



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

WALTER VELLASCO DUARTE SILVESTRE

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS ASSOCIADAS A PRODUÇÃO DE MUDAS DE
AÇAIZEIRO PROCEDENTES DE VÁRZEA E ADAPTADAS A TERRA FIRME
SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

BELÉM

2015

Silvestre, Walter Vellasco Duarte

Respostas ecofisiológicas associadas a produção de mudas de
açazeiro submetidas a diferentes regimes hídricos/Walter
Vellasco Duarte Silvestre – Belém-Pa.-2015

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia 2015.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA**

WALTER VELLASCO DUARTE SILVESTRE

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS ASSOCIADAS A PRODUÇÃO DE MUDAS DE
AÇAIZEIRO PROCEDENTES DE VÁRZEA E ADAPTADAS A TERRA FIRME
SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

WALTER VELLASCO DUARTE SILVESTRE

Respostas ecofisiológicas associadas a produção de mudas de açaizeiro procedentes de várzea e adaptadas a terra firme submetidas a diferentes regimes hídricos. Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de doutorado em Agronomia, Área de concentração : Produção vegetal, para obtenção do Título de Doutor.

Orientador : Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro

BELÉM

2015



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS ASSOCIADAS A PRODUÇÃO DE MUDAS DE
AÇAIZEIRO PROCEDENTES DE VÁRZEA E ADAPTADAS A TERRA FIRME
SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

WALTER VELLASCO DUARTE SILVESTRE

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia: Área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

BANCA EXAMINADORA

Hugo Alves Pinheiro DSc - Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Alailson Vescelau Santiago

DSc
Embrapa Amazônia Oriental

Selma Toyoko Ohashi Santos
DSc
Universidade Federal Rural da Amazônia

Paulo Roberto de Andrade Lopez,
DSc
Universidade Federal Rural da Amazônia

Rodrigo Otavio de Souza,
DSc
Universidade Federal Rural da Amazônia

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade para a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias (ICA)/UFRA, pelo apoio das atividades desenvolvidas em campo.

Ao Professor Dr. Hugo Alves Pinheiro, meu reconhecimento pela orientação, amizade e confiança.

Ao professor Dr. Paulo Contente de Barros pelas valiosas orientações estatísticas ,

A Dra Aliete Contente e ao amigo de longos tempos desde cursinho Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão pelas importantes ajudas também no campo das análises estatísticas;

Ao Professor Dr. Rodrigo Otavio de Souza pelo auxílio na decisão de algumas definições por ocasião da montagem do experimento;

A colega doutoranda, Priscila Andrade Silva no auxílio decisivo das análises bioquímicas;

Ao Engenheiro florestal, Lenilson Ferreira Palheta pelo apoio que sempre pude contar em muitos momentos;

Ao Sr. José Maria de Souza Fernandes (Marreta) funcionário da prestadora EB Cardoso que foi incansável durante todo o período de condução do experimento auxiliando no que estava a seu alcance;

A todos, que de uma forma ou de outra, sempre deram uma palavra de incentivo nos momentos mais difíceis, ou serviram de obstáculo, fazendo com que fossemos obrigados a desenvolver e exercitar recursos de superação em vários segmentos da vida, nos tornando melhor e valorizando ainda mais a vitória.

DEDICO

A **Deus** por mais essa existência.

Aos meus pais: **Guilherme Duarte Silvestre e Maria Terezinha Vellasco Silvestre** pela doação, sacrifício e incentivo durante toda vida, e por serem responsáveis por um grande percentual de mais uma vitória;

Aos meus irmãos, **William Vellasco Duarte Silvestre, Terezinha Vellasco Duarte Silvestre, Betania Vellasco Luhan Silvestre e Rodrigo Vellasco Duarte Silvestre** pela estrutura familiar;

As minhas filhas **Ana Beatriz Vellasco da Costa Silvestre e Ana Clara Vellasco de Castro Silvestre** principais fonte de estímulo e motivação;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA-1** Semeio de açaizeiro em bandejas plásticas e betoneira misturando substrato onde foram produzidas as mudas de açaizeiro.....22
- FIGURA-2** Irrigação de mudas de açaizeiro por gotejamento, usando-se botões auto compensados.....23
- FIGURA-3** Altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) em mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições.....26
- FIGURA-4** Figura 4- Massa seca de raízes (MSR) e folhas (MSF) e massa seca total (MST) em mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições.....27
- FIGURA-5** Figura 5- Taxa de assimilação líquida do CO₂ (A), condutância estomática ao vapor d'água (g_s), transpiração (E) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições.....28
- FIGURA-6** - Mudanças de açaizeiro, após 180 dias de cultivo, dos diferentes genótipos distribuídas aos pares lâmina de 130%cc a esquerda e lâmina de 100%cc a direita, numa sequência da esquerda para direita, Muana, BRS-PA, Hideo e Laranjeira.....33
- Figura 7.** Variações no potencial hídrico foliar (Ψ_w), trocas gasosas (taxa de assimilação líquida do CO₂, A; condutância estomática ao vapor d'água, g_s; transpiração, E; razão entre concentração intercelular e atmosférica de CO₂, C_i/C_a) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Médias seguidas de letras maiúsculas e minúsculas diferentes denotam, respectivamente, diferenças entre plantas da cv. BRS-Pa e do ecotipo Hideo comparadas sob diferentes lâminas de irrigação (efeito do regime hídrico). Asteriscos, quando presentes, denotam diferenças entre médias de diferentes genótipos comparados sob mesma lâmina de irrigação. As comparações foram realizadas pelo teste de Newman-Keuls ($P < 0,05$).....46
- Figura 8.** Variações na concentração de clorofilas totais (Chl) em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig. 7.....47
- Figura 9.** Variações nas concentrações foliares de amido, carboidratos solúveis totais (CST), glicose e frutose em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes

hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig.7.....48.

Figura 10. Variações nas concentrações foliares de proteínas solúveis totais (PS_{Tot}), aminoácidos totais (AA_{Tot}), prolina e glicinabetaína (GB) em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig.7.....49

Figura 11. Alterações no crescimento (altura da planta, AP; diâmetro do coleto, DC; massa seca de folhas, MSF; massa seca de raízes, MSR; massa seca total, MST; razão entre massa seca de raízes e parte aérea, R/PA, área foliar total, AFT e área foliar específica, AFE) de mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig.7.....51

Figura 12. Taxa total de assimilação líquida de CO_2 (A_{Tot}) e transpiração total (E_{Tot}) calculadas em função das variações da área foliar total em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig. 7.....52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

***A* = Fotossíntese (taxa de assimilação líquida de CO₂)**

***A/E* = Eficiência instantânea do uso da água**

***AFE* = Área foliar específica**

***AFi* = Tipo climático**

***AFT* = Área foliar total**

***AP* = Altura da planta**

***AWi* = Tipo climático**

***BRS-PA* = Cultivar de açaizeiro**

***CC* = Capacidade de campo**

***DC* = Diâmetro do coleto**

***E* = transpiração da planta**

***gs* = Condutância estomática ao vapor d'água**

***MSF* = Matéria seca de folha**

***MSL_F* = matéria seca de limbo foliar**

***MSP_F* = Matéria seca de peciolo**

***MSR* = Matéria seca de raiz**

***MST* = Matéria seca total**

***NF* = Número de folhas**

***RH* = Restrição hídrica**

***RI* = Radiação incidente**

***T_{ar}* = Temperatura do ar**

***UR* = Umidade relativa**

***UV* = Ultra violeta**

RESUMO

A fruticultura é uma das atividades agrícolas que se destaca neste cenário como a maior segmento do agronegócio brasileiro, empregando algo entorno de cinco milhões de empregos gerando uma receita bruta de aproximadamente R\$ 20 bilhões em 2013. Na Amazônia mais precisamente no estado do Pará o açaí fruto originário da palmeira açazeiro *Euterpe oleraceas* Mart. em 2014 a cadeia produtiva da fruta, movimentou algo em torno de 20 milhões de dólares só em exportações, sendo portanto a fruta de maior expressão no contexto econômico na região Norte do país. Em função desses fatos a expansão de área plantada se fez necessária, no entanto a disponibilidade de mudas em qualidade e quantidade não acompanharam tal crescimento em função de falta de conhecimento agrônomo da espécie relacionado a vários segmentos como: demanda hídrica da cultura, matérias genéticos mais indicados para os diferentes locais de produção, conhecimento da fisiologia e bioquímica das plantas, etc.. Diante disso o referido trabalho avaliou o comportamento vegetativo, fisiológico e bioquímico de plantas de açazeiro de várias procedências várzea e terra firme, incluindo cv. e ecotipo sob diferentes ofertas hídricas. Os experimentos foram desenvolvidos no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia campus Belém, em área do Instituto de Ciências Agrárias, foram utilizadas duas procedências de Várzea Muana e Laranjeira e uma cv. BRS-PA e ecotipo Hideo, que já são utilizados em plantios em terra firme, as plantas foram submetidas a quatro lâminas de irrigação 40%CC, 70%CC, 100%CC e 130%CC, foram avaliados também o comportamento da cv. BRS-PA e do ecotipo Hideo em condições de restrição hídrica, as variáveis estudadas foram relacionadas ao crescimento vegetativo, incluindo matéria seca, trocas gasosas e alguns parâmetros bioquímicos. Diante das condições em que o trabalho foi conduzido, e após análises dos dados foi possível concluir que: O açazeiro não tolera irrigação abaixo da capacidade de campo, a formação das mudas de açazeiro como padrão qualitativo determinado pelo órgão regulador MAPA. Quanto os genótipos cultivados em terra firme cv. BRS-Pa e ecotipo Hideo sob lâmina de restrição hídrica 40% cc e 70% cc, na lâmina controle 100% cc apresentaram comportamento morfofisiológico semelhante, Sob déficit hídrico a cv. BRS-Pa é mais eficiente em atenuar os efeitos do déficit hídrico sob a turgescência foliar por meio de um controle estomático da transpiração associado ao maior crescimento do sistema radicular, e possui um aparato fotossintético mais estável que as plantas do ecotipo Hideo, o qual culmina na maior síntese de carboidratos foliares e crescimento da planta, mostrando-se conseqüentemente superior geneticamente.

Palavras chave: Lâminas de irrigação, ecofisiologia, restrição hídrica, várzea, terra firme

ABSTRACT

Sumário

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
Referencias	16
2. Respostas morfológicas e fisiológicas de mudas de açazeiros submetidas à diferentes regimes hídricos.....	18
Resumo.....	18
ABSTRACT.....	19
2.1. Introdução.....	20
2.2. Material e métodos.....	21
2.2.1. Localização e caracterização da área experimental.....	21
2.2.2. Procedência dos materiais trabalhados.....	21
2.2.3. Produção das mudas	22
2.2.4. Irrigação das mudas.....	22
2.2.5. Início do experimento e fertilizações foliares	23
2.2.6. Caracterização de variáveis climáticas do ambiente onde o experimento foi conduzido	23
2.2.7. Início e intervalo das avaliações.....	24
2.2.8. Variáveis avaliadas.....	24
2.2.9. Delineamento experimental.....	25
2.3. Resultados e discussão	25
2.4. Conclusões.....	33
Referência	33
3. Tolerância diferencial ao déficit hídrico em dois genótipos de açazeiro adaptados às condições de terra firme	37
Resumo.....	37
Abstract	38
3.1. Introdução.....	39
3.2. Material e Métodos.....	41
3.2.1. Material vegetal, condições de crescimento e delineamento experimental.....	41
3.2.2. Trocas gasosas, clorofilas totais e potencial hídrico	42

3.2.3.	Variáveis de crescimento.....	42
3.2.4.	Compostos bioquímicos relacionados ao metabolismo do carbono e nitrogênio.....	43
3.2.5.	Análises estatísticas.....	44
3.3.	Resultados	44
3.3.1.	Potencial hídrico foliar e trocas gasosas.....	44
3.3.2.	Clorofilas totais	46
3.3.3.	Carboidratos foliares	47
3.3.4.	Proteínas, aminoácidos, prolina e glicinabetaína	48
3.3.5.	Taxa total de assimilação líquida de CO ₂ da planta e transpiração total da planta	50
3.4.	Discussão	52
3.5.	Conclusões	55
	Referências.....	56

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A cadeia produtiva das frutas destaca-se como um dos mais importantes segmentos do agronegócio brasileiro. Em constante evolução em todos os estados brasileiros, já ultrapassou 2,2 milhões de ha em área plantada, empregando em torno de cinco milhões de pessoas correspondendo a 27% da mão de obra agrícola do agronegócio brasileiro, atingindo um valor agrícola bruto em torno de R\$ 20 bilhões (Petri, 2013).

A Amazônia brasileira constitui-se no mais importante repositório de espécies frutíferas do Brasil e também se encontra entre as mais expressivas regiões do mundo em termos de diversidade de espécies vegetais frutíferas. Nessa região, são encontradas, aproximadamente, 220 espécies de plantas produtoras de frutos comestíveis, o que representa 44% da diversidade de frutas nativas do Brasil. (Carvalho e Nascimento, 2004). Das espécies frutíferas com centro de origem no bioma Amazônico, o açazeiro (*Euterpe oleraceae* Mart.) Dentro produz um fruto que constitui a base da alimentação ribeirinha. Para muitas regiões do estado do Pará, o açaí funciona como a principal fonte de renda para as famílias que lá vivem (Homma et al., 2014)

O estado do Pará, no cenário nacional e internacional, destaca-se como o maior produtor e consumidor do fruto, respondendo por algo em torno de 80 a 90% da produção nacional do açaí (IBGE, 2012). A cadeia produtiva do açaí movimentou em 2014 US\$22 milhões de dólares só em exportação de derivados do fruto açaí, e no estado do Pará o consumo fica em torno de 500 mil toneladas por (Reetz, 2015). Na grande Belém, no período de safra, compreendido entre os meses de julho a dezembro são consumidos mais de 600 toneladas de fruto por dia (Santana et al., 2008).

Nos últimos anos, em função de uma maior divulgação da composição nutricional da polpa da fruta que apresenta níveis interessantes de vitaminas, fibras, gorduras e antocianinas, além de propriedades antioxidantes (Menezes et al., 2008; Holdner et al., 2011), houve um expressivo aumento na demanda do suco de açaí no Brasil e no mundo. Ocupando hoje no Brasil o sétimo lugar das frutas mais consumidas no Brasil (Carvalho, 2013)

O mercado de frutos tem sido abastecido em sua maior parte pela exploração de populações nativas da espécie que ocorrem naturalmente em áreas de várzeas distribuídas às margens dos rios que compõem a bacia hidrográfica da Amazônia, em especial do estado do Pará. No entanto, a produção de frutos dessas populações já se encontra sobreexplorada e para atender a demanda crescente, de novos mercados a expansão tem ocorrido para áreas de terra

firme (Carvalho, 2013), porém em comparação as várzeas áreas de terra firme apresentam diferenças edafoclimáticas marcantes, principalmente no que diz respeito a oferta hídrica, que na várzea ocorre por conta das oscilações diárias de mares fornecendo água e nutrientes (Nogueira, 2005).

