

**ENROLAMENTO E ORIENTAÇÃO DE FOLHAS DE MILHO CAUSADA POR DÉFICITS  
HÍDRICOS**

**LEAF ROLLING AND LEAF ORIENTATION OF MAIZE PLANTS DUE TO SOIL WATER  
DEFICITS**

Reimar Carlesso<sup>1</sup>

**RESUMO**

O objetivo do experimento foi quantificar o enrolamento e orientação das folhas de duas cultivares de milho submetidas a déficits hídricos aplicados antes e depois da antese das plantas. O experimento foi conduzido na Kellog Biological Station, Michigan, USA. Duas cultivares de milho, Pioneer 3576 e Pioneer 3615, foram cultivadas em três manejos da água de irrigação: (i) bem irrigado; (ii) déficit hídrico aplicado antes da antese das plantas e; (iii) déficit hídrico aplicado após a antese. Os resultados demonstraram que a cultivar Pioneer 3576 apresenta maior enrolamento das folhas do que a cultivar Pioneer 3615 para déficits hídricos aplicados antes e depois da antese das plantas. Para as duas cultivares de milho o enrolamento das folhas é maior para déficit hídricos aplicados durante o período de crescimento vegetativo das plantas, com conseqüente redução na interceptação da radiação solar. Alterações na orientação das folhas é maior para déficits hídricos aplicados antes da antese.

**Palavras-chave:** irrigação, radiação solar, dossel vegetativo, interceptação da radiação

**SUMMARY**

The objective of this experiment was to quantify leaf rolling and leaf orientation differences between two maize hybrids submitted to soil water deficits imposed before and after plant anthesis. The experiment was conducted in the Kellog Biological Station, near Kalamazoo, MI, USA. The maize cultivars, Pioneer 3576 and Pioneer 3615 were submitted to three water management system: (i) irrigated;

(ii) pre-anthesis soil water deficit and; (iii) post-anthesis soil water deficit. Results demonstrated a larger leaf rolling for the cultivar Pioneer 3576 during pre-anthesis and post-anthesis soil water deficits than the cultivar the Pioneer 3616. A larger leaf rolling, with lower plant leaf area exposed to solar radiation, was observed for both maize cultivars for pre-anthesis soil water deficit. Changes in leaf orientation of maize plants is larger during pre-anthesis soil water deficit.

**Key-words:** irrigation, solar radiation, plant canopy, radiation interception

## INTRODUÇÃO

O déficit hídrico reduz a área foliar das plantas através de modificações na arquitetura do dossel vegetativo e, por consequência, causa uma redução no coeficiente de extinção da radiação solar. Entretanto, a mudança mais visível no dossel vegetativo de uma cultura de milho submetida a déficit hídrico é o enrolamento das folhas. A intensidade do enrolamento está relacionada com o potencial de água nas folhas (BEGG, 1980; WRIGHT et al., 1983). Resultados de determinações do enrolamento das folhas de diferentes genótipos de milho mostrou uma diferença de até 50% na quantidade de radiação solar interceptada por comunidades de plantas (WRIGHT et al., 1983).

A resposta das folhas das plantas de milho ao déficit hídrico incluem enrolamento, enrugamento e murchamento bem como movimentos heliotrópicos (BEGG, 1980; LUDLOW & BJORKMAN, 1985). O enrolamento das folhas reduz a área foliar efetiva (DUNCAN, 1980; JORDAN, 1983), a radiação solar absorvida pela comunidade de plantas (JORDAN, 1983), a temperatura da folha (LUDLOW & MUCHOW, 1990) e a perda de água (JORDAN, 1983) e o movimento das folhas reduz a desidratação das plantas e, em situações de déficits hídricos intermitentes ou períodos de elevada demanda evaporativa da atmosfera contribuí para a estabilidade da produção (FISCHER & LUDLOW, 1983; FORSETH & EHLERINGER, 1980). A redução na interceptação da radiação solar do dossel vegetativo da cultura do milho em situações de déficits hídricos aplicados antes da antese é devida, principalmente, a menor expansão da área foliar e num aumento no enrolamento das folhas (CARLESSO, 1993). Entretanto, em situações de déficit hídrico terminal, não existe benefício porque o movimento das folhas possui pequena influência direta nos componentes da produção e atua na redução da taxa de uso consultivo da água, atrasando o período em que o déficit hídrico atinge um nível crítico (LUDLOW & MUCHOW, 1990).

