difusiva de estômatos ( $r_s$ ).

## CONCLUSÕES

1. O estudo das modificações dos parâmetros fisiológicos combinados com o teor de umidade do solo como meio de determinar as respostas fisiológicas da planta pela evolução de um processo de déficit hídrico permite avaliar com maior sensibilidade as respostas de planta e, possivelmente, estabelecer valores

críticos para aqueles parâmetros, de tal maneira que o estado de água na planta no qual elas começam a sofrer o déficit hídrico seja caracterizado com maior precisão do que usando-se apenas o valor da umidade do solo.

2. Os níveis mínimos de umidade no solo abaixo do qual as plantas não mais se recuperavam da murcha foram 21% e 12% de umidade nos solos LVE e LVA, respectivamente, correspondendo a um déficit hídrico na planta caracterizada por um conteúdo relativo de água de 35%, potencial de água na folha de 23 a 25 bares e resistência difusiva de estômatos de 34 a 35 s/cm. O processo de murcha iniciou-se a 25% de umidade no solo LVE, e a 19% de umidade no solo LVA.

#### REFERÊNCIAS

- ALVIM, P. de T. Some factors to be considered in diagnosing moisture deficiency by stomatal opening. *Ci. e Cult.*, 20:726-32, 1968.
- ALVIM, P. de T. Stomatal opening as a practical indicator of moisture stress in cotton. *Physiol. Plant.*, 20:308-12, 1966.
- BARS, H.D. & WEATHERLEY, P.E. A reexamination of the relative turgidity technique for estimation of water deficit in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*, 15:413-28, 1962.
- BRIGGS, L.J. & SHANTZ, H.L. A wax seal method for determining the lower limit of available soil moisture tension. *Bot. Gaz.*, 51:210-9, 1911.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. *Bot. Rev.*, 24:519-70, 1973.
- KANEMATZU, E.T.; THURTELL, G.W. & TANNER, C.B. Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. *Plant Physiol.*, 44:881-5, 1969.
- KOZLOWSKI, T.T. Shrinking and swelling of plant tissues. In: \_\_\_\_\_ . *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1972. v. 3. Cap. 1, p.1-64.
- MEDINA, H.P. Água no solo In: MONIZ, A.C. *Elementos de pedologia*. São Paulo, Polígono. 1972, Cap. 4. p.45-57.
- RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, 58:95-112, 1949.
- RICHARDS, L.A. & WEAVER, L.R. Fifteen atmosphere percentage as related to permanent wilting percentage. *Soil Sci. Baltimore*, 56:331-40, 1943.
- SCHOLANDER, P.F. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:339-46, 1965.
- SIONIT, N. & KRAMER, P.J. Water potential and stomatal resistance of sunflower and soybean subjected to water stress during various growth stages. *Plant Physiol.*, 58(4):537-40, 1976.
- SLATYER, R.O. Absorption of water by plants. *Bot. Rev.*, 26:331-92, 1960.
- SLATYER, R.O. *Plant-water relationships*. London, Academic Press, 1967. 366p. il.
- SLATYER, R.O. The significance of the permanent wilting percentage in studies of plant and soil water relations. *Bot. Rev.*, 23:585-636, 1957.
- SYKES, D.J. Reconsideração do conceito de umidade de murchamento. *Turrialba*, 19(4):525-30, 1969.