Normalmente essas áreas aproveitadas para expansão da cultura do açaizeiro na terra firme, são áreas já antropizadas e que apresentam características climáticas caracterizadas pela ocorrência de alguns meses com restrição hídrica típica de clima tipo AWi segundo Köppen (Nascimento e Homma, 1984)

A diferença entre esses ecossistemas (várzea e terra firme) tem gerado dúvidas em relação a necessidade hídrica dessas plantas em função da procedência, levantando-se a hipótese de que materiais adaptados às condições de solo de terra firme apresentem menor demanda hídrica durante a fase de muda de que os materiais nativos da várzea.

Por outro lado a existência de diferença de comportamento de algumas espécies e dentre diferentes genótipos da mesma espécie (variedades, cultivares, híbridos ecotipo e outros) especificamente à disponibilidade hídrica do solo diariamente (déficit hídrico) tem sido observados em vários estudos com palmeiras como em *C. nucifera* (Passos et al., 2005; Gomes et al., 2008) e *E. guinenses* (Suresh et al., 2012; Silva et al., 2015). De modo geral materiais genéticos, mais tolerantes a restrição hídrica, desenvolvem estratégias morfofisiológicas e bioquímicas, visando pelo menos conseguir sobreviver durante o período de estiagem. Em função disso e considerando-se que o açaizeiro é uma espécie de palmeira, uma possível variabilidade genética com relação às respostas ao déficit hídrico poderá ocorrer. Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é avaliar as variações nos comportamentos Ecofisiológico de mudas de açaizeiro provenientes de várzea e terra firme (BRS-Pa e ecotipo Hideo), quando submetidos às diferentes regimes hídricos que representem condições contrastantes de disponibilidade hídricas para as plantas. Como objetivos específicos foram avaliados: (i) avaliar por meio de variáveis fisiológicas e de crescimento o comportamento de mudas de açaizeiro produzidos a partir de matrizes de duas procedências de várzea (Laranjeira e Muana) e dois genótipos adaptados a terra firme (BRS-PA e Hideo), (ii) com o intuito de elucidar possíveis diferenças existentes entre genótipos adaptados a terra firme como a cv. BRS-Pa e o ecotipo Hideo em lâminas de restrição hídrica.

O trabalho foi dividido em dois capítulos, onde no primeiro capítulo avaliou-se as respostas morfológicas e fisiológicas de mudas açazeiros de diferentes procedências : várzea e terra firme sob diferentes ofertas de água.

No segundo capítulo avaliou-se a tolerância ao déficit hídrico de dois genótipos: uma cultivar o BRS-PA (registro nº 11.300 RNC/MAPA/Pa.) e do ecotipo Hideo (registro nº Pa. 407/2008 MAPA/Pa), adaptados a condições de terra firme.

Referencias

CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. **Fruticultura na Amazônia:** o longo caminho entre a domesticação e a utilização. Esalq, 2004. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/download/Resumo%20Palestra%20Esalq.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2014.

CARVALHO, J.E.U., Frutas da Amazônia na era das novas culturas. EMBRAPA, 2013. Disponível em:< <http://www.info.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77034/1/22pdf> >. Acesso em: 11 de setembro de 2015.

HOLDERNESS, J.; SCHEPETKIN, I.A.; FREEDMAN, B.; KIRPOTINA, L.N.; QUINN, M.T.; HEDGES, J.F.; JUTILA, M.A. Polysaccharides isolated from açai fruit induce innate immune responses. Plos One, v.6, p.e17301, 2011.

HOMMA, A. K. O. et al. Açai: novos desafios e tendências. In: HOMMA, A. K. O. (Ed.) Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. Brasília, DF: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. p. 133–148. Cap. 7.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sidra. 2012. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 mar. 2014

MENEZES, E. M. S; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açai (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. Acta Amazônica, v.38, p.311-316, 2008.

NASCIMENTO, C. N. B.; HOOMA, A. K. O. Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola. Belém: Embrapa-CPATU, 1984, 282 p. (Embrapa- CPATU, documento 27).

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2005. p. 22-31

Petri, J.L., Panorama da cadeia produtiva das frutas 2012, IBRAF, 127p. Setembro, 2013.

Suresh K, Nagamani C, Kantha DL, Kumar MK (2012) Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water deficit. *Photosynthetica* 50:549–556

REETZ, E.R. Anuário brasileiro da Fruticultura 2014. : Editora Gazeta, 104 p. Santa Cruz do Sul, 2015.

2. Respostas morfológicas e fisiológicas de mudas de açaizeiros submetidas à diferentes regimes hídricos¹

Resumo

Mudas de açaí produzidas a partir de materiais vegetais tipicamente encontradas nas várzeas (procedências Laranjeira e Muaná) ou adaptados às áreas de terra firme (cv. BRS-Pará e cótipo Hideo) foram cultivadas entre março e outubro de 2013, para avaliar se a demanda de água para produzir mudas vigorosas varia em função da origem do material vegetal. As plântulas foram submetidas a regimes hídricos correspondentes a 40, 70, 100 e 130% da capacidade de campo. Independentemente do material vegetal, a produção de mudas vigorosas foi viável apenas sob 100 e 130% da capacidade de campo. As mudas produzidas sob 130% da capacidade de campo apresentaram maiores médias de altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar total, biomassa de raízes e folhas, biomassa total e razão raiz parte. Além disso, apresentaram maiores médias de taxa de assimilação líquida de CO₂, menor condutância estomática ao vapor de água e transpiração e maior eficiência instantânea do uso da água. Em conclusão, a demanda hídrica para produção de mudas vigorosas de açaí não varia com o material vegetal e as mudas mais vigorosas são produzidas utilizando irrigação correspondente a 130% da capacidade de campo.

Palavras-chave: Alagamento, crescimento, déficit hídrico, *euterpe oleracea*, irrigação

¹ Este capítulo segue as normas da revista AGRIAMBI

Morphological and physiological responses of açai seedlings subjected to different watering regimes

ABSTRACT

Seedlings of açai produced from plant material typically found in floodplains (provenances Laranjeira and Muana) or adapted to upland areas (cv. BRS-Pará nad ecotype Hideo) were cultivated between March and October 2013 to evaluate whether the water demand required to produce vigorous seedlings varies according to the origin of plant material. The seedlings were subjected to watering regimes corresponding to 40, 70, 100 and 130% of the water volume to reach field capacity. Regardless of plant material, the production of vigorous seedlings was viable only at 100 and 130% field capacity. The seedlings produced under 130% field capacity showed higher averages of plant height, stem diameter, number of leaves, total leaf area, leaf and root biomass, total plant biomass, and root to above ground ratio than those produced at 100% field capacity. The former also showed higher averages of net CO₂ assimilation rate, lower stomatal conductance to water vapour and transpiration and higher instantaneous water use efficiency. In conclusion, the water requirement to produce vigorous açai seedlings does not vary within plant material and the most vigorous seedlings are produced using irrigation corresponding to 130% field capacity.

Key words: waterlogging, growth, water deficit, *euterpe oleracea*, irrigation

2.1. Introdução

O açazeiro (*Euterpe oleraceae* Mart.) destaca-se pelo relevante valor nutritivo de seus frutos, cuja polpa possui elevada concentração de vitaminas, fibras, gorduras e antocianinas, além de propriedades antioxidantes (Menezes et al., 2008; Holdnerss et al. 2011). Por essa razão, o consumo do suco produzido da polpa dos frutos tem aumentado substancialmente nos últimos anos (Nogueira & Conceição, 2000 ;Santana et al,2012).

Embora seu evidente potencial econômico, a produção de frutos de açai advém quase que na sua totalidade da exploração extrativista de árvores nativas que ocorrem naturalmente na várzeas Amazônicas (Nogueira et al., 1995). Por outro lado, apenas uma pequena parte da produção de frutos de açai advém de plantios comerciais, geralmente instalados em áreas de terra firme e sem manejo de irrigação que compense a irrigação diária que naturalmente ocorre nas várzeas. Este cenário tende a mudar no tempo em face do desenvolvimento de materiais vegetais mais adaptados às áreas de terra firme, tais como a cultivar BRS-Pará (Conforto & Contin (2009) e ecotipo Hideo.

No cenário atual, um dos maiores problemas associados à expansão das lavouras de açai é a falta de mudas, em quantidade e qualidade, para atender a demanda dos produtores. Essa problemática se deve, em partes, a falta de manejo adequado na condução das operações de viveiro, principalmente no tocante da irrigação das mudas, a qual tem sido feita de forma totalmente empírica, sem qualquer critério que direcione a quantidade de água a ser aplicada diariamente.

A utilização de sistemas de irrigação para a produção de mudas é uma técnica de manejo muito empregada em várias culturas. Entretanto, para que a irrigação possa ser realizada de forma eficiente e a muda possa expressar todo seu potencial de desenvolvimento é importante que seja levado em consideração que a demanda hídrica da cultura, a qual varia consideravelmente dentre dicotiledôneas (Fachini et al., 2004; Vellini et al., 2008; Carvalho et al., 2011) e monocotiledôneas (Barcelos et al., 2001; Ramos et al., 2002; Alves Júnior et al., 2005). A demanda hídrica necessária para a produção de mudas de açazeiro que atendam os padrões de qualidade morfológica e vigor regulamentados em norma (BRASIL, 1997) ainda não foi determinada.

Considerando-se que o açazeiro tem seu centro de dispersão nas várzeas amazônicas, onde a disponibilidade hídrica do solo não é limitante devido as inundações diárias ocasionadas pelas marés (Parolin et al., 2004), pressupõe-se que esta cultura seja bastante exigente em

água durante todo o seu ciclo, incluindo a fase de muda. No entanto, açaizeiros adaptados às áreas de terra firme (como a cv. BRS Pará e o ecotipo Hideo) podem crescer e produzir sem utilização de irrigação; desde que o local não seja acometido por períodos de déficit hídrico (Nogueira & Conceição, 2000).

A diferença de disponibilidade hídrica entre esses ecossistemas (várzea e terra firme) tem suscitado dúvidas acerca das demandas hídricas de mudas de açaizeiro em função de sua origem, levantando-se a hipótese de que materiais adaptados às condições de terra firme seriam menos exigentes em água durante a formação da muda que os materiais nativos de várzea.

Para testar esta hipótese, as respostas morfofisiológicas de mudas de açaizeiro procedentes de várzea e de materiais vegetais adaptados à terra firme foram avaliadas sob diferentes regimes hídricos com o objetivo de verificar se a procedência do material vegetal influencia na demanda hídrica das mudas e indicar, se possível, a melhor lâmina de irrigação para a formação de mudas vigorosas de açaizeiro.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido entre março a outubro de 2013 em casa de vegetação coberta com filme de polietileno de 100 μ aditivado contra radiação UV e pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém-Pa (01° 27' 19" de latitude Sul e 48° 26' 19" longitude a Oeste de Greenwich). O clima local é do tipo Afi segundo Köppen.

2.2.2. Procedência dos materiais trabalhados

As mudas dos quatro materiais vegetais utilizados foram produzidas a partir de sementes. Para os dois materiais de várzea, as sementes foram coletadas de árvores adultas localizada nas ilhas de Muana (01° 19' 46" de latitude Sul e 49° 17' 00" de longitude a Oeste de Greenwich) e de Laranjeira (01° 31' 02" de latitude Sul 48° 31' 07" de longitude a Oeste de Greenwich), região norte do Estado do Pará, distando entre si aproximadamente 98 km em linha reta. Estes materiais vegetais não constituem variedade, cultivar ou ecotipo e foram utilizados neste experimento para assegurar a procedência de várzea. Os mesmos serão doravante referidos como "procedência Muana" (ou simplesmente Muaná) e "procedência

Laranjeira” (ou simplesmente Laranjeira). Para os dois materiais adaptados a terra firme, foram utilizadas sementes da cultivar BRS-Pará (registro nº 11.300 RNC/MAPA/Pa.) e do ecotipo Hideo (registro nº Pa. 407/2008 MAPA/Pa).

2.2.3. Produção das mudas

As mudas foram produzidas em bandejas de polietileno (50x33x10 cm) conforme mostrada na Fig.1.A e 1B , usando fibra de coco (Golden Mix 87, Sococo Agroindústria da Amazônia, Ananindeua, Brasil) como substrato. Após 47 dias do semeio, as plântulas com uma folha fechada apenas (“plântulas palito”) foram transferidas para sacos de polietileno (15x25 cm) contendo uma mistura de terriço e cama de aviário curtida (2,5:1; v/v) visando proporcionar maior homogeneidade na mistura a mesma foi misturada em betoneira Fig.1C (Fisher MOB-400L G2 Brusque- SC Brasil)

Figura 1 – Semeio de açaizeiro em bandejas plásticas e betoneira misturando substrato onde foram produzidas as mudas de açaizeiro.



Fonte: O autor.

2.2.4. Irrigação das mudas

As mudas foram irrigadas diariamente por meio de gotejamento auto compensado (PCJ, Netafim, São Paulo, Brasil) Fig2 , com vazão de $1,92 \text{ L h}^{-1}$ por gotejador. O gotejador foi ajustado a fim de manter o solo próximo a capacidade de campo (CC), cujo volume de água foi determinado através do método gravimétrico (Klar, 1966).

Fig.2 – Irrigação de mudas de açazeiro por gotejamento, usando-se botões auto compensados.



Fonte: O autor

2.2.5. Início do experimento e fertilizações foliares

O início do experimento foi caracterizado quando por ocasião da diferenciação da oferta d'água para as plantas onde os regimes hídricos (RH) corresponderam a reposição diária de: 40, 70, 100 (controle) e 130% da capacidade de campo (CC). Os RH foram estabelecidos por meio da regulação diferencial dos gotejadores. O volume de água aplicado em cada RH foi calculado sempre após pesagem das unidades experimentais (saco + muda + substrato). As irrigações foram realizadas diariamente entre 7:30 e 8:00 h. O experimento iniciou quando as plântulas apresentaram uma folha cotiledonar, altura média entre a base do coleto e ápice do pecíolo em torno de 10 cm e diâmetro médio do coleto de 4,5 mm.

Fertilizações foliares com macro e micro nutrientes foram realizadas por meio da aplicação de uma solução do produto comercial FHHF (Heringer, São Paulo, Brasil) na proporção de 4 g L⁻¹. As aplicações foram realizadas a cada 30 dias a partir do transplantio para os sacos definitivos, aplicando-se 3,9 mL desta solução por planta.