Células buliformes são normalmente encontrados, em sulcos, na epiderme adaxial das folhas de plantas dicotiledôneas (METCALFE, 1960; FAHN, 1974; ESAU, 1965). Essas células diferem das demais

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, PhD., bolsista do CNPq, Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97119-900 -

células epidérmicas por serem maiores, com paredes finas e altamente vacuoladas (FAHN, 1974; ESAU, 1965). Apresentam baixo conteúdo de sólidos, alto teor de água e quase desprovidas de cloroplastos (ELLIS, 1976; ESAU, 1965). As mesmas são responsáveis pelo enrolamento das folhas e são extremamente sensíveis a alterações na turgescência dos tecidos foliares.

De acordo com HALL et al. (1979), folhas mais paralelas aos raios solares apresentam menor temperatura pela menor quantidade de radiação solar adsorvida. O movimento das folhas (orientação e enrolamento) ocasionam redução na quantidade de energia absorvida pela planta durante períodos de déficit hídrico, aumentam a capacidade adaptativa das plantas a condições de baixa disponibilidade de água no solo (LUDLOW & BJORKMAN, 1985).

Aspectos fisiológicos do movimento das folhas e os respectivos mecanismos morfológicos têm sido freqüentemente estudado. Entretanto, tem ocorrido pouca investigação a respeito da importância adaptativa do movimento das folhas em situações adversas de clima e manejo da cultura. Desta forma, este experimento teve como objetivos quantificar o enrolamento e orientação das folhas de duas cultivares de milho submetidas a déficit hídrico aplicado antes e depois da antese das plantas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em 1991 na Kellogg Biological Station, nas proximidades de Kalamazoo, Michigan, USA, em um solo franco arenoso. Utilizou-se uma casa de vegetação móvel para impedir as precipitações pluviométricas sobre a área experimental. A área experimental foi fertilizada utilizando-se 60 kg N ha<sup>-1</sup>, 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 60 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada em cobertura foi aplicada aos 17 dias após a emergência das plântulas (DAE) utilizando-se 100 kg N ha<sup>-1</sup>. As plantas foram raleadas para uma população de 7,2 plantas m<sup>-2</sup>.

Três manejos da água de irrigação foram utilizados como tratamentos: (i) irrigado; (ii) déficit hídrico aplicado antes da antese das plantas (o déficit hídrico, período entre duas irrigações consecutivas, ocorreu de 21 DAE (sexta bainha das folhas) a 49 DAE) e; (iii) déficit hídrico aplicado após a antese (o déficit hídrico ocorreu no período de 49 DAE a 77 DAE). As cultivares de milho Pioneer 3576 e Pioneer 3615 foram semeados, em linhas, no dia 27 de maio de 1991. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, em duas repetições. Os tratamentos com irrigação foram realizados nas parcelas principais e as cultivares de milho na subparcela. As parcelas experimentais constaram de seis linhas de milho espaçadas em 75 cm e dimensões de 4,5 metros de largura e seis metros de comprimento.

O enrolamento foi determinado diariamente em intervalos de aproximadamente duas em duas horas durante o período do déficit hídrico em quatro plantas selecionadas por parcela. Nessas plantas, duas folhas em expansão (folhas 9 e 10), foram utilizadas para estimar o enrolamento médio das folhas das plantas submetidas a déficit hídrico durante o crescimento vegetativo. As folhas de número 13, 15 e 17 foram utilizadas para a estimativa do enrolamento médio das folhas durante o déficit hídrico aplicados após a antese. Duas posições (metade e a 3/4 da extremidade) foram marcadas em cada folha para o cálculo da fração enrolada da folha. A porcentagem de enrolamento foi determinada pela razão entre a largura da folha enrolada, medida por um paquímetro, e a largura da folha desenrolada. A média diária do enrolamento das folhas foi determinada pela integração das medidas do enrolamento realizadas entre as 8:00 e 19:00 horas.

