

## **CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE PLANTAS JOVENS DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) SUBMETIDAS A DIFERENTES ESTRESSES HÍDRICOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL.**

Yvens Ely Martins Cordeiro<sup>1</sup>, Marco Silva Vale<sup>2</sup>, Benedito Gomes dos Santos Filho<sup>3</sup>, Heriberto Wagner Amanajás Pena<sup>4</sup>, Manoel Tavares de Paula<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Av. Tancredo Neves s/n, Cx. Postal, 917, CEP: 66077-530-Belém (PA); Email: [yvenscordeiro@yahoo.com.br](mailto:yvenscordeiro@yahoo.com.br); <sup>2</sup> [yvensely@bol.com.br](mailto:yvensely@bol.com.br); <sup>3</sup> [santos.filho@ufra.edu.br](mailto:santos.filho@ufra.edu.br); <sup>4</sup> [heripena@yahoo.com.br](mailto:heripena@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Universidade do Estado do Pará (UEPA), Rua do Uma, 156, Telégrafo, Cx. Postal, , CEP: 66050-540-Belém (PA). E-mail: [tavares@uepa.br](mailto:tavares@uepa.br)

### **ABSTRACT**

In the Amazon rainforest, the Acai Palm (*Euterpe oleracea* Mart.) Stands out for being the most productive palm this estuary, both in fruits and in plant-derived genres. Thus, the experiment was conducted in a greenhouse, with the aim of evaluating the growth and gas exchange of young plants of young açai under different water stress in the months from September to November 2011. Young plants of açai, 6 months old, sexually propagated, were transplanted to pots containing 6 kg of a dystrophic yellow. After 30 days of transplantation (acclimation period), the experiment was conducted in a completely randomized design with two treatments (control and drought) and five replications. The biophysical variables, determined in the period from 9:00 to 11:00 pm, were subjected to analysis of variance and analyzed by linear regression, whose significance was determined by F test ( $P < 0.05$ ). The evaluation of treatment was performed at 0, 4, 8, 12 and 16 days of imposition of water deficit. The effects of drought were evaluated by means of growth parameters and gas exchange, related to the control of stomatal opening and closing and maintenance of leaf water status. The period of sixteen days after withholding water was sufficient to promote a significant water deficit. Thus, it was observed that the predawn water potential was reduced to -2.58 MPa to -0.03 MPa. For stomatal conductance, it was observed that the course of the day of the experiment followed the same pattern as for perspiration, but with opposite concavity regressions obtained for each of the treatments. Water deficit for sixteen days resulted in considerable changes in biophysical variables evaluated, especially in stomatal conductance, whose reduction was not by itself an effective strategy in maintaining leaf water status. Water deficit for sixteen days resulted in significant reductions in all variables evaluated growth.

**Keywords:** Stress, transpiration and stomatal conductance.

### **RESUMO**

Na floresta Amazônica, o açazeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) destaca-se por ser a palmeira mais produtiva desse estuário, tanto em frutos como em gêneros derivados da planta. Sendo assim, o experimento foi realizado em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar o crescimento e trocas gasosas de plantas jovens de açai submetidas a diferentes estresses hídricos, nos meses de setembro a novembro de 2011. Plantas jovens de açai, de 6 meses de idade, propagadas sexualmente, foram transplantadas para vasos contendo 6 kg de um latossolo amarelo. Após 30 dias do transplante (período de aclimação), o experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (controle e déficit hídrico) e cinco

repetições. As variáveis biofísicas, determinadas no período de 9:00 às 11:00hs, foram submetidas à análise de variância e posteriormente analisadas por meio de regressão linear, cuja significância foi averiguada pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

A avaliação dos tratamentos foi realizada nos tempos 0, 4, 8, 12 e 16 dias da imposição do déficit hídrico. Os efeitos do déficit hídrico foram avaliados por meio de variáveis de crescimento e trocas gasosas, relacionados ao controle da abertura e fechamento estomático e manutenção do *status* hídrico foliar. O período de dezesseis dias após a suspensão da irrigação foi suficiente para promover um déficit hídrico expressivo. Assim, foi observado que o potencial hídrico de antemanhã foi reduzido de -0,03 MPa para -2,58 Mpa. Para a condutância estomática, foi observado que o curso dos dias de experimento seguiu o mesmo padrão observado para a transpiração, mas com a concavidade inversa das regressões obtidas para cada um dos tratamentos. O déficit hídrico por dezesseis dias resultou em alterações consideráveis nas variáveis biofísicas avaliadas, principalmente na condutância estomática, cuja redução não foi por si só, uma estratégia eficiente na manutenção do *status* hídrico foliar. O déficit hídrico por dezesseis dias resultou em reduções significativas em todas as variáveis de crescimento avaliadas.

**Palavras-chave:** Estresse, transpiração e condutância estomática.

## INTRODUÇÃO

A Amazônia é composta por um conjunto de ecossistemas diversificados e na sua maioria frágeis. A ação antrópica, através da implantação de monoculturas ou atividades agropecuárias, tem causado efeitos desastrosos para o equilíbrio desses ecossistemas (ROGEZ, 2000). As várzeas e igapós proporcionam condições biológicas ao desenvolvimento do açazeiro (*E. oleracea*), por apresentarem condições de inundação, circulação de nutrientes e iluminação razoável. A composição florística é bastante similar, no entanto, possuem características físico-químicas próprias (SILVA e ALMEIDA, 2004). O açazeiro se desenvolve bem nesses ecossistemas, porém, os diferentes padrões de adaptabilidade estrutural permitem pleno desenvolvimento reprodutivo em áreas de terra firme (VIÉGAS et al., 2004).

A utilização do açazeiro engloba todas as partes vegetais, destacando-se, principalmente os frutos e o palmito, os quais apresentam uma elevada importância econômica para a indústria Amazônica Brasileira. O principal produto oriundo do fruto é uma bebida de consistência pastosa, denominada açai. Essa consistência da bebida é devido aos elevados teores de amido e pectina encontrados na parte comestível do fruto. O vinho do açai é obtido com a adição de água durante o processamento dos frutos (JARDIM e ANDERSON, 1987).

Para Oliveira, *et al.* (2000), o açai, juntamente com a farinha de mandioca e o peixe é um ingrediente básico na dieta da população rural. Como a fruta é produzida anualmente durante um período de 6 a 7 meses, serve como uma fonte importante de renda, pois além da fruta, se extrai o palmito, e os troncos

são usados para cercas, material de construção de casas rurais e pontes, ou combustível para as olarias da região. Depois de extraí o vinho, o resíduo da fruta, que consiste no pericarpo e sementes, serve como ração para porcos e aves. Quando desintegrado, o mesmo material se converte em um solo orgânico de alta fertilidade. As folhas são empilhadas na base da planta e servem como adubo orgânico.