2.2.6. Caracterização de variáveis climáticas do ambiente onde o experimento foi conduzido

Durante o experimento, as médias diurnas de temperatura do ar (T_{ar}), umidade relativa do ar (UR) e radiação incidente (RI); determinadas por meio de uma estação meteorológica automatizada (HOBO U12-012, Onset Computer Corporation, Bourne, EUA), foram;

respectivamente, de 34 °C, 61%, 390 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A média do déficit de pressão de vapor, determinado segundo Murray (1967), foi de 2,3 kPa.

2.2.7. Início e intervalo das avaliações

As plantas foram avaliadas no momento prévio a imposição dos tratamentos (Dia 0) e 45, 90, 135 e 180 dias após a imposição dos diferentes RH. O tempo máximo do experimento (180 dias) foi determinado em face da regulamentação normativa para produção de mudas de açazeiro (BRASIL, 1997).

2.2.8. Variáveis avaliadas

Em cada data de avaliação foram determinados: altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), área foliar total (AFT), massa seca de folhas (MSF), massa seca de raízes (MSR), massa seca total da planta (MST), potencial hídrico (Ψ_w) e trocas gasosas.

A AP foi determinada com uma régua, medindo-se o comprimento entre a base do coleto e o ápice do pecíolo da folha mais alta. O DC foi determinado por meio de um paquímetro digital e o NF por meio da contagem direta das folhas emitidas.

A taxa de assimilação líquida do CO_2 (A), a condutância estomática ao vapor d'água (g_s) e a transpiração (E) foram determinadas com um analisador de gases a infravermelho (LCpro, ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, RU), entre 9:00 e 10:00 h, sob concentração ambiente de CO_2 e radiação fotossinteticamente ativa de 900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A eficiência instantânea do uso da água (A/E) foi calculada como a razão entre A e E . Imediatamente após a avaliação das trocas gasosas, a mesma folha foi coletada para a determinação do Ψ_w , realizada com uma bomba de pressão tipo Scholander (m 670, Pms Instrument Co., Albany, EUA) (Pinheiro et al., 2008).

Após as avaliações não destrutivas, as plantas foram separadas em sistema radicular e parte aérea. As folhas foram separadas dos pecíolos e os limbos digitalizados em scanner para a determinação da área foliar através do software ImageJ (v. 1.47, National Institute of Mental Health, Bethesda, EUA). Os folíolos, pecíolos e sistema radicular foram colocados em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada de ar a 70 °C para secagem até massa constante para a determinação das massas secas. A MSF foi calculada como a soma das massas secas de limbo foliar (MSL_F) e pecíolo (MSP_F). A MST foi calculada como a soma de MSR e MSF; a AFE, como a razão entre AFT e MSL_F e a R/PA, pela razão entre MSR e MSF.

2.2.9. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas no tempo, cujos tratamentos foram formados pelas combinações entre RH e materiais vegetais, com cinco repetições para cada, por data de avaliação. Uma planta por saco correspondeu a uma repetição experimental. Análises estatísticas para os dados morfológicos e fisiológicos foram realizadas apenas ao final do experimento (dia 180) a fim de comparar a qualidade final das mudas produzidas em cada RH. Os dados foram submetidos à ANOVA e as comparações entre médias realizadas pelo teste de Newman-Keuls, a 5% de probabilidade por meio do software SAEG (v. 9.1, Viçosa, Brasil).

2.3. Resultados e discussão

Os regimes hídricos de 40 e 70% CC causaram um menor crescimento das plantas de todos os materiais vegetais (Figura 2 e Figura 3). Esta resposta ocorreu em face aos menores valores de Ψ_w , A , g_s e E nos dias 45 (40% CC) e 90 (70% CC) (Figura 3). Sob déficit hídrico, a redução do Ψ_w leva a um maior fechamento estomático a fim de reduzir a perda de água por transpiração. Porém, a redução na g_s aumenta a resistência ao influxo de CO_2 nas folhas, contribuindo para a diminuição de A (Chaves et al., 2009). A redução no Ψ_w e variáveis de trocas gasosas (A , g_s e E) também foi registrada em outras palmeiras submetidas ao déficit hídrico, tais como em coqueiro (Gomes et al., 2010), pupunheira (Ramos et al., 2002; Alves Júnior et al., 2005); e dendezeiro (Suresh et al., 2010).

Figura 3- Altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) em mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições

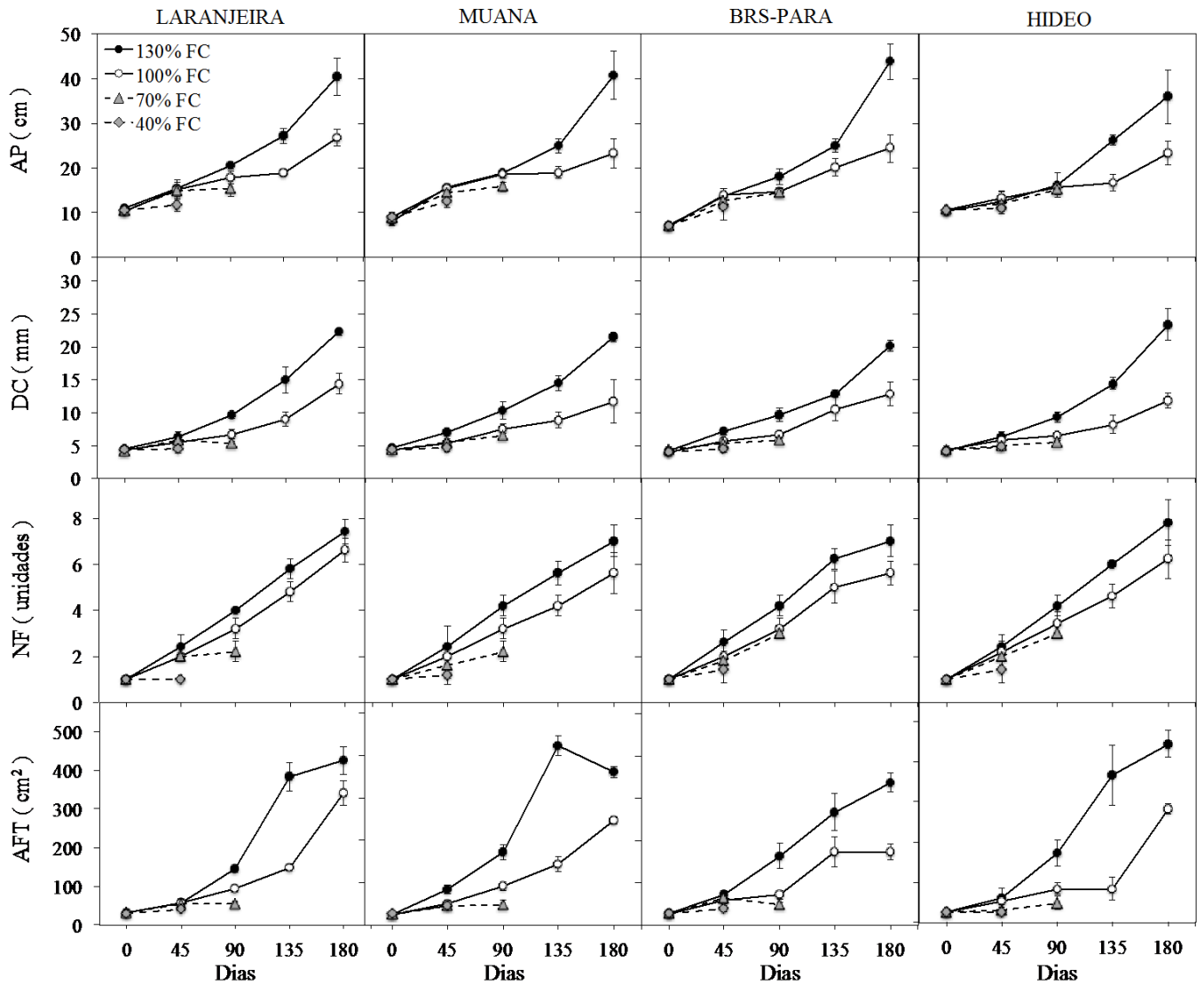


Figura 4- Massa seca de raízes (MSR) e folhas (MSF) e massa seca total (MST) em mudas de açazeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições

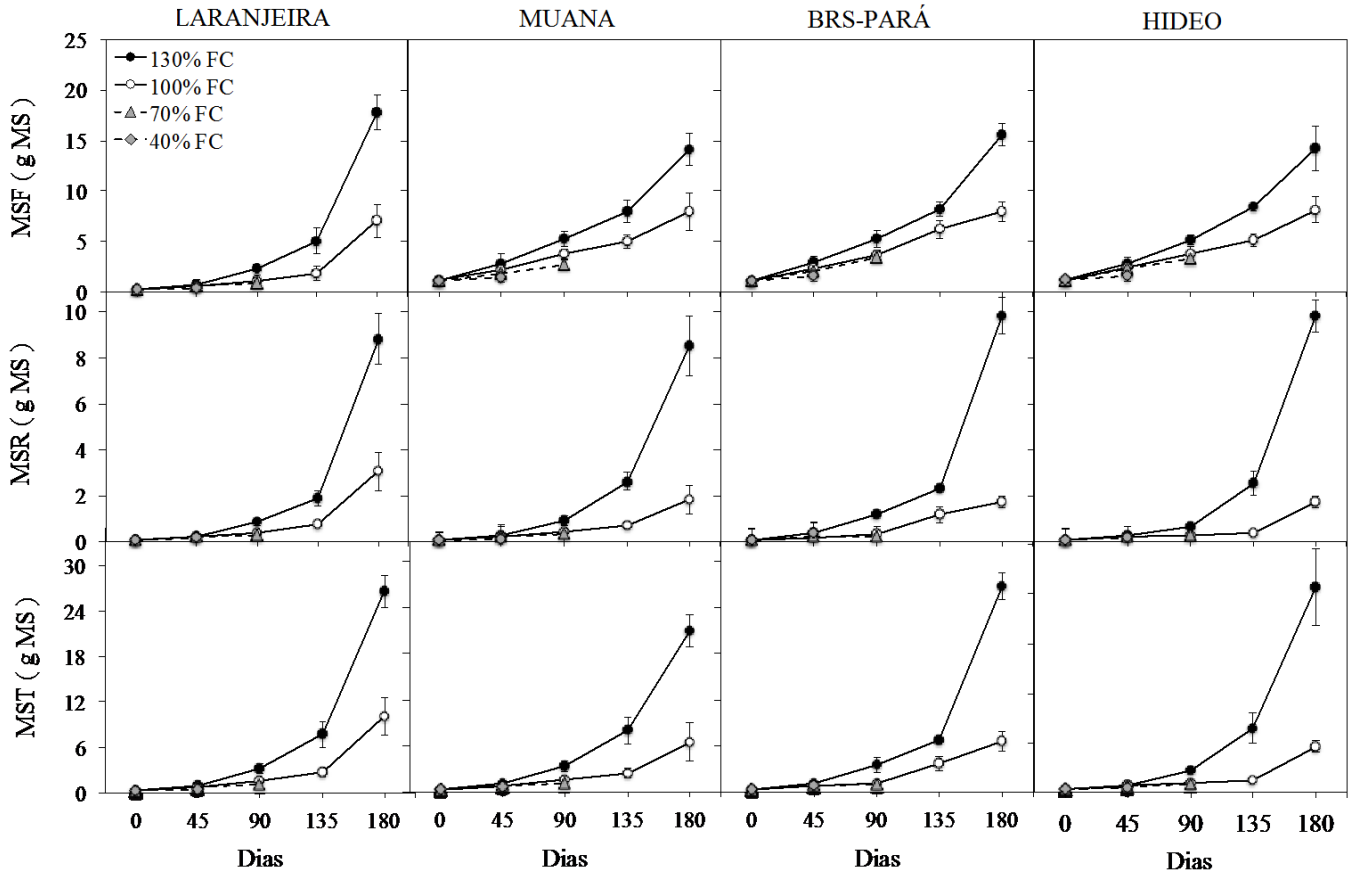
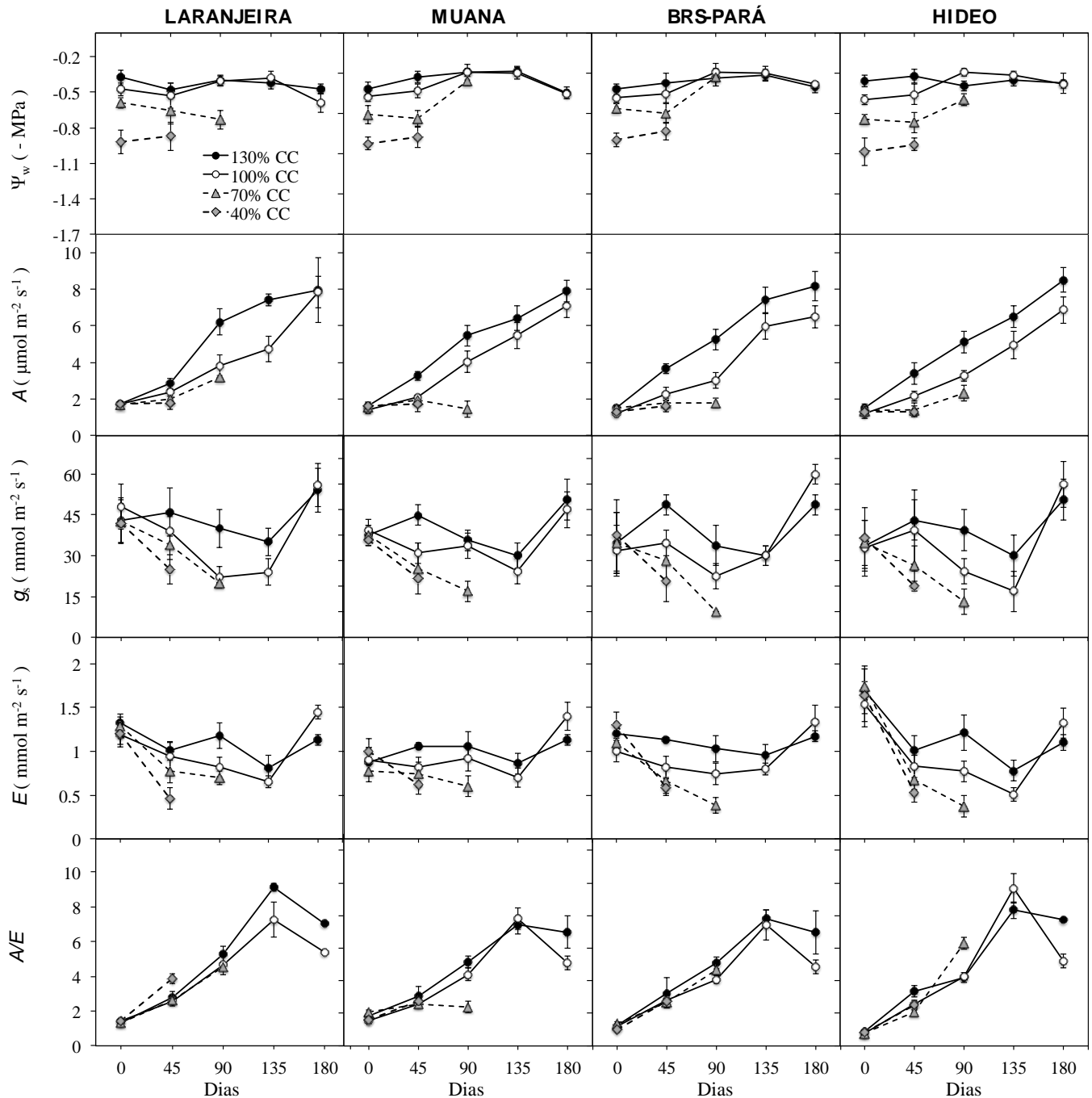


Figura 5- Taxa de assimilação líquida do CO_2 (A), condutância estomática ao vapor d'água (g_s), transpiração (E) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições.