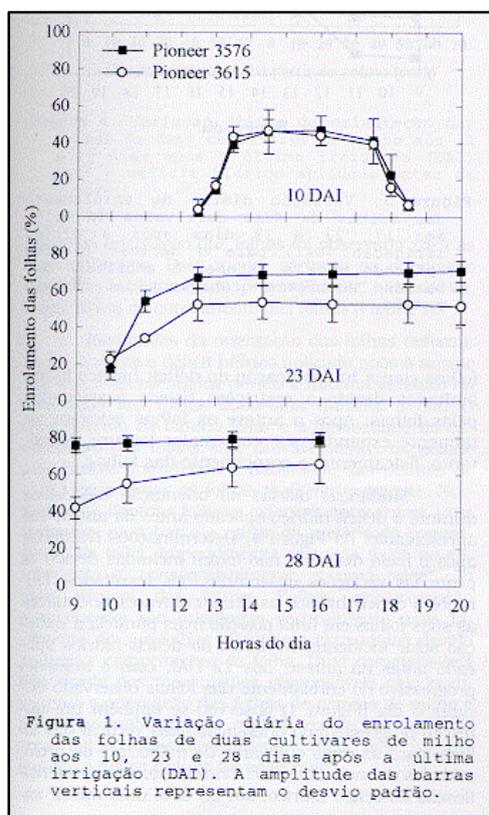
A orientação das folhas foi medida várias vezes ao dia e em diferentes dias durante o período de déficit hídrico em quatro plantas previamente marcadas em cada parcela experimental. A orientação das folhas foi obtida através da determinação da distância vertical e horizontal de quatro posições marcadas em cada folha (bainha, extremidade da folha, 1/4 e 1/2 do comprimento da lâmina foliar a partir da extremidade da folha). O colmo da planta e a superfície do solo foram utilizados como pontos de referência para as determinações das distâncias horizontal e vertical de cada posição marcada na folha. As folhas de número 9 e 10 (folhas em fase de alongação) foram utilizadas para a determinação da orientação das folhas nas plantas submetidas a déficit hídrico antes da antese e, as folhas de número 13, 15 e 17 foram utilizadas para o déficit hídrico aplicado após a antese.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Não foi observado enrolamento das folhas das plantas submetidas aos tratamentos irrigados mesmo em dias típicos, com temperaturas superiores a 35°C, e baixa umidade relativa do ar. A variação diária do enrolamento das folhas para as duas cultivares para o déficit hídrico aplicado antes da antese das plantas é apresentada na Figura 1. No início do déficit hídrico, aos 10 dias após a última irrigação (DAI), o enrolamento das folhas foi similar para as duas cultivares. O enrolamento somente ocorreu nas horas mais quentes do dia, principalmente das 13:00 às 17:00 horas, e após este período as plantas apresentaram todas as folhas desenroladas. Aos 23 DAI, com a intensificação do déficit hídrico uma menor variação diária do enrolamento foi observada para as duas cultivares. Entretanto, um maior enrolamento foi observado para a cultivar Pioneer 3576 durante o período diurno do dia.

No final do período de déficit hídrico, aos 28 DAI, uma menor variação diária do enrolamento foliar foi observado para as duas cultivares. Com o aumento da intensidade do déficit a cultivar Pioneer

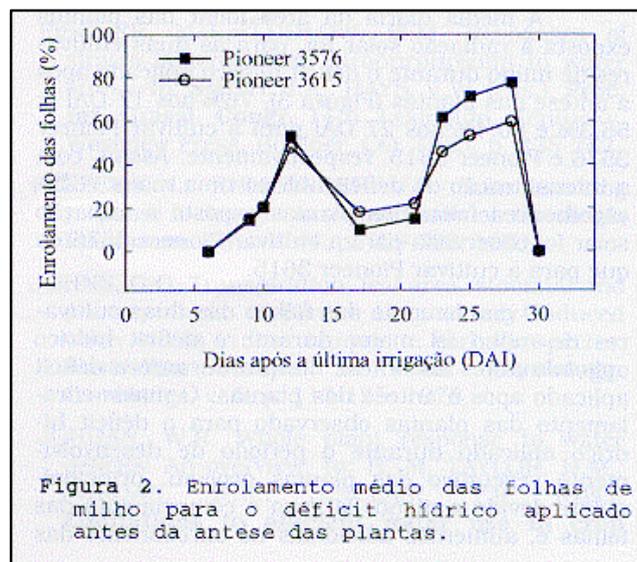
3576 apresentou maior enrolamento das folhas e, conseqüentemente, menor área foliar exposta a radiação solar que a cultivar Pioneer 3615. A média diária da área foliar das plantas de milho exposta a radiação solar foi 38% e 54% aos 23 DAI e 22% e 40% aos 28 DAI para as cultivares Pioneer 3576 e 3615, respectivamente. Esses resultados evidenciam diferenças no enrolamento das folhas entre as duas cultivares de milho. De acordo com JORDAN (1983), o enrolamento das folhas em resposta ao déficit hídrico proporciona às plantas um rápido, sensível e reversível mecanismo para reduzir as perdas de água por transpiração. Uma característica importante do mecanismo responsável pelo enrolamento das folhas é a rapidez do aumento da área foliar exposta a radiação (desenrolamento das folhas) após o término do déficit hídrico, como pode ser observado aos 30 DAI com a reaplicação de irrigação nas plantas submetidas a déficit hídrico antes da antese (Figura 2). Além disso, de acordo com CARLESSO (1993), o enrolamento das folhas é uma importante característica morfológica durante períodos de déficit hídrico, pois a redução da área foliar exposta a radiação solar é realizada através de um mecanismo reversível do que um mecanismo irreversível como na elongação das folhas.