O açaí é uma espécie tipicamente tropical, desenvolve-se melhor e apresenta maior produtividade em locais com climas quentes e úmidos, podendo ser cultivado tanto em solos de terra firme como solos de várzea. A espécie dispõe de mecanismos adaptativos para sobreviver em solos com baixa tensão de oxigênio, no entanto, o seu cultivo em áreas permanentemente inundadas não é recomendado, pois o crescimento da planta e a produção de frutos são bastante afetados (LIU e DICKMANN 1993)

A água retida nos tecidos da planta é dependente do balanço entre a absorção de água do solo pelas raízes e a água perdida por transpiração. Disponibilidade de água no solo e outros fatores que reduzam a absorção e o transporte de água podem induzir uma deficiência hídrica nos tecidos. O principal fator que causa o estresse de falta de água nas plantas é a seca, que pode ser quase permanente em áreas desérticas, sazonal em áreas com estações definidas de chuva ou imprevisíveis como em climas muito úmidos (KRAMER , 1980).

Em condições naturais, mesmo plantas que possuem como habitat os locais úmidos, como o açaí, são submetidas a déficit de água em anos mais secos. A capacidade de tolerar um estresse moderado é importante para a propagação da espécie, em ambientes diferentes do seu habitat natural (LIU e DICKMANN 1993).

Na região Amazônica, o clima predominante é do tipo Afi, caracterizado pela abundância de chuvas durante todo o ano (acima de 2.500 mm anuais) e, no mês de menor precipitação, as chuvas alcançam mais de 60 mm, segundo a classificação de Köppen, destacando-se por um período chuvoso, de dezembro a maio, com precipitação total média de aproximadamente 3000 mm (BASTOS et al., 1986). Contudo, o plantio de mudas pode ocorrer em meses mais secos do ano, ou naqueles sujeitos a períodos de veranico. Nesse caso, a evapotranspiração geralmente excede as médias das precipitações, caracterizando uma condição de deficiência hídrica limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (KRAMER; BOYER, 1995).

Em se tratando das relações hídricas, os mecanismos de controle da abertura e fechamento estomático recebem atenção especial, uma vez que essas estruturas permitem a perda de vapor d'água pela planta no processo de transpiração. Considerando-se que na transpiração o movimento de vapor d'água entre folha e atmosfera se dá as custas de um gradiente de concentração de vapor d'água entre esses meios, tendo obrigatoriamente que ser maior nos espaços intercelulares, pode-se inferir que a transpiração não é governada

apenas pelo grau de abertura estomática (KRAMER; BOYER, 1995). Isto porque, mesmo com os estômatos abertos, se a concentração de vapor d'água na folha for inferior a da atmosfera circundante, a transpiração é nula ou extremamente baixa. Esse fenômeno pode ser observado quando o ar encontra-se saturado, no qual geralmente a temperatura do ar é maior que a da folha (KRAMER; BOYER, 1995).

Em verdade, é bem entendido que diversas variáveis ambientais, tais como a temperatura e umidade relativa do ar, a radiação incidente, a temperatura da folha e o déficit de pressão de vapor (DPV) influenciam sobremaneira as taxas de condutância estomática ( $g_s$ ), logo, influenciam a transpiração. O déficit de pressão de vapor d'água entre folha e atmosfera é calculado com base na temperatura e umidade relativa do ar (UR) além da temperatura da folha (LANDSBERG, 1986). Ao longo de um dia tipicamente claro nas regiões tropicais (ausência de nebulosidades), a radiação tem picos mínimos nas primeiras horas do dia e ao final da tarde; e pico máximo por volta de meio-dia, podendo ser representada por uma função de segundo grau (parábola). Assim, o aumento da radiação traduz-se comumente em aumento na temperatura do ar e da folha e diminuição da UR, resultando, em última análise, em incremento no DPV, que em geral também pode ser descrito por uma função de segundo grau, cujo máximo ocorre entre 12:00 e 14:00 h.

A tolerância à seca em plantas não é um mecanismo simples, mas sim um complexo de adaptações que trabalham em conjunto ou isoladamente para evitar ou tolerar períodos longos de déficit hídrico. Portanto, períodos de seca tornam limitante a produtividade das plantas sempre que a deficiência hídrica é suficiente para interferir na assimilação de carbono e produção de fotoassimilados (TAIZ e ZEIGER, 2009; CORDEIRO et al, 2009).

O potencial hídrico depende de uma série de componentes, destacando-se a componente osmótica, ou potencial osmótico ( $\square_s$ ), que, por seu turno, é dependente da concentração de solutos do meio (KRAMER; BOYER, 1995). Assim, quando um solo perde água por percolação, evaporação ou evapotranspiração, o  $\square_s$  do mesmo é consideravelmente reduzido até que a água do mesmo seja repostada. Ademais, com a contínua perda de água do solo, o potencial hídrico passa também a ser governado pela sua componente mátrica ( $\square_m$ ), uma vez que a água disponível para as raízes passa a ficar mais fortemente retida a matriz coloidal do solo (KRAMER; BOYER, 1995). Esse tipo de resposta pode ser evidenciado em plantas de café conilon submetidas ao déficit hídrico, em que variações muito pequenas no potencial hídrico de antemanhã induziram rápido decréscimo na  $g_s$ , decréscimo este de caráter logarítmico (PINHEIRO et al., 2005). O mesmo tendo sido observado em árvores de kiwi (GUCCI et al., 1996), acerola (NOGUEIRA et al., 2001) e em várias outras espécies arbóreas do cerrado (PEREZ; MORAES, 1991).

Poucos trabalhos relatam as relações hídricas em plantas jovens de açaí quando submetidos à deficiência hídrica em sua fase inicial de crescimento. Além disso, pouco se conhece a cerca das flutuações diárias do comportamento estomático e transpiratório sob condições irrigadas ou de seca, tampouco os fatores que governam tais mecanismos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e as trocas gasosas de plantas jovens de açaí (*E. oleracea* Mart) submetidas a diferentes estresses hídricos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Instituto de Ciência Agrárias (ICA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (01°28'03"S e 48°29'18"L) Belém-Pa, nos meses de setembro a novembro de 2011. Plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart), de 6 meses de idade, propagadas sexuadamente, oriundas do Laboratório de Sementes e Mudanças Florestais da Aimex (Benevides-Pa) e transplantadas (uma planta por vaso) em vasos contendo 6 kg de latossolo amarelo, textura média, previamente seco ao ar e peneirado. Durante todo o período experimental, as plantas foram mantidas em casa de vegetação, com irrigações diárias a fim de repor a água perdida por evapotranspiração. Esta operação foi realizada individualmente em cada vaso, levando-se em conta as pesagens diárias individuais de cada conjunto (vaso + solo + planta). O controle de ervas daninhas foi realizado por meio de capina manual, enquanto nenhuma ocorrência de pragas foi registrada.