Os regimes de restrição hídrica causaram a morte de 100% das plantas de todos os materiais vegetais avaliados a partir do 45^o (40% CC) e 90^o (70% CC) dias de experimento (Figuras 2 e 3), inviabilizando a produção das mudas. Alta mortalidade (90%) de mudas de açaizeiro foi também observada em Bragança-PA, sob condições de campo, em resposta ao primeiro período de estiagem ocorrido na região (Sousa & Jardim, 2007a), evidenciando a

sensibilidade do açazeiro à restrição hídrica do solo.

A mortalidade das mudas de açazeiro nas lâminas de restrição hídrica (40 e 70% CC) parece estar melhor relacionada a um efeito acumulativo desses tratamentos no processo de fixação de CO₂ (A) e no fluxo transpiratório necessário para a manutenção da turgescência foliar e absorção e distribuição de nutrientes. Tal efeito acumulativo deve-se principalmente ao fato de que as mudas de todos os materiais vegetais avaliados sob restrição hídrica apresentaram menor número de folhas, conseqüentemente, menor AFT (Figura 2) disponível para a realização da fotossíntese e transpiração. Uma menor taxa de lançamento de folhas em açazeiro e maior abscisão foliar no período mais seco do ano foi também observado por Sousa & Jardim (2007b).

Por outro lado, as mudas de todos os materiais vegetais submetidas aos regimes hídricos de 100 e 130% CC apresentaram; a partir do 90^o dia de experimento, significativos incrementos na AP, DC, NF e AFT (Figura 1). Com efeito, incrementos nas biomassas de folhas e raízes e biomassa total também foram observados ao longo do tempo (Figura 3).

No dia 180, a AP e o DC não diferiram ($P < 0,05$) entre materiais vegetais submetidos ao RH de 100% CC (Tabela 1). Sob RH de 130% CC, a maior média de AP foi observada para o BRS-Pará e a menor para o Hideo, enquanto a maior média de DC foi observada para o Hideo e a menor para o BRS-Pará (Tabela 1). Avaliando-se os efeitos dos regimes hídricos em cada material vegetal individualmente, os resultados indicam que o RH de 130% CC induziu a formação de mudas mais altas e com maior DC, cujas médias atendem as determinações regulamentadas (BRASIL, 1997).

Os diferentes materiais vegetais apresentaram similares médias de NF quando comparados sob RH de 100% CC ou de 130% CC. No entanto, o efeito do RH para um mesmo material vegetal indica que as plantas submetidas a 130% CC apresentaram NF maior ($P < 0,05$) que as plantas submetidas a 100% CC (Tabela 1). Vale ressaltar que apenas as plantas submetidas a 130% CC apresentaram, no tempo de 180 dias, folhas definitivas conforme preconiza a norma proposta pelo CSM-PA (BRASIL, 1997).

A AFT diferiu significativamente ($P < 0,05$) entre materiais vegetais comparados em cada regime hídrico separadamente. Sob 100% CC, a AFT foi maior para mudas da procedência Laranjeira e menor para a cv. BRS-Pará e; sob 130% CC, a AFT foi maior para procedência Laranjeira e ecotipo Hideo (Tabela 1). O efeito do RH para cada material vegetal individualmente indica que as plantas submetidas a 130% CC apresentaram maior AFT que aquelas submetidas a 100% CC (Tabela 1).

Tabela 1. Morfologia da parte aérea (altura da planta, AP; diâmetro do coleto, DC; número de folhas, NF; e área foliar total, AFT) de mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-PA e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados referem-se às avaliações ao final do experimento (dia 180) e são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições

Material vegetal	Regime hídrico	Variáveis			
		AP (cm)	DC (mm)	NF (Unidade)	AFT (cm ²)
Laranjeira	100% CC	26,8 \pm 1,9 Ba	14,4 \pm 1,6 Ba	6,6 \pm 0,54 Ba	341,4 \pm 21,3 Ba
	130% CC	40,5 \pm 4,2 Aab	22,3 \pm 0,6 Aab	7,4 \pm 0,54 Aa	425,7 \pm 35,8 Aa
Muana	100% CC	23,2 \pm 3,2 Ba	11,7 \pm 3,3 Ba	5,6 \pm 0,9 Ba	246,6 \pm 28,7 Bc
	130% CC	40,8 \pm 5,3 Aab	21,4 \pm 0,7 Aab	7,0 \pm 0,7 Aa	362,4 \pm 27,4 Ab
BRS-Pará	100% CC	24,4 \pm 3,1 Ba	12,8 \pm 1,8 Ba	5,5 \pm 0,54 Ba	173,4 \pm 28,3 Bd
	130% CC	43,8 \pm 4,0 Aa	20,2 \pm 0,9 Ab	7,0 \pm 0,7 Aa	338,1 \pm 14,5 Ab
Hideo	100% CC	23,3 \pm 2,6 Ba	11,9 \pm 1,2 Ba	6,2 \pm 0,83 Ba	282,8 \pm 31,8 Bb
	130% CC	35,9 \pm 6,1 Ab	23,4 \pm 2,4 Aa	7,8 \pm 1,0 Aa	444,2 \pm 45,6 Aa

Letras maiúsculas comparam o mesmo material vegetal avaliado nos dois diferentes RH. Letras minúsculas comparam diferentes materiais vegetais avaliados sob um mesmo RH. Letras maiúsculas e minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre médias (Newman-Keuls, $P < 0,05$)

As médias de MSL_F não diferiram ($P > 0,05$) dentre mudas cultivadas sob 100% CC. Sob 130% CC, as médias de MSL_F foram significativamente maiores ($P > 0,05$) nas mudas da procedência Laranjeira, da cv. BRS-Pará e do ecotipo Hideo que nas mudas da procedência Muana (Tabela 2). Para todos os materiais vegetais, a MSL_F foi maior sob 130% CC que sob 100% CC (Tabela 2).

A MSR nas plantas cultivadas sob 100% CC foi maior ($P > 0,05$) na procedência Laranjeira que nos demais materiais vegetais mas não diferiu entre materiais vegetais comparados a 130% CC (Tabela 2). Notavelmente, as plantas de todos os materiais vegetais cultivados sob RH de 130% CC apresentaram MSR expressivamente maiores (de 290 a 570%) que as respectivas plantas cultivadas sob 100% CC, indicando que as primeiras apresentaram um sistema radicular mais robusto que as segundas (Tabela 2).

Tabela 2. Alocação de biomassa (massa seca do limbo foliar, MSL_F e de raízes, MSR; e massa seca total, MST) e razão raiz parte aérea (R/PA) de mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muana) e adaptados à terra firme (cv. BRS-PA e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados referem-se às avaliações ao final do experimento (dia 180) e são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições

Material	Regime hídrico	Variáveis			
		MSL_F (g MS)	MSR (g MS)	MST (g MS)	R/PA
Laranjeira	100% CC	3,52 \pm 0,83Ba	3,05 \pm 0,85 Ba	10,12 \pm 2,51 Ba	0,43 \pm 0,02 Aa
	130% CC	9,24 \pm 1,09Aa	8,80 \pm 1,4 Aa	26,59 \pm 2,70 Aa	0,49 \pm 0,03 Ab
Muana	100% CC	2,33 \pm 0,4 Ba	1,84 \pm 0,62 Bb	6,49 \pm 1,63 Bab	0,39 \pm 0,04 Ba
	130% CC	5,36 \pm 0,8 Ab	8,50 \pm 1,45 Aa	20,97 \pm 2,10 Ab	0,68 \pm 0,03 Aa
BRS-Pará	100% CC	2,48 \pm 0,8 Ba	1,68 \pm 0,23 Bb	6,55 \pm 1,29 Bab	0,37 \pm 0,01 Ba
	130% CC	8,42 \pm 0,9 Aa	9,81 \pm 1,29 Aa	26,78 \pm 1,78 Aa	0,57 \pm 0,04 Ab
Hideo	100% CC	1,90 \pm 0,3 Ba	1,72 \pm 0,27 Bb	5,54 \pm 0,67 Bb	0,46 \pm 0,03 Ba
	130% CC	8,61 \pm 2,6 Aa	9,81 \pm 1,27 Aa	24,86 \pm 4,60 Aa	0,66 \pm 0,05 Aa

Letras maiúsculas comparam o mesmo material vegetal avaliado nos dois diferentes RH. Letras minúsculas comparam diferentes materiais vegetais avaliados sob um mesmo RH. Letras maiúsculas e minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre médias (Newman-Keuls, $P < 0,05$)

Levando-se em conta os resultados obtidos para MSL_F , MSP_F e MSR , uma maior MST nas plantas cultivadas sob 100% CC foi observada na procedência Laranjeira e a menor MST no ecotipo Hideo. Sob 130% CC, a MST foi maior para a procedência Laranjeira, cv. BRS-Pará e ecotipo Hideo (Tabela 2). O RH de 130% CC ocasionou maior biomassa total das plantas em comparação ao RH de 100% CC (Tabela 2).

A R/PA não diferiu entre materiais vegetais cultivados sob 100% CC mas; sob 130% CC, esta foi ($P < 0,05$) maior nas plantas da procedência Muana e ecotipo Hideo (Tabela 2). Ressalte-se que o RH de 130% CC induziu um aumento significativo na R/PA para as plantas da procedência Muana, ecotipo Hideo e cv. BRS-Pará (Tabela 2).

O Ψ_w das plantas de todos os materiais vegetais cultivados sob 100 ou 130% CC foram similares ao longo do tempo (Figura 3) e não se traduziram em diferenças contundentes ao final do experimento (Tabela 3). A A das plantas cultivadas sob 100% CC foi maior ($P < 0,05$) na procedência Laranjeira e menor na BRS-Pará; porém, as diferenças entre materiais vegetais deixaram de ocorrer quando as plantas foram cultivadas sob 130% CC (Tabela 3). A g_s , a E , e a A/E foram similares entre plantas de todos os materiais vegetais cultivados sob 100% CC ou sob 130% CC (Tabela 3). Porém, quando cada material foi individualmente estudado sob diferentes RH, foi observado que as plantas submetidas a 130% CC apresentaram diminuições significativas na g_s e na E em paralelo a um aumento na A/E (Tabela 3).

Os resultados morfológicos apresentados permitem inferir que todos os materiais vegetais apresentam melhor desempenho vegetativo sob RH correspondente a 130% CC. Das variáveis avaliadas, ressalta-se o marcante efeito do RH sob o incremento da MSR e a manutenção (Laranjeira) ou incrementos (Muaná, Hideo e BRS-Pará) na razão R/PA indica que essas mudas investiram a maior parte do carbono fixado pela fotossíntese para a formação de sistema radicular que para a formação de parte aérea. Do ponto de vista fisiológico, mudas com sistema radicular mais robusto e maior R/PA devem apresentar melhor capacidade de adaptação ao campo na ocasião do transplante, pois neste manejo há uma tendência de ocorrer danos ao sistema radicular das mudas, podendo até ocasionar a morte da planta (Kozłowski & Pallardy, 1997).

Tabela 3. Potencial hídrico (Ψ_w), fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de açaizeiro nativos de várzea (procedências Laranjeira e Muaná) e adaptados à terra firme (cv. BRS-PA e ecotipo Hideo) cultivados sob diferentes regimes hídricos. Os dados referem-se às avaliações ao final do experimento (dia 180) e são a média \pm desvio padrão (E.P.) de cinco repetições

Material vegetal	Regime hídrico	Variáveis				
		Ψ_w (MPa)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A/E
Laranjeira	100% CC	- 0,59 \pm 0,09 Aa	7,82 \pm 0,87 Aa	68 \pm 12 Aa	1,42 \pm 0,08 Aa	5,41 \pm 0,87 Ba
	130% CC	- 0,47 \pm 0,04 Aa	7,96 \pm 0,68 Aa	54 \pm 9 Ba	1,13 \pm 0,06 Ba	7,05 \pm 0,68 Aa
Muaná	100% CC	- 0,51 \pm 0,03 Aa	7,11 \pm 0,67 Aab	60 \pm 7 Aa	1,40 \pm 0,18 Aa	5,14 \pm 0,98 Ba
	130% CC	- 0,67 \pm 0,03 Ab	7,85 \pm 0,70 Aa	50 \pm 1 Ba	1,17 \pm 0,06 Ba	6,73 \pm 0,93 Aa
BRS-Pará	100% CC	- 0,51 \pm 0,08 Aa	6,48 \pm 0,60 Bb	64 \pm 12 Aa	1,34 \pm 0,19 Aa	4,87 \pm 0,37 Ba
	130% CC	- 0,54 \pm 0,04 Aab	8,16 \pm 0,90 Aa	54 \pm 9 Ba	1,23 \pm 0,17 Ba	6,62 \pm 0,69 Aa
Hideo	100% CC	- 0,50 \pm 0,01 Aa	6,85 \pm 0,72 Bab	60 \pm 19 Aa	1,32 \pm 0,05 Aa	5,19 \pm 0,32 Ba
	130% CC	- 0,50 \pm 0,04 Aab	8,58 \pm 0,87 Aa	48 \pm 4 Ba	1,10 \pm 0,09 Ba	7,82 \pm 1,17 Aa

Letras maiúsculas comparam o mesmo material vegetal avaliado nos dois diferentes RH. Letras minúsculas comparam diferentes materiais vegetais avaliados sob um mesmo RH. Letras maiúsculas e minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre médias (Newman-Keuls, $P < 0,05$).

O melhor desempenho vegetativo das mudas cultivadas sob RH de 130% CC está relacionado à maior A apresentada por essas plantas ao longo do experimento (Figura 3). Isto, associado ao maior NF e AFT, deve ter contribuído para uma maior fixação de CO_2 total da planta em relação às plantas cultivadas a 100% CC.