A média diária do enrolamento das folhas aumentou progressivamente durante o período de déficit hídrico e foi similar para as duas cultivares no início do déficit hídrico (Figura 2). A ocorrência de um período de baixa demanda evaporativa da atmosfera, de 17 a 22 DAI, ocasionou diferenças no

enrolamento para as duas cultivares. Neste período o enrolamento foi menor (maior área foliar exposta a radiação) para a cultivar Pioneer 3576 do que para a cultivar Pioneer 3615. Entretanto, com a intensificação do déficit hídrico a cultivar Pioneer 3576 aumentou o enrolamento das folhas reduzindo a quantidade de radiação solar interceptada.

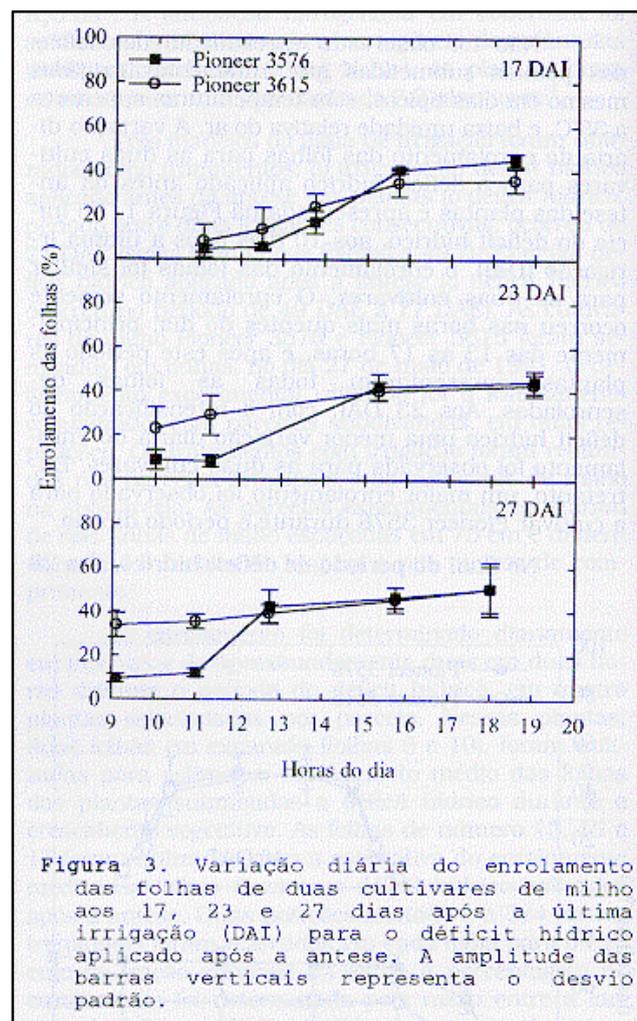
No final do período de déficit hídrico aplicado antes da antese a cultivar Pioneer 3576 apresentou 78% da área foliar das folhas enrolada. De acordo com DUNCAN (1980) o enrolamento das folhas de milho submetidas a déficit hídrico reduz as perdas de água da planta pela cobertura dos estômatos, diminui a área foliar exposta a radiação solar e, conseqüentemente, a radiação solar absorvida. Para OPPENHEIMER (1960), o enrolamento das folhas pode ocasionar uma redução na transpiração das plantas entre 50% e 70% e, desta forma, aumentar a eficiência do uso da água (JOHNS, 1978). Após o término do déficit hídrico, com a aplicação de uma lâmina de água de 75mm através do sistema de irrigação, uma redução imediata no enrolamento das folhas foi observado para as duas cultivares de milho.