Após 30 dias do transplântio (período de aclimatação), as plantas foram submetidas à irrigação diferenciada, compondo dois regimes hídricos diferentes: irrigado (controle) e déficit hídrico. Para o tratamento irrigado, as plantas foram mantidas sob constante irrigação, enquanto para o tratamento de déficit hídrico as plantas foram submetidas à suspensão completa da irrigação durante todo o período experimental. A avaliação dos tratamentos foi realizada nos tempos 0, 4, 8, 12 e 16 dias da imposição do déficit hídrico, tempo este determinado em experimento preliminar e necessário para promover um déficit hídrico severo, evidenciado pela determinação do potencial hídrico na antemanhã ( $\square_{am}$ ) das plantas sob estresse ( $\square_{am} = -2,62 \pm 0,07$  MPa), quando comparadas às plantas controle ( $\square_{am} = -0,05 \pm 0,01$  MPa). Os efeitos do déficit hídrico foram avaliados por meio de variáveis de crescimento e trocas gasosas relacionados, direta ou indiretamente, ao controle da abertura e fechamento estomático e manutenção do *status* hídrico foliar.

### **VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

As médias de temperatura e umidade relativa do ar foram determinadas ao longo das medições de trocas gasosas, em intervalos de dez minutos, utilizando-se um termo-higrômetro (mod. 5203, Incoterm, RS, Brasil); e o déficit de pressão de vapor d'água entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) foi estimado de acordo com Landsberg (1986), levando-se em conta a temperatura e umidade relativa do ar e a temperatura da folha em cada horário de avaliação. As médias de todas as variáveis ambientais, inclusive aquelas determinadas durante a porometria ( $RAF$  e  $T_f$ ) e estimada matematicamente ( $DPV_{FA}$ ) estão apresentadas na Figura 5 e caracterizam as condições ambientais durante o experimento.

## VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

Foram quantificados o número de folíolos ( $N_{fol}$ ) e a altura das plantas ( $AP$ ). O  $N_{fol}$  foram obtidos a partir da contagem direta dos mesmos, considerando-se folha aquelas que já apresentassem seu formato final e folíolos aqueles pertencentes a estas folhas. Foram desconsiderados os folíolos em lançamento na região do meristema apical. A  $AP$  foi obtida por meio da medição direta do ramo principal, na região compreendida entre o coleto e o meristema apical, utilizando-se uma trena fixada em régua de madeira. Estas determinações foram realizadas ao início da imposição do déficit hídrico e aos dezesseis dias após o início deste, antes da avaliação das demais variáveis descritas abaixo.

## VARIÁVEIS BIOFÍSICAS

A condutância dos estômatos ao vapor d'água ( $g_s$ ), a transpiração ( $E$ ), a temperatura da folha ( $T_f$ ) e a radiação fotossinteticamente ativa ( $RAF$ ) foram realizadas, por meio de um porômetro portátil de equilíbrio dinâmico (mod. Li 1600, LiCor, Nebraska, USA), sob luz e  $CO_2$  ambientes. Como amostras, foram selecionados dois folíolos maduros do segundo par de folhas definitivas e completamente expandidas, contadas a partir do ápice. As medições foram realizadas no horário de 09:00 às 11:00 h.

O potencial hídrico foi determinado na antemãhã ( $\square_{am}$ ), entre 4:30 e 5:30 h, e ao longo do dia (potencial hídrico do xilema,  $\square_x$ ), nos mesmos horários das determinações de trocas gasosas, utilizando-se uma bomba de pressão do tipo Scholander (mod. Pms Instrument Co., Corvallis, USA), conforme descrito por DaMatta et al. (1993). À exceção do  $\square_{am}$ , utilizou-se como amostras os mesmos folíolos selecionados para a avaliação das trocas gasosas. Portanto, após cada medição de trocas gasosas o folíolo era destacado e o potencial hídrico imediatamente determinado.

A partir dos dados de condutância estomática, déficit de pressão de vapor d'água ( $DPV_{FA}$ ) e potencial hídrico para horário, a condutividade hidráulica ( $K_L$ )

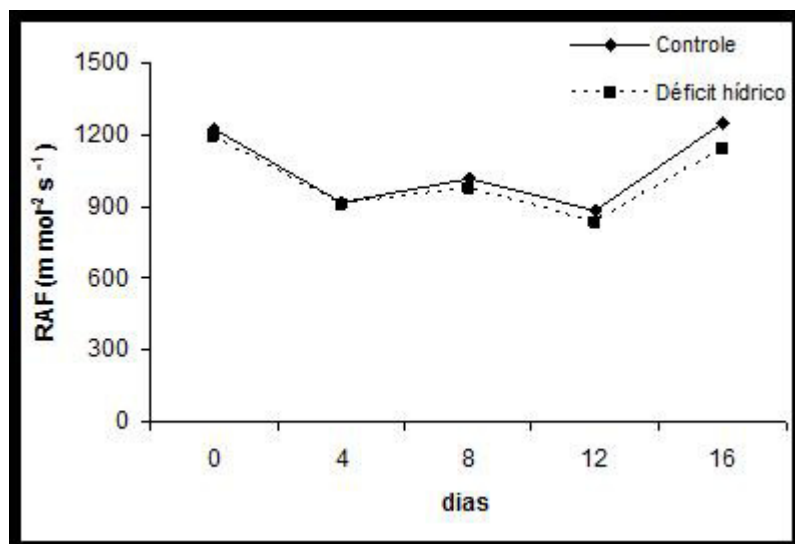
foi calculada utilizando-se a equação  $K_L = (g_s \times DPV_{FA}) / (\square_{am} - \square_x)$  (HUBBARD et al., 1999; DONOVAN et al., 2000).

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (controle e déficit hídrico) e cinco repetições. As variáveis biofísicas, determinadas durante os dias no horário de 9:00 às 11:00 horas, foram submetidas à análise de variância e posteriormente analisadas por meio de regressão linear, cuja significância foi averiguada pelo teste F ( $P < 0,05$ ). As variáveis ambientais foram analisadas através de suas médias. As variáveis de crescimento foram comparadas ao início e dezesseis dias do início do experimento, sendo os dados analisados em esquema fatorial 2 x 2 (dois regimes hídricos: controle e déficit hídrico; e dois tempos de avaliação: zero e dezesseis dias após o início do experimento). Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média.