As diferenças na A , g_s e E entre RH (100 e 130% CC) não podem ser explicadas pelos valores de Ψ_w registrados para essas plantas entre 9 e 10h, pois os mesmos não diferiram significativamente ao longo do experimento (Figura 3). Porém, ressalta-se que o Ψ_w varia ao longo do dia em função das variações na temperatura e umidade relativa do ar, da radiação e do déficit de pressão de vapor (DPV) entre folha e atmosfera (Cordeiro et al., 2009; Carvalho et al., 2013). Uma vez que a reposição hídrica de 130% CC implica em um maior volume de água aplicado, pode-se inferir que este volume hídrico adicional forme uma maior expansão do bulbo molhado no substrato (Maia & Levien, 2010), permitindo que a água ocupe os microporos e parte dos macroporos sem provocar condições de hipóxia às plantas. Dessa feita, o excedente hídrico (30%) em relação ao RH de 100% CC significa mais água disponível para as raízes, principalmente nos horários de maior DPV. Isto deve permitir que as plantas permaneçam hidratadas por mais tempo ao longo de um dia, ocasionando maiores ganhos de carbono pela fotossíntese.

Figura 6 - Mudas após 180 dias de cultivo, dos diferentes genótipos distribuídas aos pares lâmina de 130%cc a esquerda e lâmina de 100%cc a direita, numa sequência da esquerda para direita , Muana, BRS-PA, Hideo e Laranjeira



2.4. Conclusões

Nas condições onde o trabalho foi conduzido, pode-se concluir que:

1. O açazeiro não tolera irrigação abaixo da capacidade de campo.
2. A formação das mudas de açazeiro como padrão qualitativo regulamentado é obtido sob irrigação superior à capacidade de campo (130% CC).
3. Materiais vegetais de várzea ou adaptados à terra firme requerem a mesma demanda hídrica para formação de mudas com o padrão qualitativo regulamentado em norma.

Referências

Alves Júnior, J.; Lopes, A. S.; Hernandez, F. B.T.; Santos, R. A. dos; Bergamaschine, A. F. Produção de matéria verde em pupunheira irrigada. Irriga, v.10, p.349-356, 2005.

Barcelos, E.; Rodrigues, M. R. L.; Santos, J. A. dos; Cunha, R. N. V. Produção de mudas de dendzeiro na Amazônia. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. 11p. Circular Técnica 8.

Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Delegacia Federal de Agricultura no Pará. Comissão Estadual de Sementes e Mudas do Pará. Normas técnicas e padrões para a produção de mudas fiscalizadas no Estado do Pará. Belém, 1997. 40p.

Carvalho, C.M.; Viana, T.V.A.; Marinho, A.B.; Lima Júnior, L.A. de; Azevedo, B.M. de; Valnir Júnior, M. Influência de diferentes lâminas de irrigação no crescimento inicial do pinhão manso. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.5, p.75-81, 2011.

Carvalho, K.S.; Pinheiro, H.A.; Festucci-Buselli, R.A.; Silva Júnior, D.D.; Castro, G.L.S.; Cruz, F.J.R.; Fujiyama, B.S. Diurnal changes in leaflet gas exchange, water status and antioxidant responses in *Carapa guianensis* plants under water-deficit conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.35, p.13-21, 2013.

Chaves, M.M.; Flexas, J; Pinheiro, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, p.103,551-560, 2009.

Conforto, E. C.; Contin, D. R. Desenvolvimento do açaizeiro de terra firme, cultivar Pará, sob atenuação da radiação solar em fase de viveiro. *Bragantia*, v.68, p.979-983,2009.

Cordeiro, Y. E. M.; Pinheiro, H. A.; Santos Filho, B. G.; Correa, S. S.; Silva Júnior, D. D.; Dias Filho, M. B. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecology and Management*, v.258, p.1449-1455, 2009.

Fachini, E.; Galbiatti, J. A.; Pavani, L. C. Níveis de irrigação e de composto de lixo orgânico na formação de mudas cítricas em casa de vegetação. *Engenharia Agrícola*, v.24, p.578-588, 2004.

Gomes, F. P.; Oliva, M. A., Mielke, M. S., Almeida, A. A. F.; Aquino, L.A. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera*

submitted to drought stress. *Scientia Horticulturae*, v.126, p.379-384, 2010.

Klar, A. E.; Villa Nova, N. A.; Marcos, Z. Z.; Cervellini, A. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, v.23, p.16-30, 1966.

Kozlowski, T. T.; Pallardy, S. G. *Physiology of Woody Plants*. San Diego: Academic Press, 1997. 411p.

Maia, C. E.; Levien, S. L. A. Estimativas de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. *Ciência Rural*, v.40, p.1302-1308, 2010.

Menezes, E. M. S.; Torres, A. T.; Srur, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. *Acta Amazônica*, v.38, p.311-316, 2008.

Murray, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. *Journal Applied of Meteorology*, v.6, p.203-204, 1967.

Nogueira, O. L.; Carvalho, C. J. R. de; Muller, C. H. *A cultura do Açaí*. Belém: Embrapa-CPATU. Brasília: Embrapa SPI, 1995. 50p. Coleção Plantar,26

Nogueira, O. L.; Conceição, H. E. O. Análise de crescimento de açaizeiros em áreas de várzea do estuário Amazônico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.2167- 2173, 2000.

Parolin, P.; Simone, O. de; Haase, K.; Waldhoff, D.; Rottenberger, S.; Kuhn, U.; Kesselmeier, J.; Schmidt, W.; Piedade, M. T. F.; Junk, W. J. Central Amazon floodplain forests: tree survival in a pulsing system. *The Botanical Review*, v.70, p.357-380, 2004.

Pinheiro, H. A.; Silva, J. V.; Endres, L.; Ferreira, V. M.; Câmara, C. A.; Cabral, F. F.; Oliveira, J. F.; Carvalho, L. W. T.; Santos, J. M.; Santos Filho, B. G. dos. Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. *Industrial Crops and Products*, v.27, p.385-392, 2008.

Ramos, A.; Bovi, M. L. A.; Folegatti, M. V. Desenvolvimento vegetativo da pupunheira irrigada por gotejamento em função de diferentes níveis de depleção de água no solo. *Horticultura Brasileira*, v.20, p.28-33, 2002.

Santana, A. C; Pessoa, J. D. C; Santana, A. L.O mercado. In: Pessoa, J. D. C.; Teixeira, G. H. A. *Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe*. Brasília: Embrapa, 2012. Cap.1, p.21-62.

Sousa, L. A. S.; Jardim, M. A. G. Produção foliar de mudas de açazeiro (*Euterpe oleraceae* Mart.) em área de vegetação secundária no nordeste paraense. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, p.225-227, 2007b.

Sousa, L. A. S.; Jardim, M. A. G. Sobrevivência e mortalidade de plântulas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) cultivadas em capoeira no nordeste paraense. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, p.255-257, 2007a.

Suresh, K.; Nagamani, C.; Ramachanduru, K.; Mathur, R. K. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elais guineenses* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. *Photosynthetica*, v.48, p.430-436, 2010.

Vellini, A. L. T. T.; Paula, N. F. de; Alves, P. L. C. A.; Pavani, L. C.; bonine, C. A. V.; Scarpinati, E. A.; Paula, R. C. de. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. *Revista Árvore*, v.32, p.651-663, 2008.

3. Tolerância diferencial ao déficit hídrico em dois genótipos de açaizeiro adaptados às condições de terra firme²

Resumo

Uma possível tolerância diferencial ao déficit hídrico em dois genótipos de açaizeiro (cultivar BRS-Pa e ecotipo Hideo) foi averiguada após submeter as plantas a um período de 45 dias sob irrigação diária com volumes hídricos correspondentes a 100% (controle), 70% e 40% da capacidade de campo. O comportamento morfofisiológico e o crescimento foi similar entre plantas plenamente irrigadas dos dois genótipos, mas o déficit hídrico causou reduções significativas ($P < 0.05$) no potencial hídrico foliar, na taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática ao vapor d'água e transpiração (E). A diminuição da A foi acompanhada por diminuição na concentração foliar de clorofilas totais, em especial no ecotipo Hideo submetido a 40%CC. As plantas estressadas apresentaram expressiva redução na área foliar total (AFT) e massas secas de folhas e raízes, sendo tais reduções mais expressivas no ecotipo Hideo, em especial sob 40%CC. A A e a E total das plantas dos dois genótipos, calculadas com base na AFT, foram expressivamente reduzidas em relação às plantas controle, sendo essas reduções mais expressivas no ecotipo Hideo submetidas a 40%CC. As plantas da cv. BRS-Pa apresentaram maior massa seca de raízes que as plantas do ecotipo Hideo, refletindo em uma maior razão raiz/parte aérea. Não houve qualquer efeito do estresse nas concentrações foliares de amido em ambos os genótipos, mas as plantas estressadas da cv. BRS-Pa apresentaram maiores concentrações de carboidratos solúveis totais, glicose e frutose que no ecotipo Hideo. Um aumento na concentração de prolina foi observado nas plantas estressadas dos dois genótipos. Dos resultados obtidos, pode-se concluir que a cv. BRS-Pa mostrou-se mais eficiente em atenuar os efeitos do déficit hídrico sob a turgescência foliar e capacidade fotossintética, garantindo-lhe um maior crescimento que nas plantas estressadas do ecotipo Hideo.

² Este capítulo segue as normas da revista Scientia Horticulturae

Abstract

3.1. Introdução

O açazeiro (*Euterpe oleraceae* Mart., Família Arecaceae), destaca-se pelo relevante valor nutritivo de seus frutos, cuja polpa possui elevada concentração de vitaminas, fibras, gorduras e antocianinas, além de propriedades antioxidantes (Menezes et al., 2008; Holdnerss et al., 2011). No cenário nacional e mundial, o estado do Pará é o maior produtor e consumidor do fruto, respondendo por aproximadamente 90% da produção nacional de açaí (IBGE, 2012). A cadeia produtiva do açaí movimentou, em 2014, cerca de 22 milhões de dólares só em exportação de frutos (Reetz, 2015), o que justifica investimentos cada vez maiores nos sistemas de plantio e manejo, colheita e qualidade da bebida.

A produção de frutos de açaí para atender a demanda do mercado decorre grandemente de açazais nativos que ocorrem naturalmente nas áreas várzeas amazônicas, principalmente no estado do Pará, na região das ilhas localizadas ao entorno da capital do estado Belém (Oliveira, 2002). Estima-se que só no estuário do rio Amazonas, no Pará, ocorram populações naturais de açazeiro em uma área aproximada de 1.000.000 ha (Nogueira, 2005). Por outro lado, plantios comerciais da espécie tem sido introduzidos em área de terra firme com o intuito de otimizar a cadeia produtiva do açaí, com adoção de tecnologias de cultivo apropriadas que possam assegurar produção, inclusive na entressafra (em geral entre os meses de janeiro a maio; Oliveira et al., 2002; Homma et al., 2014). Ressalta-se contudo, que os ecossistemas de várzea e terra firme apresentam diferenças edafoclimáticas marcantes, principalmente no que diz respeito a maior disponibilidade hídrica e nutricional que ocorre nas várzeas por conta das oscilações diárias de marés, que fornecem água e nutrientes inclusive nos meses de estiagem na região norte (Nogueira, 2005).

As áreas de terra firme que podem ser aproveitadas para a introdução de novos plantios comerciais de açazeiros são áreas já antropizadas, mas que se concentram em regiões sujeitas a períodos de estiagem que variam de quatro a seis meses, com precipitação mensal inferior a 60 mm (Nascimento e Homma, 1984). Esta baixa precipitação resulta em uma deficiência hídrica do solo que pode limitar o crescimento vegetativo e produção da cultura.

Os efeitos da deficiência hídrica em plantas são complexos. Em geral, plantas submetidas a deficiência hídrica progressiva apresentam diminuições significativas nas taxas fotossintéticas decorrentes de limitações estomáticas ao influxo de CO₂ e alterações bioquímicas relacionadas à fixação do CO₂ (Chaves et al., 2009; Flexas et al., 2012). Com efeito, a produção e alocação de assimilados são prejudicadas e isto reflete diretamente em um

menor crescimento vegetativo e produção. Os efeitos do déficit hídrico induzido pela aplicação de irrigação que forneça um volume de água inferior aquele necessário para levar o solo a capacidade de campo ou decorrente da suspensão completa da irrigação sob variáveis de trocas gasosas e crescimento tem sido conduzidos em diversas espécies lenhosas, tais como *Hymenaea courbaril* (Nascimento et al., 2011), *Swietenia macrophylla* (Cordeiro et al. 2009; Albuquerque et al., 2013), *Carapa guianensis* (Carvalho et al., 2013; Cruz et al., 2013) e em palmeiras, tais como em *Bactris gasipaes* (Oliveira et al., 2002; Tucci et al., 2010), *Elaeis guineensis* (Suresh et al., 2010; Sun et al., 2011; Suresh et al., 2012), *Cocos nucifera* (Passos et al., 2005; Gomes et al., 2008; Gomes et al., 2010) e também em plantas de *E. oleraceae* (Calbo e Moraes, 2000; Sousa e Jardim, 2007; Mar et al., 2013).

Independentemente de como o déficit hídrico se desenvolve, as plantas podem apresentar diferentes estratégias a fim de minimizar os efeitos da restrição hídrica as quais estão sujeitas. Dentre eles, destacam-se o próprio fechamento dos estômatos e a subsequente redução da transpiração, o aumento na eficiência do uso da água, diminuição da área foliar total e aumento da razão raiz/parte aérea, e a síntese de compostos bioquímicos com propriedades osmorreguladoras, tais como a prolina e glicinabetaína (Pinheiro et al., 2005; Cordeiro et al. 2009; Gomes et al., 2010; Carvalho et al., 2013; Cruz et al., 2013).