As cultivares de milho apresentaram diferentes porcentagens de enrolamento das folhas durante o déficit hídrico aplicado após a antese das plantas (Figura 3). Menor variação diária no enrolamento das folhas foi observado para a cultivar Pioneer 3615 e, próximo do final do período de déficit hídrico (27 DAI), o enrolamento das folhas desta cultivar foi praticamente constante durante o dia. A cultivar Pioneer 3576 apresentou um acentuado aumento no enrolamento das folhas nas horas próximas ao meio dia solar e mantendo-se praticamente constante durante o restante do dia. Entretanto, com a intensificação do déficit hídrico o enrolamento das folhas aumentou progressivamente durante o período da manhã para a cultivar Pioneer 3576, havendo recuperação do enrolamento, com aumento da turgescência das folhas, durante o período noturno.

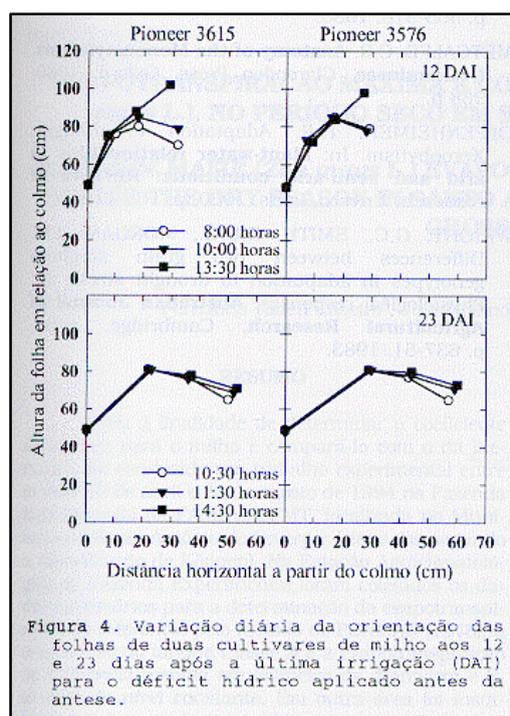
A média diária da área foliar das plantas exposta a radiação solar foi, para as duas cultivares de milho durante o déficit hídrico aplicado após a antese das plantas (Figura 3), 76% aos 17 DAI e, 55,3% e 60,4% aos 27 DAI para a cultivar Pioneer 3576 e Pioneer 3615, respectivamente. Assim, com a intensificação do déficit hídrico uma maior redução da área foliar das plantas exposta a radiação solar foi observada para a cultivar Pioneer 3576 do que para a cultivar Pioneer 3615.

O enrolamento das folhas das duas cultivares de milho foi maior durante o déficit hídrico aplicado antes da antese do que durante o déficit aplicado após a antese das plantas. O maior enrolamento das plantas observado para o déficit hídrico aplicado durante o período de desenvolvimento vegetativo das plantas ocorreu, principalmente devido a menor largura e comprimento das folhas e, aumentos adicionais no enrolamento das folhas com a intensificação do déficit hídrico foram limitados devido a restrições físicas ocasionadas pelas folhas. Após a antese as folhas estavam totalmente expandidas e com maior largura dificultando, fisicamente, o enrolamento das folhas.



Mudanças diárias na orientação das folhas durante o déficit hídrico aplicado antes da antese são apresentadas na Figura 4. Determinações realizadas após o meio dia solar não foram incluídas devido as pequenas variações observadas nos resultados. Durante o déficit hídrico as duas cultivares orientaram as suas folhas em uma posição mais paralela a radiação solar incidente. No início do déficit hídrico aplicado antes da antese, aos 12 DAI, com o aumento progressivo no enrolamento das folhas observado durante o dia (Figura 1) observou-se também um aumento progressivo na orientação mais vertical das folhas, para as duas cultivares de milho, até as proximidades do meio dia solar. Entretanto, com a intensificação do déficit hídrico, aos 23 DAI, uma menor variação na orientação das folhas foi observada para as duas cultivares. Essa menor variação na orientação das folhas está associada, provavelmente, a menor variação diária do enrolamento das folhas (Figura 1).