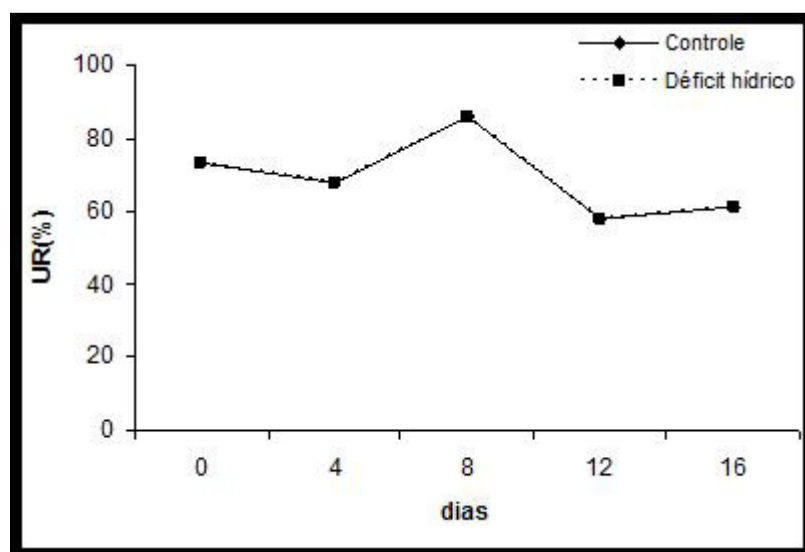
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consideráveis alterações no potencial hídrico do xilema ( $\square_x$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração ( $E$ ) durante as determinações de trocas gasosas estão substancialmente relacionadas às condições ambientais as quais as plantas estão submetidas. Por essa razão, durante todo o período experimental foram registradas as variações da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), temperatura da folha ( $T_{fol}$ ), umidade relativa do ar (UR) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), enquanto o déficit de pressão de vapor d'água entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) foi estimado matematicamente. Foi observado que as médias das referidas variáveis, tomadas para um mesmo horário, foram relativamente constantes ao longo dos diferentes dias de experimento, indicando que as determinações das variáveis fisiológicas foram realizadas sob as mesmas condições ambientais. Assim, a RFA variou de  $830 \square \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a  $1254,13 \square \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , tendo o valor mais alto sido registrado no 16º dia e os mais baixos no 12º dia (Figura 1).



**Figura 1.** Radiação fotossinteticamente ativa em plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico.

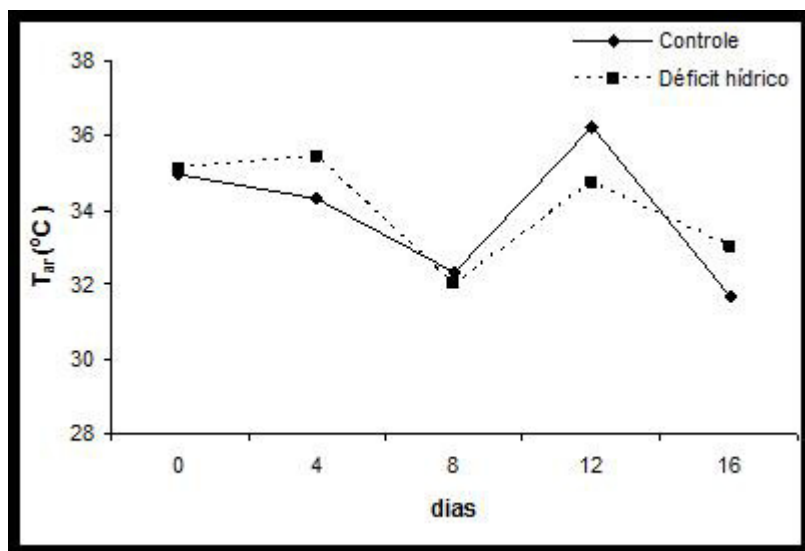
A UR variou em média de 58 % a 86 %, apresentando comportamento inverso àquele observado para RAF (Figura 2).



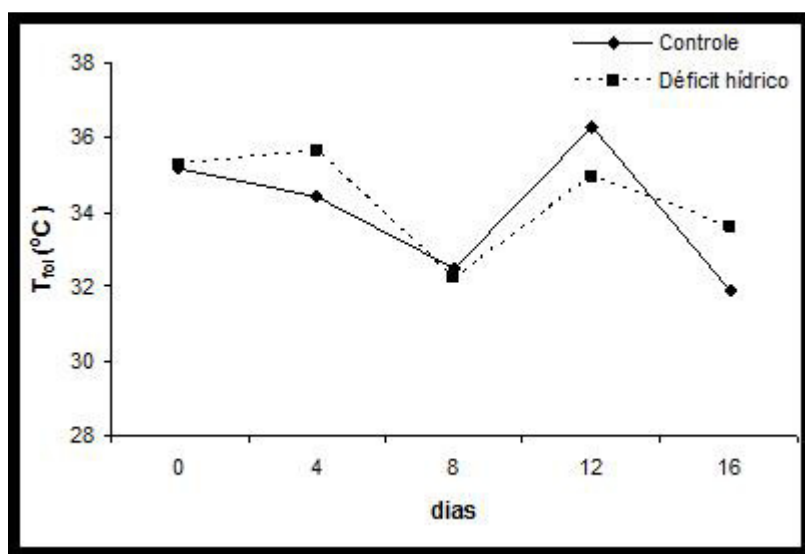
**Figura 2.** Umidade relativa do ar em plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico.

Os gráficos ilustram que as temperaturas (do ar e da folha) seguiram a mesma tendência da curva de RAF, salvo-guardando as magnitudes inerentes a cada uma. Além disso, as curvas de  $T_{ar}$  e  $T_{fol}$  apresentaram o mesmo comportamento, variando, em média, de 31,70 °C a 36,23°C e de 31,90°C a 36,3°C, respectivamente (Figura 3 e 4).