Uma tolerância diferencial ao déficit hídrico pode ser observada dentre diferentes espécies e dentre diferentes genótipos (variedades, cultivares, ecotipos, híbridos, etc.) de uma mesma espécie. Esta variabilidade genotípica pode ser constatada em diferentes genótipos de palmeiras, tais como em *C. nucifera* (Passos et al., 2005; Gomes et al., 2008) e *E. guineensis* (Suresh et al., 2012; Silva et al., 2015). Em geral, os genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico são aqueles capazes de lançar mão de estratégias morfofisiológicas e bioquímicas que lhes permitam manter um crescimento mínimo e, em casos mais extremos sobreviverem, quando submetidos a condições de restrição hídrica. Isto posto, pode-se inferir que genótipos de açazeiro também devam apresentar variabilidade genética quanto às suas respostas morfofisiológicas a uma menor disponibilidade hídrica do solo. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo verificar a capacidade de tolerância diferencial ao déficit hídrico em dois genótipos de açazeiro (cv. BRS-Pará e o ecotipo Hideo) cultivados sob lâminas de irrigação com reposição hídrica inferior àquela necessária para manter o solo à capacidade de campo.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Material vegetal, condições de crescimento e delineamento experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de março e maio de 2013, em casa de vegetação coberta com filme de polietileno de 100 μ aditivado contra radiação UV localizada no Campus da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA (01°27'19"S, 48°26'20"W). Sementes da cultivar BRS-Pará (registro nº 11.300 RNC/MAPA/Pa) e do ecotipo Hideo (registro nº Pa. 407/2008 MAPA/Pa) foram semeadas em bandejas de polietileno (50 x 33 x 10 cm) preenchidas com substrato de fibra de coco (Golden Mix 87, Sococo Agroindústria da Amazônia, Ananindeua, Brasil) e umedecidas diariamente com 400 mL de água por bandeja. Após 47 dias do semeio, as plântulas mais vigorosas e que apresentavam uma folha fechada foram selecionadas e transferidas para sacos de polietileno (15x25 cm) previamente preenchidos com 1,6 L de mistura de terriço e cama de aviário curtida (2,5:1; v/v). Os sacos foram dispostos em canteiros e a eles acoplado um sistema de irrigação por botões gotejadores alto compensados (PCJ, Netafim, São Paulo, Brasil), com vazão de 1,92 L h⁻¹ por gotejador. A vazão foi definida previamente a fim de manter o substrato próximo à capacidade de campo (CC). O volume de água a ser repostado foi determinado através do método gravimétrico (Klar, 1966). Fertilização foliar com macro e micro nutrientes foi realizada aplicando-se solução de FHHF (Heringer, São Paulo, Brasil), na concentração de 4 g L⁻¹, a cada 30 dias a partir do transplantio. Cada planta recebeu 3,9 mL desta solução por aplicação. A temperatura do ar (T_{ar}), a umidade relativa do ar (UR) e a radiação incidente (RI) no local experimental foram determinadas por meio de uma estação meteorológica automatizada (modelo HOBO U12-012, Onset Computer Corporation, Bourne, EUA). O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado segundo Murray (1967). As médias diurnas de T_{ar} , UR, RI e DPV no sítio experimental foram; respectivamente, iguais a 33°C, 64%, 382,4 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e 1,91 kPa e as médias de T_{ar} , UR, RI e DPV no interior da casa de vegetação durante os horários de medição (entre 9:00 e 10:00 h) foram respectivamente de 34 °C, 62%, 990 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e 2,08 kPa.

Após 60 dias do semeio, plantas uniformes que apresentavam duas folhas cotiledonares, altura média (da base do coleto ao ápice do pecíolo) em torno de 10 cm e diâmetro na base do coleto em torno de 4,5 mm foram selecionadas para a instalação do experimento definitivo. As plantas de cada genótipo (BRS-Pará e Hideo) foram submetidas a três lâminas de irrigação diferentes: 100%CC (lâmina controle), 70%CC e 40%CC (lâminas de restrição hídrica), compondo um delineamento experimental inteiramente ao acaso em esquema fatorial 2 x 3

(dois genótipos e três lâminas de irrigação) com cinco repetições por tratamento. Uma planta individual foi considerada repetição. O estabelecimento dos diferentes regimes hídricos foi realizado por meio da regulação diferencial do tempo de funcionamento dos gotejadores, determinado após se calcular o volume de água a ser reposta para cada tratamento. O volume de água a ser reposta foi determinado a partir de pesagens diárias das unidades experimentais (saco + muda + substrato). As irrigações foram realizadas diariamente entre 7:30 e 8:00 h. As avaliações dos tratamentos ocorreram 45 dias após da diferenciação das lâminas de irrigação.

3.2.2. Trocas gasosas, clorofilas totais e potencial hídrico

As trocas gasosas, a concentração de clorofilas totais e o potencial hídrico foliar (Ψ_w) foram determinados entre 9:00 e 10:00 h, utilizando-se a segunda folha a partir do ápice. As taxas de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática ao vapor d'água (g_s) e transpiração (E) foram determinadas por meio de um analisador de gases a infravermelho (LCpro, ADC Bioscientific Ltd., Hoddesdon, Reino Unido), sob concentração ambiente de CO_2 e radiação fotossinteticamente ativa de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valor este que representa a radiação local no horário de medição. A eficiência instantânea do uso da água, foi calculada como a razão entre A e E (A/E). Também foram calculadas a taxa total de assimilação líquida de CO_2 da planta (A_{Tot}) e a taxa de transpiração total da planta (E_{Tot}) calculadas levando-se em conta as taxas de A e E obtidas por unidade de área foliar normalizadas para a área foliar total apresentada pelas plantas em função dos regimes hídricos. Em seguida, a concentração de clorofilas totais foi determinada por meio de um medidor portátil de clorofila (SPAD 502-plus, Konica Minolta, Osaka, Japão). O Ψ_w foi determinado utilizando-se uma bomba de pressão do tipo Scholander (m670, Pms Instrument Co., Albany, Estados Unidos) conforme descrito por Pinheiro et al. (2008). As determinações de Ψ_w foram realizadas imediatamente após as determinações das trocas gasosas, portanto, utilizando-se a mesma folha amostrada.

3.2.3. Variáveis de crescimento

Após as determinações fisiológicas, foram determinadas a altura das plantas (AP; medindo-se a região entre a base do coleto e o ápice do pecíolo da folha mais alta), o diâmetro do coleto (DC) e o número de folhas (computando-se na contagem a folha destacada para a determinação do Ψ_w). Posteriormente, as plantas foram separadas em sistema radicular e parte aérea. As folhas foram separadas dos pecíolos e os limbos digitalizados para determinação da

área foliar através do software ImageJ (v. 1.47, National Institute of Mental Health, Bethesda, Estados Unidos). A área foliar total (AFT) de cada planta foi calculada como o somatório das áreas de todos os limbos foliares. Em seguida, os limbos foliares, pecíolos e sistema radicular; este último previamente lavado sobre peneira 2 mm, foram colocados em sacos de papel e levados para secagem até massa constante em estufa de ventilação forçada de ar a 70 °C. As massas secas de folhas (MSF) e raízes (MSR) foram obtidas e a massa seca total da planta (MST) calculada como o somatório MSF e MSR. A partir desses resultados foram também calculadas a AFE ($AFE = AFT/MSF$) e razão entre massas do sistema radicular e parte aérea ($R/PA = MSR/MSF$).

3.2.4. Compostos bioquímicos relacionados ao metabolismo do carbono e nitrogênio

Para a determinação de carboidratos solúveis totais, glicose, frutose e aminoácidos totais, foi utilizado a fração etanólica resultante da incubação de amostras secas foliares (10 mg) em 1,3 mL de etanol 98% a 80 °C por 20 min. A fração etanólica foi obtida após centrifugação a 1.200 g, a 4°C por 5 min, sendo esta etapa de extração repetida três vezes para a obtenção do extrato etanólico final. As duas extrações finais foram realizadas em etanol 80 e 50% também a 80 °C por 20 min. O resíduo desta extração foi reservado para a determinação de amido e proteínas solúveis totais. As concentrações de glicose e frutose foram determinadas em tampão [1 M Imidazol, 50 mM MgCl₂; pH 6,9] contendo 50 mM NAD⁺, 50 mM ATP e 1 Unidade (U) de desidrogenase da glicose-6-fosfato. A concentração de glicose foi obtida após a adição de 1 U de Hexocinase, a concentração de frutose após a adição de 1 U de isomerase da glicose-6-fosfato e a concentração de sacarose após a adição de 1 U de invertase. Para ambos os casos, foi acompanhada a produção de NADPH a 340 nm (Ferne et al., 2001). Os aminoácidos totais foram quantificados em tampão citrato [1 M NaOH e 0,2% (p/v) ácido ascórbico, pH 5,2) acrescido de 1% (p/v) ninhidrina. A absorbância das amostras foi determinada a 595 nm (Gibon et al., 2004). As proteínas solúveis totais foram obtidas a partir da suspensão do resíduo da extração etanólica em 0,2 M de KOH a 90 °C e a reação colorimétrica foi realizada pelo método de Bradford (1976). A concentração de amido foi determinada em tampão (0,3 M citrato de sódio e 0,3M de ácido cítrico; pH 4,6) e 3 U de amiloglicosidase, seguidos de hidrólise a 55°C. Em seguida, os açúcares obtidos a partir da hidrólise do amido foram quantificados com acréscimo da 1 U de hexocinase em tampão similar ao utilizado para determinação de açúcares. Este ensaio foi determinado pelo acréscimo da Abs a 340 nm (Ferne et al., 2001). As concentrações de prolina e glicinabetaina

foram determinadas, respectivamente, de acordo com Bates et al. (1973) e Grieve and Grattan (1983).

3.2.5. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre médias para cada variável foram examinadas por meio do teste de Newman-Keuls ($P < 0,05$), utilizando-se o software SAEG (v. 9.1, Viçosa, Brasil).

3.3. Resultados

3.3.1. Potencial hídrico foliar e trocas gasosas

A restrição hídrica imposta pela aplicação diferenciada da irrigação promoveu reduções significativas ($P < 0,05$) no Ψ_w das plantas de ambos os genótipos (Fig. 7A). Para a cv. BRS-Pa, as médias de Ψ_w das plantas submetidas às lâminas de 70%CC e 40%CC foram respectivamente menores em 31 e 66% que nas plantas controle (100%CC). Para o ecotipo Hideo, as reduções no Ψ_w foram de 62% (70%CC) e 93% (40%CC) (Fig. 7A). Diferenças genotípicas no Ψ_w foram observadas nos regimes hídricos 70%CC e 40%CC, sendo as médias maiores em 24 e 17% na cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo (Fig. 7A).

Com o decréscimo no Ψ_w , reduções significativas na A foram observadas em ambos os genótipos (Fig. 1B). No entanto, a redução da A na cv. BRS-Pa foi significativa ($P < 0,05$) apenas para as plantas submetidas a 40%CC, cuja média foi 16% menor que nas plantas controle. Por outro lado, as plantas do ecotipo Hideo submetidas a 70%CC e 40%CC apresentaram médias de A 38 e 42% menores em relação às plantas controle (Fig. 7B). Comparando-se os dois genótipos no mesmo regime hídrico, foi possível verificar que as médias de A foram similares entre plantas controle, mas foram aproximadamente 29 e 25% maiores nas plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 70%CC ou 40%CC que nas plantas do ecotipo Hideo (Fig. 7B). As plantas plenamente irrigadas da cv. BRS-Pa e ecotipo Hideo apresentaram similares médias de g_s (Fig. 1C). Na cv. BRS-Pa, a irrigação com reposição hídrica de 70%CC não causou qualquer efeito na g_s , enquanto a irrigação com 40%CC causou uma redução de 36% na g_s em relação às plantas controle (Fig. 7C). No ecotipo Hideo, as reposições hídricas com 70%CC e 40%CC causaram reduções significativas ($P < 0,05$) na g_s da ordem de 28 e 57%, respectivamente, quando comparadas às plantas controle (Fig. 7C). Em relação às plantas da cv. BRS-Pa, foi observado que a g_s foi significativamente maior em 23 e

33% nas plantas da cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo comparadas sob regimes hídricos de 70%CC e 40%CC, respectivamente (Fig. 7C). A restrição hídrica imposta pela irrigação com 70%CC causou uma redução média de 18% na E das plantas de ambos os genótipos em relação às suas respectivas plantas controle (Fig. 7D). Quando essas plantas foram submetidas a 40%CC, reduções na E da ordem de 23% (BRS-Pa) e 38% (Hideo) foram observadas em relação às respectivas plantas mantidas a 100%CC (Fig. 7D). Diferenças na E entre os dois genótipos estudados só foram evidentes sob regime hídrico de 40%CC, sendo 28% maior na cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo (Fig. 7D).

O fechamento estomático não causou alterações significativas na C_i/C_a nas plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 70%CC ou nas plantas do ecotipo Hideo submetidas a 70%CC ou 40%CC (Fig. 7E). No entanto, um aumento de 30% na C_i/C_a das plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 40%CC foi observado em relação às plantas controle (Fig. 7E). Os genótipos apresentaram diferenças significativas na C_i/C_a apenas sob regime hídrico de 40%CC, sendo 17% maior na cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo (Fig. 7E). As médias da A/E nas plantas de BRS-Pa não foram influenciadas pelas lâminas de irrigação (Fig. 7F). Por outro lado, uma redução significativa ($P<0.05$) de 35% na A/E foi observada quando as plantas do ecotipo Hideo foram submetidas a 70%CC. Nesse ecotipo, a A/E não diferiu ($P>0.05$) entre plantas plenamente irrigadas e àquelas submetidas a 40%CC (Fig. 7F). Os genótipos diferiram quanto a A/E apenas no regime hídrico de 70%CC, sendo maior em 25% na BRS-Pa que no ecotipo Hideo (Fig. 7E).

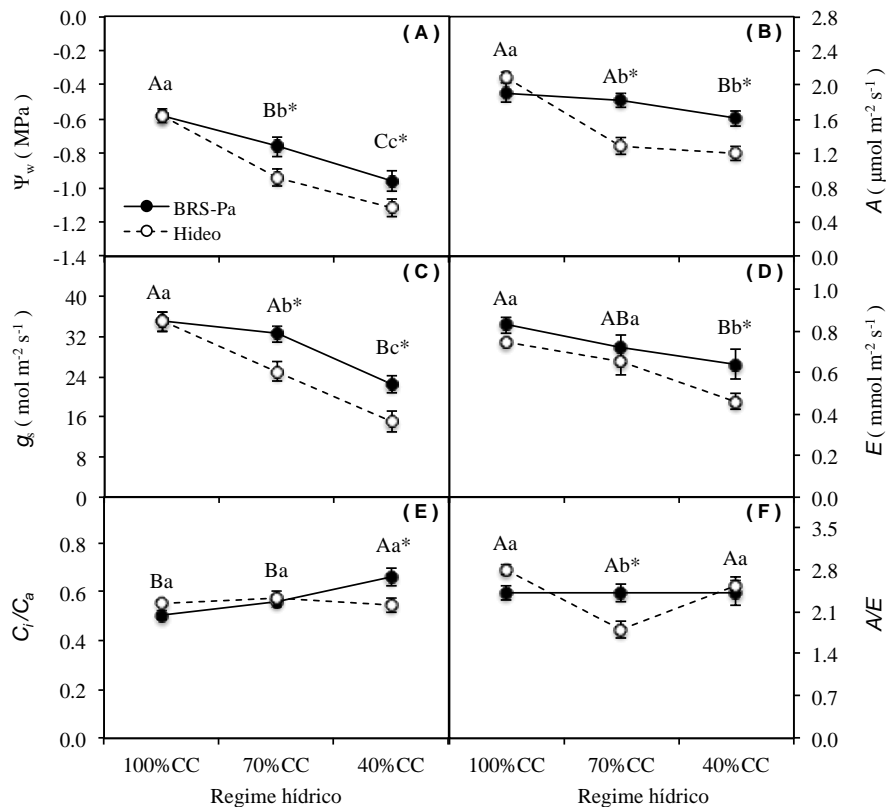


Figura 7. Variações no potencial hídrico foliar (Ψ_w), trocas gasosas (taxa de assimilação líquida do CO_2 , A ; condutância estomática ao vapor d'água, g_s ; transpiração, E ; razão entre concentração intercelular e atmosférica de CO_2 , C_i/C_a) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Médias seguidas de letras maiúsculas e minúsculas diferentes denotam, respectivamente, diferenças entre plantas da cv. BRS-Pa e do ecotipo Hideo comparadas sob diferentes lâminas de irrigação (efeito do regime hídrico). Asteriscos, quando presentes, denotam diferenças entre médias de diferentes genótipos comparados sob mesma lâmina de irrigação. As comparações foram realizadas pelo teste de Newman-Keuls ($P < 0,05$).