Resultados da orientação das folhas determinadas durante o déficit hídrico aplicado após a antese não foram apresentados devido a mínima variação na orientação das folhas observada durante o dia. O comprimento da lâmina foliar e a intensidade do enrolamento das folhas são, provavelmente, os principais fatores que afetam a habilidade das plantas de milho em orientar as folhas mais verticalmente. Normalmente lâminas foliares extensas apresentam uma curvatura para baixo a partir da metade do comprimento da folha, impondo uma restrição física ao enrolamento e, conseqüentemente, a uma orientação mais vertical das folhas. Folhas em expansão (crescimento) são orientadas verticalmente mais facilmente do que folhas totalmente expandidas devido ao menor comprimento da folha. Uma característica importante dos mecanismos responsáveis pelo enrolamento e orientação das folhas de plantas de milho é a sua reversibilidade e rapidez na recuperação da área foliar fotossinteticamente ativa



das plantas quando o déficit hídrico for encerrado.

## CONCLUSÕES

A cultivar de milho Pioneer 3576 apresenta maior enrolamento das folhas do que a cultivar Pioneer 3615 para déficits hídricos aplicados antes e depois da antese das plantas. O enrolamento das folhas é maior para déficits hídricos aplicados durante o período de crescimento vegetativo das plantas, com conseqüente redução na interceptação da radiação solar. Alterações na orientação das folhas é maior para déficits hídricos aplicados antes da antese.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEGG, J.E. Morphological adaptations of leaves to water stress.. In: N.C. Turner, and P.J. Kramer (eds.). **Adaptations of plants to water and high temperature stress**. Wiley & Sons, Inc., New York.1980, p. 33-42.
- CARLESSO, R. **Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments**. East Lansing: MSU, 1993. 275 p. Tese (Ph.D. em Crop and Soil Science). Departament of Crop and Soil Science Michigan State University. East Lansing, 1993.
- DUNCAN, W.G. Maize. In EVANS, L.T. (ed.). **Crop physiology: Some case histories**. Cambridge Univ. Press, Cambridge, England. 1980, p. 23-51.
- ELLIS, R.P. A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the Poaceae. I. The leaf-blade as viewed in transverse section. **Bothalia**, Pretoria, v. 12, p. 65-109, 1976.
- ESAU, K. **Plant Anatomy**. John Wiley & Sons, Inc., New York. 1965, 463 p.
- FAHN, A. **Plant Anatomy**. Page Bros (Norwich) Ltd., Oxford. 1974, 536 p.
- FISCHER, M.J., LUDLOW, M.M. Responses of siratro (*Macroptilium atropurpureum*) to water stress. In: SMITH, J.A., HAYS, V.W. (eds.). **Proc. Int. Grassl. Congr.** 14th. Lexington, Kentucky. Westview Press, Boulder, CO. 1983, p. 235-242.
- FORSETH, I., EHLERINGER, J.R. Solar tracking response to drought in a desert annual. **Oecologia Plantarum**, Paris, v. 44, p. 159-163, 1980.
- JOHNS, G.G. Transpiration, leaf area, stomatal and photosynthetic responses to gradually induced water stress in four temperate herbage species. **Australian Journal of Plant Physiology**, Cambridge, v. 5, p. 113-125, 1978.
- JORDAN, W.R. Whole plant response to water deficits: An overview. In: H. M. TAYLOR, H.M., JORDAN, W.R., SINCLAIR, T.R. (eds.). **Limitations to efficient water use in crop production**.

- ASA Special Publication. ASA – CSSA - SSSA, Madison, WI. 1983, p. 289-317.
- HALL, A.E., FOSTER, K.W., WAINES, J.G. Crop adaptation to semi-arid environments. In: CANNELL, G.H., LAWTON, H.W., HALL, A.E. **Agriculture in semi-arid environments**. Springer-Verland, Berlin, 1979, p. 148-179.
- LUDLOW, M.M., MUCHOW, R.C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, New York, v. 43, p. 107-153, 1990.
- LUDLOW, M.M., BJORKMAN, O. Paraheliotropic leaf movement in Siratro as a protective mechanism against drought- induced damage to primary photosynthetic reactions: damage by excessive light and heat. **Planta**, Berlin, v. 161, p. 505-518, 1985.
- METCALFE, C.R. **Anatomy of the Monocotyledons. I. Gramineae**. Clarendon Press, Oxford, 1960, 968 p.
- OPPENHEIMER, H.R. Adaptation to drought: Xerophytism. In: **Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions: Reviews of research**. Unesco, Paris. 1960, p. 105-112.
- WRIGHT, G.C., SMITH, R.C.G., MORGAN, J.M. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. III. Physiological responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Cambridge, v. 34, p. 637-51, 1983.