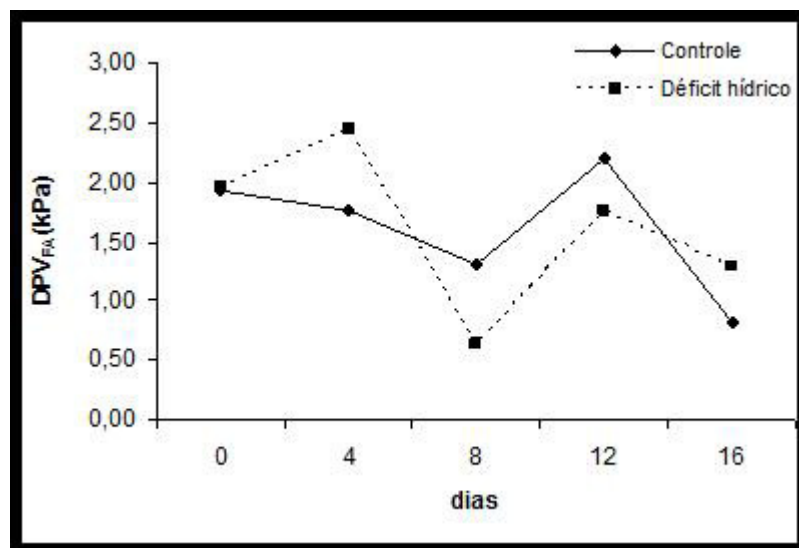


**Figura 3.** Temperatura do ar em plantas jovens de açai (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico.



**Figura 4.** Temperatura foliar em plantas jovens de açai (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico.

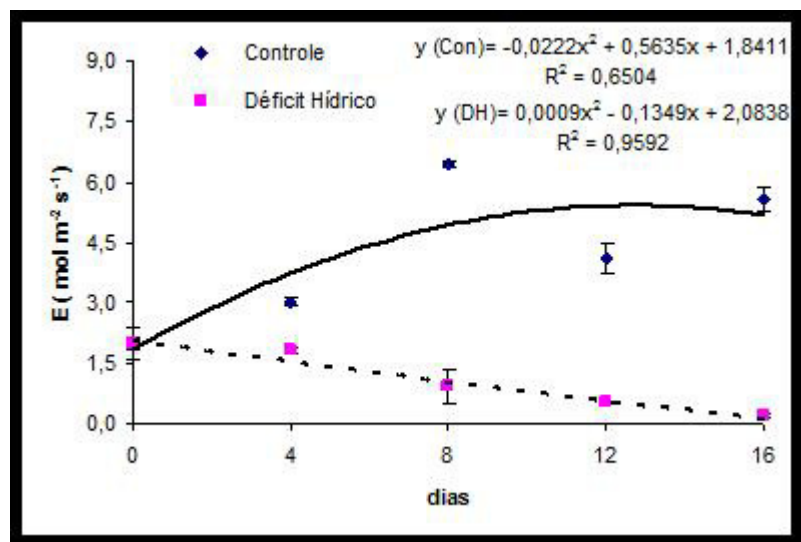
Considerando-se as médias observadas para  $T_{ar}$ ,  $T_{fol}$  e UR, foi observado que o  $DPV_{FA}$  variou de 0,64 kPa a 2,20 kPa (Figura 5), apresentando valores máximos nos horários de maiores  $T_{ar}$  e  $T_{fol}$  e menor UR.



**Figura 5.** Déficit de pressão e vapor entre folha e atmosfera em plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico.

O período de dezesseis dias após a suspensão da irrigação foi suficiente para promover um déficit hídrico expressivo. Assim, foi observado que o potencial hídrico de antemanhã ( $\square_{am}$ ) foi reduzido de -0,03 MPa para -2,58 Mpa. Portanto, os efeitos do déficit hídrico foram avaliados durante este período. Dessa forma, o comportamento da transpiração foliar ( $E$ ) das plantas sob constante irrigação tendeu a uma curva do tipo quadrática, representada pela equação  $y = -0,0222x^2 + 0,5635x + 1,8411$ ,  $R^2 = 0,6504$  (Figura 6). Os valores de  $E$  variaram de  $1,96 \square \square \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a  $5,57 \square \square \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sendo máximo no 16º dia e mínimos ao início do experimento. A abertura estomática é dependente do estado hídrico da folha e da demanda evaporativa da atmosfera. Existem numerosas observações de que a condutância estomática diminui em resposta a um aumento do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, e que a resposta está relacionada à taxa de transpiração foliar (CORDEIRO et al, 2009).

Um comportamento hiperbólico foi também observado para as plantas sob déficit hídrico representada pela equação  $y = 0,0009x^2 - 0,1349x + 2,0838$ ,  $R^2 = 0,9592$ , cujos valores variaram entre  $0,20 \square \square \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a  $1,98 \square \square \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Foi observado ainda que as médias de  $E$  apenas não diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos no início do experimento, enquanto que nos demais dias, as diferenças foram estatisticamente significantes (Figura 6).

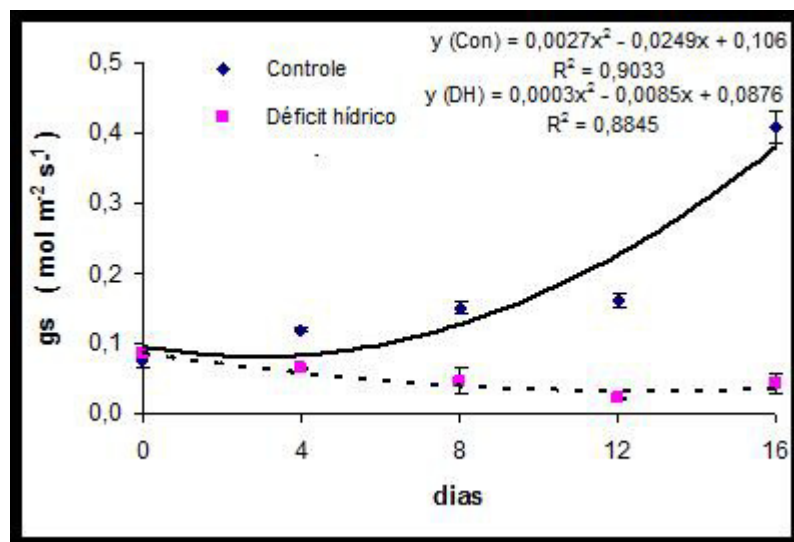


**Figura 6.** Transpiração em plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit. Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Para a condutância estomática ( $g_s$ ), foi observado que o curso dos dias de experimento seguiu o mesmo padrão observado para a  $E$ , mas com a concavidade inversa das regressões obtidas para cada um dos tratamentos (Figura 7). Entretanto, semelhante do que fora observado para  $E$ , as taxas de condutância estomática das plantas irrigadas não variaram significativamente no início do experimento ( $P < 0,05$ ), apresentando um valor médio de  $0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sofrendo após estes horários aumentos substanciais até atingir seu máximo ( $0,41 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), o que se deu no 16º dia (Figura 7). Um comportamento inverso foi observado para as plantas sob deficiência hídrica, em que a  $g_s$  foi máxima no 1º dia de experimento ( $0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), reduzindo-se sensivelmente nos demais horários do dia (aproximadamente para  $0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