3.3.2. Clorofilas totais

As concentrações de Chl nas plantas da cv. BRS-Pa e do ecotipo Hideo foram diferentemente reduzidas sob restrição hídrica (Fig. 8). Na cv. BRS-Pa, a irrigação com reposição hídrica de 70%CC não exerceu efeito na Chl, mas a irrigação com reposição hídrica de 40%CC promoveu um decréscimo de 20% nas Chl em relação às plantas controle (Fig. 8). No ecotipo Hideo, as reposições hídricas com 70%CC e 40%CC causaram reduções significativas ($P < 0,05$) na Chl da ordem de 30 e 36%, respectivamente, quando comparadas às plantas controle (Fig. 8).

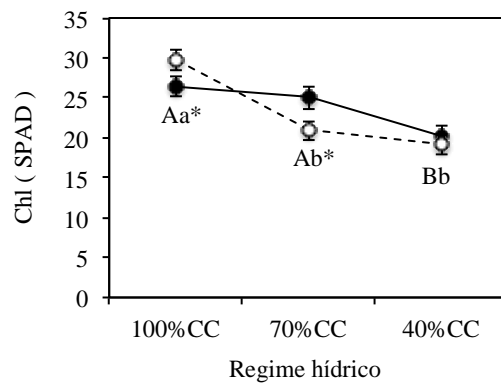


Figura 8. Variações na concentração de clorofilas totais (Chl) em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig. 7.

3.3.3. Carboidratos foliares

As concentrações foliares de amido na cv. BRS-Pa não foram influenciadas pelos regimes hídricos (Fig. 9A). No ecótipo Hideo, a concentração de amido não diferenciou entre plantas submetidas a 100% CC e 70%CC, mas foi significativamente ($P<0.05$) menor sob 40%CC (Fig. 9A). Os genótipos diferiram na concentração de amido apenas quando submetidos a 40%CC, de forma que a concentração deste polissacarídeo foi 10% menor no ecótipo Hideo (Fig. 9A).

A concentração de CST não diferiu entre plantas controle da cv. BRS-Pa e àquelas submetidas a 70%CC, mas foi maior em 45% nas plantas submetidas a 40%CC (Fig. 9B). No ecótipo Hideo, aumentos significativos ($P<0.05$) nas concentrações de CST foram observados tanto para as plantas submetidas a 70%CC (86%) quanto para aquelas a 40%CC (110%) (Fig. 9B). Diferenças genotípicas nas concentrações foliares de CST foram observadas sob irrigação de 100%CC e 40%CC, sendo menores em 47% e 23% no ecótipo Hideo que na cv. BRS-Pa (Fig. 9B). Um padrão de variações semelhante foi observado para as concentrações foliares de glicose (Fig. 9C). Portanto, um aumento significativo ($P<0.05$) de 48% na concentração deste monossacarídeo foi observado apenas para as plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 40%CC (Fig. 9C), enquanto aumentos de 62% e 73% foram observados para as plantas do ecótipo Hideo submetidas a 70%CC e 40%CC, respectivamente (Fig. 9C). As diferenças genotípicas nas concentrações foliares de glicose também só foram significativas ($P<0.05$) nos regimes hídricos de 100%CC e 40%CC, sendo menores em 38 e 27% no ecótipo Hideo que na cv. BRS-Pa (Fig. 9C). Por outro lado, aumentos nas concentrações de frutose foram observados nas plantas de ambos os genótipos quando em resposta a restrição hídrica (Fig. 3D). Em

comparação aos respectivos controles, aumentos de 31% (BRS-Pa) e 164% (Hideo) na concentração de frutose foram observados nas plantas sob irrigação de 70%CC, enquanto aumentos de 38% (BRS-Pa) e 238% (Hideo) foram observados nas plantas sob irrigação de 40%CC (Fig. 9D). As diferenças genotípicas nas concentrações deste monossacarídeo ocorreram nas reposições hídricas de 100%CC e 70%CC, sendo 64% e 27% menores no ecotipo Hideo que na cv. BRS-Pa (Fig. 9D).

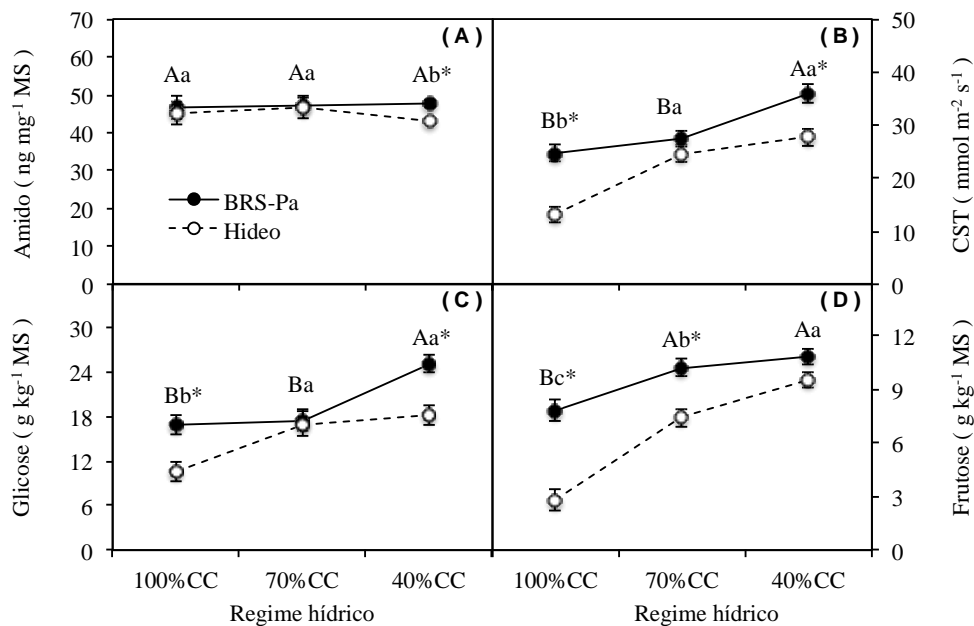


Figura 9. Variações nas concentrações foliares de amido, carboidratos solúveis totais (CST), glicose e frutose em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig. 7.

3.3.4. Proteínas, aminoácidos, prolina e glicinabetaína

As plantas da cv. BRS-Pa não apresentaram alterações significativas ($P>0.05$) na concentração foliar de PS_{Tot} quando comparadas sob diferentes regimes hídricos. Em contraste, as plantas do ecotipo Hideo apresentaram aumentos de 26 e 21% na concentração de PS_{Tot} sob irrigação de 70%CC e 40%CC quando comparadas ao controle (Fig. 10A). Os resultados indicam ainda que a concentração de PS_{Tot} foi significativamente maior nas plantas da cv. BRS-Pa (10%) que no ecotipo Hideo sob irrigação plena e que nenhuma diferença genotípica foi observada sob restrição hídrica (Fig. 10A). As concentrações de AA_{Tot} foram significativamente reduzidas para ambos os genótipos em função da restrição hídrica. Em comparação às plantas controle, a cv. BRS-Pa apresentou reduções de 19 e 22% nos AA_{Tot}

sob irrigação de 70%CC e 40%CC. No ecotipo Hideo, as reduções foram de 19 e 24% nas irrigações de 70%CC e 40%CC (Fig. 4B). Quando as plantas dos diferentes genótipos foram comparadas no mesmo regime hídrico, foi observado que as concentrações de AA_{Tot} foram, em média, 14% maiores no ecotipo Hideo que na cv. BRS-Pa (Fig. 10B).

As concentrações foliares de prolina foram influenciadas pelos regimes hídricos em ambos os genótipos, com aumentos de 8 e 13% nas plantas da cv. BRS-Pa sob irrigação de 70%CC e 40%CC, e aumentos de 17 e 19% nas plantas do ecotipo Hideo submetidas a 70%CC e 40%CC quando as mesmas foram comparadas às respectivas plantas controle (Fig. 4C). Não houve diferenças significativas ($P>0.05$) entre genótipos comparados no mesmo regime hídrico (Fig. 4C). A concentração de GB diminuiu em 12% nas plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 70%CC, mas não diferiu das plantas controle quando submetidas à irrigação de 40%CC (Fig. 4D). No ecotipo Hideo, a concentração de GB não foi influenciada pelos regimes hídricos (Fig. 4D). Com relação às diferenças genotípicas, foi observado que a concentração de GB foi 20% menor na cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo no regime hídrico de 70%CC, mas foi 7% maior na cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo no regime hídrico de 40%CC (Fig. 10D).

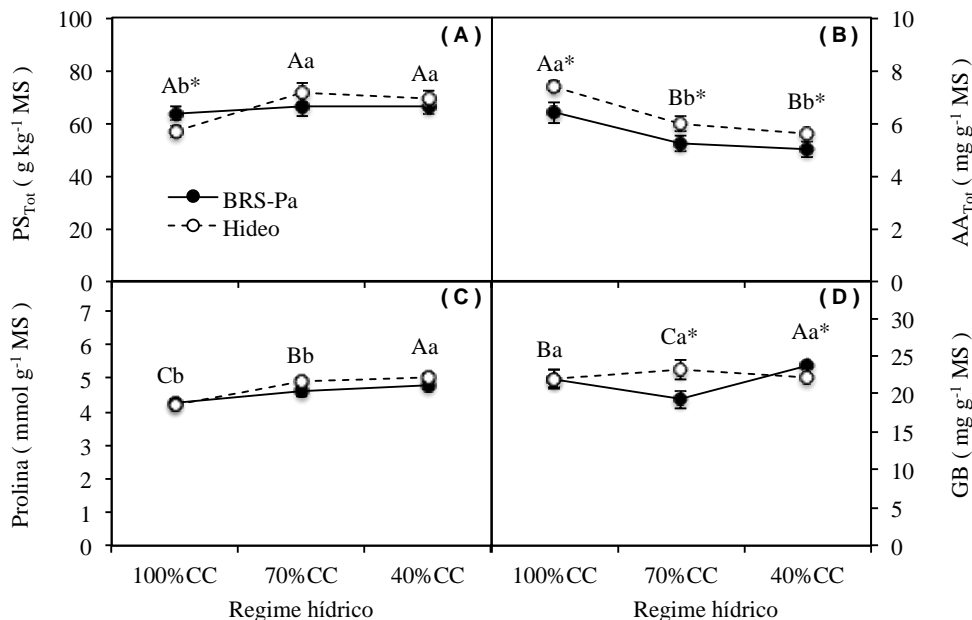


Figura 10. Variações nas concentrações foliares de proteínas solúveis totais (PS_{Tot}), aminoácidos totais (AA_{Tot}), prolina e glicinabetaína (GB) em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições ± erro padrão. Estatística como na Fig. 7.

3.5. Variáveis de crescimento

As plantas dos dois genótipos cultivadas sob lâmina de irrigação de 100% CC apresentaram; após os 45 dias de experimento, um padrão morfológico bastante similar (Fig. 11), exceto pela AFT e AFE, que foram 15 e 17% maiores na cv. BRS-Pa que no ecotipo Hideo (Fig. 11G e Fig. 11H). As plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 70%CC apresentaram uma redução significativa ($P<0.05$) de aproximadamente 12% na AP (Fig. 11A) e 10% no DC (Fig. 11B) e um aumento de 25% na R/PA (Fig. 11F) em relação às plantas controle, enquanto nenhum efeito significativo ($P>0.05$) foi observado nas demais variáveis de crescimento (Fig. 11). Nas plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 40%CC, foram observadas reduções de 23% na AP (Fig. 11A) e 22% no DC (Fig. 11B) e, adicionalmente, essas plantas apresentaram reduções de 31% na MSF, 33% na MSR, 34% na MST, 47% na AFT e 28% na AFE em relação às plantas controle (Fig. 11). Nessas plantas, a R/PA não diferiu significativamente ($P>0.05$) das plantas controle (Fig. 11F).

Nas plantas do ecotipo Hideo, a restrição hídrica por meio da irrigação com 70%CC promoveu reduções significativas ($P<0.05$) de 9% na AP, 16% no DC, 30% na MSF, 25% na MST, 44% na AFT e 21% na AFE em relação às plantas controle (Fig. 11). Ainda nas plantas submetidas a 70%CC, nenhuma alteração na MSR foi observada em relação às plantas controle, mas a R/PA foi significativamente ($P<0.05$) maior em 45% nas plantas sob 70%CC que nas plantas plenamente irrigadas (Fig. 11F). Quando as plantas do ecotipo Hideo foram submetidas a 40%CC, reduções significativas ($P<0.05$) de 22% na AP, 13% no DC, 38% na MSF, 24% na MSR, 35% na MST, 53% na AFT e 28% na AFE foram observadas em relação às plantas controle (Fig. 11). Ressalta-se que nessas plantas, assim como naquelas submetidas a 70%CC, a R/PA manteve-se maior (30%) que nas plantas controle (Fig. 11F).

Comparando-se os dois genótipos sob regime hídrico de 70%CC, foi possível observar que o ecotipo Hideo apresentou menores médias de MSF (25%), MSR (17%), MST (23%), AFT (51%) e AFE (30%) que a cv. BRS-Pa, enquanto nenhum efeito significativo ($P>0.05$) foi observado para a R/PA (Fig.11). Sob regime hídrico de 40%CC, ambos os genótipos apresentaram médias similares para todas as variáveis de crescimento, exceto para DC e R/PA, que foram, respectivamente, 12 e 33% maiores no ecotipo Hideo que na cv. BRS-Pa (Fig. 11B e 11F).