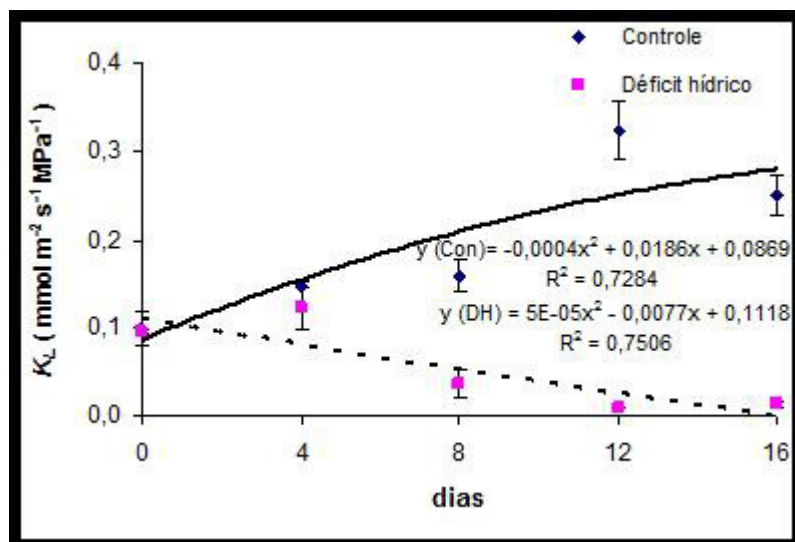
Reduções em  $E$  e  $g_s$  sob condições de seca e/ou sob diferentes horários do dia tanto sob condições de seca quanto sob plena irrigação tem sido relatadas para várias espécies. Silva et al. (2003), trabalhando com plantas de *M. caesalpinifolia*, verificaram que após cinco dias sob seca a  $E$  foi drasticamente reduzida em relação às plantas controle (irrigadas), principalmente nos horários do dia de maior demanda evaporativa. Resultados semelhantes foram encontrados para *C. canephora*, em que DaMatta et al. (2003) observaram que um déficit hídrico de 55 dias resultou em decréscimos de aproximadamente 50% em  $g_s$ , em paralelo a reduções de mesma magnitude em  $E$ . Redução significativa em  $g_s$  foi também observada em árvores de eucalipto quando estas foram submetidas a uma deficiência hídrica causada por suprimento de água inferior a 30% da capacidade de campo (ALMEIDA; SOARES, 2003), ou após 25 e 57 dias

sob condições de déficit hídrico moderado, promovido por (PITA; PARDOS, 2001). Em plantas jovens de eucalipto, Chaves et al. (2004) observaram que os clones 1250 e 1260 apresentaram menor  $g_s$  e menor  $E$  quando submetidos a um déficit hídrico por 28 dias no decorrer de cinco ciclos sucessivos de seca, aplicados a intervalos de quatro a cinco dias sob irrigação à capacidade de campo. Corroborando, Oliveira et al. (2002), trabalhando com pupunheira (*Bactris gasipaes*), observaram reduções significativas em  $g_s$  sob um potencial hídrico de -1,5 MPa.



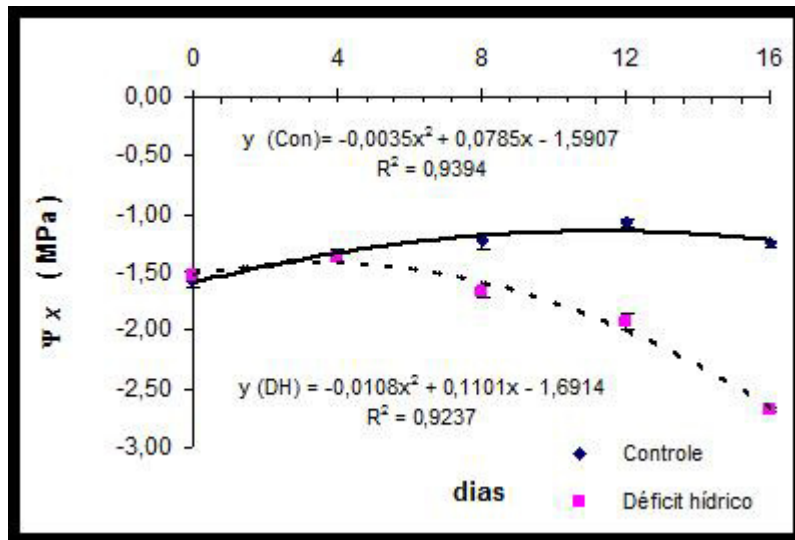
**Figura 7.** Condução estomática em plantas jovens de açai (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico. Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

A condutividade hidráulica ( $K_L$ ) variou significativamente ( $P < 0,05$ ) ao longo dos dias, independentemente do tratamento em questão, embora o padrão de comportamento das plantas estressadas tenha sido o inverso daquele observado para as plantas sob condições de plena irrigação (Figura 8). Considerando-se apenas as plantas controle, foi observado que o maior valor calculado de  $K_L$  ( $0,32 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ ) que foi no 12º dia, não coincidiu com os maiores valores de  $E$  e  $g_s$ , que foram registrados no 16º dia da imposição dos tratamentos. Neste maior horário, o menor  $K_L$  estimado pela equação de regressão pode ser observado para as plantas sob déficit hídrico (Figura 8).



**Figura 8.** Condutividade hidráulica em plantas jovens de açai (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico. Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

As plantas de açai, mesmo sob plena irrigação, sofreram uma sensível diminuição do seu potencial hídrico do xilema ( $\square_x$ ) ao longo do dias de experimento, a qual pôde ser evidenciada pela curva representada pela equação  $y = -0,0035x^2 + 0,0785x - 1,5907$ ,  $R^2 = 0,9394$ ; em que o mínimo valor de potencial hídrico (-1,581 MPa) foi registrado no dia 0 do experimento (Figura 9). Para as plantas sob seca, os valores de  $\square_x$  foram mantidos não significantes estatisticamente ( $P < 0,05$ ) até o 4º dia experimento, porém apresentando reduções significativas a partir deste dia, com o seu valor mínimo ao final do experimento (-2,68 MPa) (Figura 9). Neste experimento, os efeitos do déficit hídrico foram evidentes ao longo do curso de  $\square_x$ , em todos os dias de avaliação, sendo sempre significativamente inferiores aos valores registrados para as plantas sob condições de plena irrigação (Figura 9).



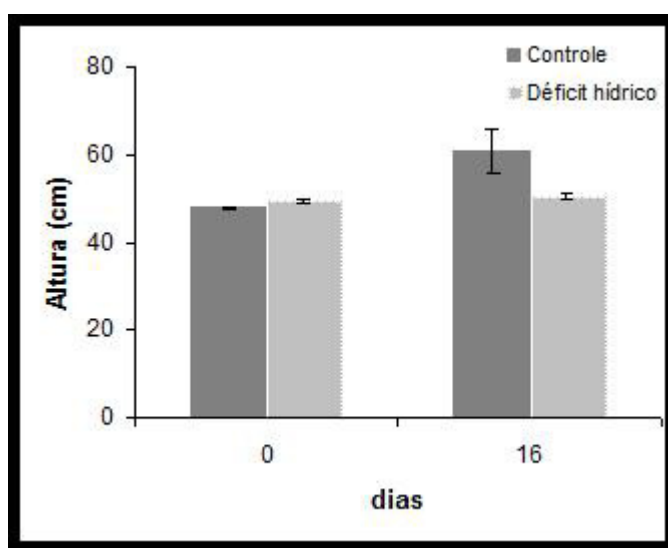
**Figura 9.** Potencial hídrico do xilema em plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico. Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

Para plantas jovens de acerolas (*Malpighia emarginata*), foi verificado que aos vinte dias após a supressão de irrigação, o  $\Psi_{am}$  foi reduzido para  $-4,3$  MPa (NOGUEIRA et al., 2001). Resultados equivalentes foram observados para *Swietenia macrophylla*, na estação seca, cujos valores diários de  $\Psi_x$  foram inferiores a  $-3,0$  MPa (SILVA; FILHO, 2001). Resultados semelhantes aqueles supracitados foram obtidos por Barbiero et al (2000), que também na estação seca encontraram diferenças significativas no  $\Psi_w$  de duas espécies lenhosas típicas do cerrado, *Rapanea guianensis* e *Roupala montana*, em que as curvas diárias de potencial hídrico foliar para as duas espécies iniciaram no começo da manhã apresentando um potencial hídrico de  $-0,7$  MPa, diminuindo ao longo do dia, e atingindo os valores mínimos entre 13 e 15 horas ( $-2,11$  MPa e  $2,49$  MPa, respectivamente). Apesar de os valores de  $\Psi_w$  aumentarem lentamente ao longo da tarde, não alcançaram os valores máximos observados no início da manhã.

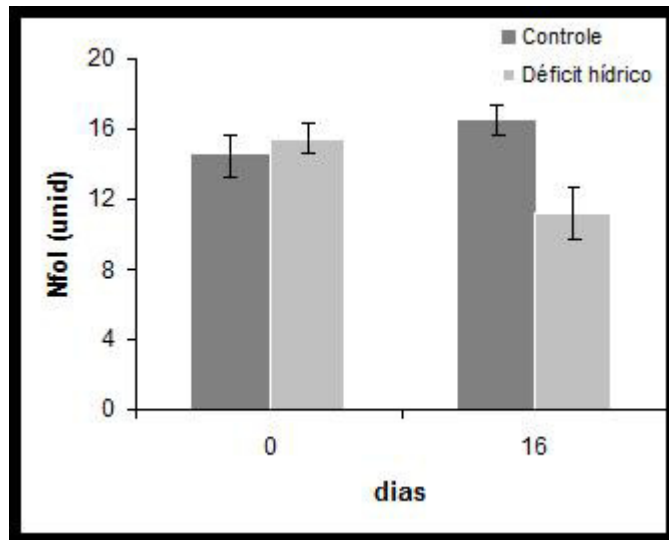
Romero e Botia (2006) avaliaram os cursos diários e sazonais das relações hídricas e trocas gasosas em amendoeiras (*Prunus dulcis*) sob dois sistemas de irrigação (superficial e subsuperficial), com diferentes médias anuais de irrigação aplicadas ( $603, 436, 382$  e  $330 \text{ mm ano}^{-1}$ ) e mostraram que tanto as relações hídricas quanto o comportamento estomático foram significativamente alterados pelo regime hídrico, por conseguinte, alterando a transpiração. Mostraram também que, mesmo sob plena irrigação, as plantas apresentam uma redução do  $\Psi_w$  ao longo do dia, sendo mais expressiva para as plantas sob seca. Ademais, o potencial hídrico da folha e do xilema e o teor relativo de água foram fortemente correlacionados ao déficit de pressão de vapor (DPV), mas apenas para o período

de maior disponibilidade hídrica. Logo, tais correlações falharam durante na época mais seca do ano.

Isto acontece também em plantas de *Prunus dulcis* durante o período seco do ano (ROMERO; BOTÍA, 2006). Em ambos os casos, o fechamento estomático pareceu estar mais associado às alterações no potencial hídrico do solo e a fatores endógenos à planta (sinais químicos) que às variações no  $DPV_{FA}$  (GIORIO et al., 1999; MORIANA et al., 2002; TOGNETTI et al., 2004; ROMERO; BOTÍA, 2006). Reduções de 50% em  $g_s$  foram observadas em plantas irrigadas de *Coffea canephora* Pierre quando o DPV aumentou para 3,0 kPa (PINHEIRO et al., 2005). Romero e Botía (2006) verificaram uma forte correlação entre DPV e o potencial hídrico da folha e/ou teor relativo de água ao longo do dia em plantas irrigadas de *Prunus dulcis*. Além disso,  $g_s$  foi fortemente reduzida com o incremento do DPV, apresentando como valor limite para o fechamento estomático ("threshold") um DPV da ordem de 2 kPa. A redução da  $g_s$ , logo da  $E$ , tem sido atribuída à alterações no potencial hídrico do solo ou à diminuição da condutividade hidráulica da planta, possivelmente resultante da cavitação dos vasos do xilema (SPERRY, 2000).



**Figura 10.** Altura em plantas jovens de açai (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico. Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média.



**Figura 11.** Numero de folíolos em plantas jovens de açaí (*Euterpe Oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico. Os dados referem-se às médias de cinco repetições  $\pm$  erro padrão da média.

Com relação aos efeitos do déficit hídrico nas variáveis de crescimento, foi observado que plantas jovens de açaí submetidas ao déficit hídrico apresentaram uma menor média em altura (50,63 cm) e número de folíolos (11,25 unid) (Figura 10 e 11), enquanto que altura daquelas mantidas sob constante irrigação (60,88 cm) e numero de folíolos (16,50 unid) (Figura 10 e 11). Barbosa (1991) e Barros e Barbosa (1995) verificaram reduções significativas no número de folhas e na área foliar total em plantas jovens de *Anadenanthera macrocarpa* e *Acacia farnesiana* a partir do quarto e terceiro meses de deficiência hídrica, respectivamente.

Em *Arachis hypogaea*, por meio de curvas de crescimento, Correia e Nogueira (2004) observaram que a altura e o número de folhas foram afetados pelo déficit hídrico a partir de 21 dias da suspensão da irrigação, chegando a um máximo de redução aos 35 dias da diferenciação dos tratamentos. Naquele momento, as plantas mantidas sob constante irrigação apresentaram altura e número de folhas médio de 45 cm 20 unidades, respectivamente; enquanto para as plantas sob seca esses valores foram reduzidos para 27 cm e 8 unidades, respectivamente. O déficit hídrico (de aproximadamente -1,5 MPa) também ocasionou consideráveis reduções na altura da planta (65 a 80%) e no número de folhas (75 a 85%) em plantas de *Gossypium hirsutum* (TIMPA 1986).

A diminuição no número de folhas e folíolos, ou da expansão do limbo foliar (redução da área foliar total), têm sido descritas como adaptações morfológicas à seca, uma vez que a redução destes reduz também a superfície foliar sujeita à transpiração e, de acordo com a demanda evaporativa da atmosfera, menor será



a tendência à transpiração total da planta (KRAMER; BOYER, 1995; KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997).

Esse mecanismo foi, portanto, uma adaptação morfológica considerável nas plantas de açaí sob condições de deficiência hídrica.

## CONCLUSÕES

O déficit hídrico por dezesseis dias resultou em alterações consideráveis nas variáveis biofísicas avaliadas, principalmente na condutância estomática, cuja redução não foi, por si só, uma estratégia eficiente na manutenção do *status* hídrico foliar.

O déficit hídrico por dezesseis dias resultou em reduções significativas em todas as variáveis de crescimento avaliadas.

Considerando-se as variáveis avaliadas, pode ser afirmado que estas plantas foram capazes de se adaptarem morfofisiologicamente à seca nas condições experimentais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIERO, C.C.N.; FRANCO, BUCCI, A.C.; S.J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** v. 12, p. 119-134, 2000.
- BASTOS, T.X.; CHAIB FILHO H.; MUNIS, T.D.A.S.; LOBATO, V.H.B. Flutuação das chuvas na região de Belém em distintos intervalos de tempo, período 1967-1983. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1986, **Anais....** Belém: EMBRAPA-CPATU, v. 1, 1986, p.37-43.
- CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L.; PEZZOPANE, J.E.M.; POLLI, H.Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore** v. 28, p. 333-341, 2004.
- CHAVES, M.M. 1991. Effects **of water deficits on carbon assimilation**. Journal of Experimental Botany 42:1-6.
- CORDEIRO, Y. E. M. ; PINHEIRO, H. A. ; Filho, B.G.S ; CORREA, S. S. ; SILVA, J. R. R. E. ; FILHO, M.B.D. . Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1449-1455, 2009.
- CORREIA, K. G. ; NOGUEIRA, R.J.M.C. . Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, p. 1-7, 2004.

- DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; PINHEIRO, H.A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science** v. 164, p. 111-117, 2003.
- DAMATTA, F.M.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S.; REGAZZI, A.J. Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought. **Journal of Horticultural Science** v. 68, p. 741-746, 1993.
- FERNÁNDEZ, J.E.; MORENO, F.; GIRÓN, I.F.; BLÁZQUEZ, O.M. Stomatal control of water use in olives trees leaves. **Plant and Soil** v. 190, p. 179-192, 1997.
- GIORIO, P.; SORRENTINO, G.; DIANDRIA, R. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. **Environmental and Experimental Botany** v. 42, p. 95-104, 1999.
- GUCCI, R.; MASSAI, R.; XILOYANNIS, C.; FLORE, JA. The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) vines. **Annals of Botany** v. 77, p. 605-613, 1996.
- JARDIM, M. A. G. & ANDERSON, <sup>a</sup> B. 1987. *Manejo de populações nativas de açazeiro no estuário amazônico – resultados preliminares*. Bol. Pesq. Florest., (15): p.1-18.
- KOZLOWSKY, T.T; PALLARDY, S.G. **Physiology of Woody Plants**. San Diego: Academic Press. 1997. 411 p.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water Relations of Plants and Soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- LANDSBERG, J.J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986, 198 p.
- LIU, C.H. & DICKMANN, D.I. 1993. **Responses of two hybrid clones to flooding, drought, and nitrogen availability. II. Gas exchange and water relations**. Canadian Journal of Botany 71:927-938.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Plantarum, v.1, 1992, p. 1-15.
- MEYER, R.F.; BOYER, J.S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta** v. 151, p. 482-489, 1981.
- MORIANA, A.; VILLALOBOS, E.J.; FERERES E. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficit. **Plant, Cell and Environmental**, v. 25, p. 395-405, 2002.

- NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V.; BURITY, H.A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, p. 75-87, 2001.
- OLIVEIRA, M.A.J.; BOVI, M.L.A.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J.D. Fotossíntese, Condutância estomática e Transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, v. 59, p. 59-63, 2002.
- OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de. *Açaí (Euterpe Oleracea Mart.)*. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 52p: il.
- PEREZ, S.C.J.G.A.; MORAES, J.A.P.V. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** v. 3, p. 27-37, 1991.
- PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Drought Tolerance is Associated with Rooting Depth and Stomatal Control of Water Use in Clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 96, p. 101-108, 2005.
- PITA, P.; PARDOS, J.A. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. **Tree Physiology**, v. 21, p. 599-607, 2001
- .
- ROGEZ, Herve. **Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento**. Belém: EDUFPA,
- ROMERO, P.; BOTÍA P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 158-173, 2006.
- SILVA, B.G; LEMOS FILHO, J.P.L. Water relations of woody species in the campus Pampulha/UFMG, Belo Horizonte, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, p. 519-525, 2001.
- SILVA, E.C., NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO A.D.; BRITO J.Z.; CABRAL E.L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia** v. 59, p. 201-205, 2004.
- SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; NETO, A.D.A.; SANTOS, V.F.S. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico, São Paulo, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 17, p. 231-246, 2003.
- SOARES, Benigna e PINTO, Andréia. Açaí: A marca registrada do Pará – Revista Ver-o-

Pará. Belém: Ver, 2005.

TAIZ L; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 4ª ed.artmed, Porto Alegre.819p. 2009.

TIMPA, J D.; BURKE; J.J.; QUISENBERRY, J.E.; WENDT, C.W. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate compositions of cotton plants. **Plant Physiology**, v. 82, p. 724-728, 1986.

TOGNETTI, R.; DIANDRIA, R.; MORELLI, G.; CALANDRELLI, D.; FRAGNITO, F. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. **Plant and Soil** v. 263, p. 249–264, 2004.

VIÉGAS, Ismael de Jesus Matos; FRAZÃO, Dílson Augusto Capucho; THOMAZ, Maria Alice Alves; CONCEIÇÃO, Heráclito Eugênio Oliveira da, PINHEIRO, Eurico. *Limitações nutricionais para o cultivo do açaizeiro em latossolo amarelo textura média, Estado do Pará*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 26(2):382-384, 2004.



*Naturalia* – eISSN:2177-0727 - ISSN: 0101-1944 - UNESP, Rio Claro, SP, Brasil

Licenciada sob [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)