3.3.5. Taxa total de assimilação líquida de CO₂ da planta e transpiração total da planta

Os efeitos dos diferentes regimes hídricos na *A* e *E* nos dois genótipos foram mais evidentes quando os resultados foram calculados com base nas variações da AFT apresentadas por cada planta em função dos diferentes regimes hídricos (Fig. 12). Assim, comparando-se as plantas

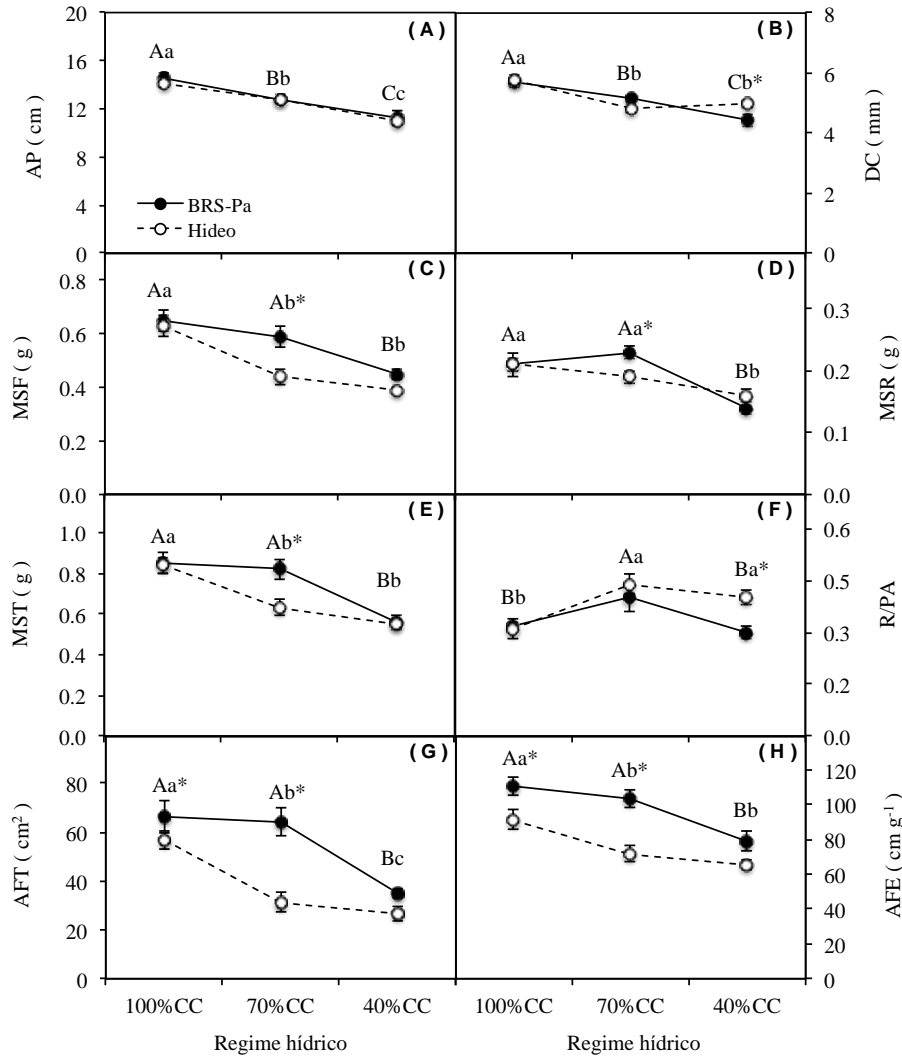


Figura 11. Alterações no crescimento (altura da planta, AP; diâmetro do coleto, DC; massa seca de folhas, MSF; massa seca de raízes, MSR; massa seca total, MST; razão entre massa seca de raízes e parte aérea, R/PA, área foliar total, AFT e área foliar específica, AFE) de mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig. 7.

estressadas às suas respectivas plantas controle (100%CC), foi observado que a A_{Tot} foi significativamente ($P < 0.05$) reduzida em 21 e 66% para as plantas da cv. BRS-Pa e Hideo submetidas a 70%CC e em 58 e 71% para as plantas da cv. BRS-Pa e Hideo submetidas a 40%CC (Fig. 12A). A E_{Tot} das plantas estressadas em relação às respectivas plantas controle foi reduzida em 29 e 48% para as plantas da cv. BRS-Pa e Hideo submetidas a 70%CC e em 59 e 68% para as plantas da cv. BRS-Pa e Hideo submetidas a 40%CC (Fig. 12A). Comparando-se os genótipos a 70%CC, foi observado que a A_{Tot} e a E_{Tot} foram

significativamente ($P < 0.05$) menores em 63 e 47% nas plantas do ecotipo Hideo que na cv. BRS-Pa (Fig. 12). As diferenças genótípicas persistiram quando as plantas foram comparadas sob maior restrição hídrica (40%CC), de forma que a A_{Tot} e a E_{Tot} no ecotipo Hideo foram, em média, menores em 42% que na cv. BRS-Pa (Fig. 12).

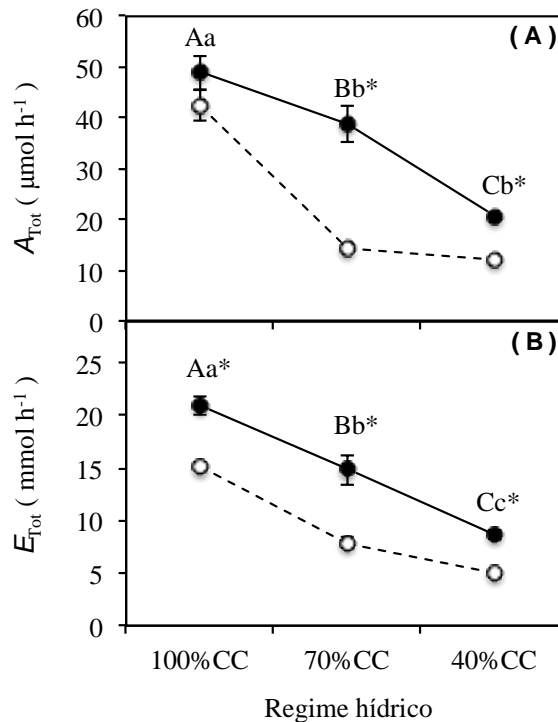


Figura 12. Taxa total de assimilação líquida de CO_2 (A_{Tot}) e transpiração total (E_{Tot}) calculadas em função das variações da área foliar total em mudas de dois genótipos de *E. oleraceae* submetidas a diferentes regimes hídricos. Os dados são a média de cinco repetições \pm erro padrão. Estatística como na Fig. 7.

3.4. Discussão

Neste experimento, a limitação hídrica do solo foi induzida pela aplicação diária de irrigação com volume hídrico inferior àquele necessário para levar o solo à capacidade de campo. Embora as plantas fossem irrigadas diariamente, o menor volume hídrico aplicado nos tratamentos 70%CC e 40%CC foi capaz de promover reduções significativas no Ψ_w das plantas estressadas de ambos os genótipos em relação às suas respectivas plantas controle. Como os valores de Ψ_w medidos entre 9 e 10 h não foram inferiores a -1,12 MPa (ecotipo Hideo sob 40%CC), então os efeitos dos regimes hídricos aplicados (70%CC e 40%CC) sob as variáveis morfofisiológicas avaliadas neste experimento foram decorrentes do período no qual as plantas foram submetidas a tais restrições hídricas (45 dias), ou seja, em resposta a um efeito acumulado dos regimes hídricos em função do tempo. Ao se comparar os dois genótipos, foi observado que a cv. BRS-Pa apresentou uma melhor capacidade de manutenção

do status hídrico foliar que o ecotipo Hideo, visto que o Ψ_w nestas últimas foi sempre inferior que nas primeiras. Esta resposta indica uma habilidade diferencial desses genótipos em utilizar estratégias que limitem a perda de água pela planta e ao mesmo tempo permitam uma maior absorção de água do solo e sua distribuição na parte aérea. A atenuação dos efeitos do déficit hídrico na redução Ψ_w e a manutenção da turgescência foliar está associada à tolerância ao déficit hídrico em genótipos de *E. guineensis* (Suresh et al., 2012), *C. canephora* (Pinheiro et al., 2005).

Pelo menos em parte, a manutenção do status hídrico foliar pode ser alcançada pela redução da g_s , a qual aumenta a resistência à saída do vapor d'água da folha para a atmosfera e subsequentemente limita a transpiração (Pinheiro et al., 2005). Nas plantas submetidas a 70%CC, a redução na g_s foi observada apenas no ecotipo Hideo e sob 40%CC em ambos os genótipos, sendo que o fechamento estomático foi sempre mais proeminente no ecotipo Hideo que na cv. BRS-Pa. Embora o ecotipo Hideo tenha apresentado maiores reduções na g_s , foi observado que esta estratégia não foi, por si só, eficiente em limitar a E por unidade de área foliar.

Por outro lado, foi observado, sob 70%CC, que a AFT foi expressivamente reduzida apenas nas plantas do ecotipo Hideo e, sob 40%CC, a AFT foi expressivamente reduzida em ambos os genótipos. As reduções na AFT não foram decorrentes de abscisão foliar, visto que o número de folhas das plantas não foi alterado durante o período experimental. Assim, as reduções na AFT podem ser justificadas pela menor expansão do limbo foliar conforme observado previamente em plantas de *E. oleraceae* submetidas a dois ciclos de déficit hídrico (Mar et al., 2013). Reduções na AFT em resposta ao déficit hídrico foram também observadas em *C. canephora* (DaMatta et al., 2003), *Ricinus communis* (Beltrão et al., 2003), *Hymenenaea courbaril* (Nascimento et al., 2011), tendo sido discutido que a menor AFT pode estar associada a uma maior economia hídrica, pois quanto menor a AFT menor é a superfície foliar transpirante e menor deverá ser a transpiração total da planta. De fato, quando a E_{Tot} das plantas estressadas da cv. BRS-Pa e ecotipo Hideo foi estimada considerando-se a AFT das plantas, foi possível observar que ambos os genótipos foram eficientes em reduzir a perda de água via transpiração, com maior destaque para o ecotipo Hideo, cuja E_{Tot} foi mais expressivamente reduzida que na cv. BRS-Pa, independente do regime hídrico.

Embora as plantas da cv. BRS-Pa submetidas a 70%CC tenham apresentado um controle estomático da transpiração menos eficiente que o ecotipo Hideo, a maior MSR nas plantas da cv. BRS-Pa indica que essas plantas foram capazes, ao longo do período experimental, de

investirem assimilados na formação de um sistema radicular mais robusto para explorar melhor a água do substrato. Esta estratégia foi previamente demonstrada em clones de *C. canephora* tolerantes ao déficit hídrico (Pinheiro et al., 2005). Portanto, sob 70%CC, a menor eficiência em limitar a E na cv. BRS-Pa deve ter sido compensada por uma maior capacidade de absorção de água pelas raízes dessas plantas, o que explicaria seu maior Ψ_w em relação ao ecotipo Hideo. Essa estratégia se repetiu a 40%CC, quando novamente as plantas estressadas da cv. BRS-Pa apresentaram uma maior MSR que no ecotipo Hideo, embora neste regime hídrico as diferenças entre esses genótipos tenha sido mais discreta.

O estresse não alterou a síntese de proteínas nas plantas estressadas da cv. BRS-Pa, mas induziu um aumento significativo nas PSTot das plantas do ecotipo Hideo sob 70%CC e 40%CC. Este resultado pode estar relacionado a um aumento na síntese de proteínas que possam exercer um papel de resposta ao déficit hídrico, e esta síntese só teria sido significativa no ecotipo Hideo em razão deste ter apresentado maior sensibilidade ao estresse que a cv. BRS-Pa. O estresse ocasionou uma diminuição nas concentrações de AA_{Tot} das plantas estressadas de ambos os genótipos. Tal diminuição deve estar associada ao aumento na concentração de PS_{Tot} para o ecotipo Hideo e ao aumento na concentração de prolina nas plantas estressadas dos dois genótipos. Do exposto, a ocorrência de um ajustamento osmótico mediado por prolina nas plantas da cv. BRS-Pa e do ecotipo Hideo submetidas a 70%CC e 40%CC deve ter sido disparado, ainda que este mecanismo pareça ter sido mais evidente no ecotipo Hideo dadas as porcentagens de aumento neste aminoácido em relação às plantas controle. O ajustamento osmótico é uma estratégia que permite a absorção e transporte de água para a parte aérea mesmo quando a E é reduzida em resposta às diminuições da g_s . Assim, maiores reduções no Ψ_w devem ter sido evitadas conforme previamente demonstrado em *Swietenia macrophylla* (Cordeiro et al., 2009; Albuquerque et al., 2013) e *C. nucifera* (Gomes et al., 2010).

A capacidade fotossintética das plantas dos dois genótipos sob plena irrigação (100%CC) foi similar tanto quando a A foi determinada por unidade de área foliar quanto estimada em função da AFT. Esta resposta explica as similaridades de padrão morfológico apresentado pelas mudas dos dois genótipos e indica que os mesmos apresentam semelhante potencial de crescimento vegetativo quando a água do solo não é limitante. No entanto, os resultados mostraram que a A , avaliada por unidade de área foliar, foi mais expressivamente reduzida no ecotipo Hideo que na cv. BRS-Pa, especialmente nas plantas submetidas a 70%CC. Considerando-se a A_{Tot} , calculada com base nas respectivas AFT, a distinção entre genótipos

se tornou mais evidente ainda, indicando que o ecotipo Hideo apresentou uma capacidade de fixação de CO₂ expressivamente menor que a cv. BRS-Pa. As reduções na *A* não foram acompanhadas por reduções significativas na C_i/C_a , e, portanto, não podem ser explicadas por limitações estomáticas ao influxo de CO₂ às folhas (Chaves et al., 2009; Flexas et al., 2012). Por outro lado, as reduções na *A* nos dois genótipos foram acompanhadas por significativas reduções nas concentrações de clorofilas totais, indicando ter ocorrido uma desestruturação dos fotossistemas, o que levaria a uma diminuição na produção de ATP e NADPH para a etapa de fixação de CO₂ (Silva et al., 2015). Não se descarta ainda a ocorrência de aumentos na fotorrespiração, conforme demonstrado em plantas de dois genótipos de *E. guineensis* submetidas ao déficit hídrico progressivo do solo (Silva et al., 2015).

As plantas sob estresse de ambos os genótipos não apresentaram alterações significativas nas concentrações foliares de amido mas apresentaram aumentos significativos na CST, de glicose e frutose em padrões relativamente similares, em especial sob maior restrição hídrica (40%CC). Estes resultados indicam que embora a fotossíntese tenha sido reduzida nas plantas estressadas, ambos os genótipos garantiram o armazenamento de amido como reserva nas folhas. Nas plantas estressadas também foram observados aumentos significativos nas concentrações foliares de glicose e frutose, o que indica que parte das trioses-P produzidas pela fotossíntese devem ter sido utilizadas na síntese dos mesmos no citosol através da glicólise. Esta seria uma estratégia para aumentar a síntese de sacarose no citosol e favorecer sua translocação para as demais partes da planta, em especial para as raízes, cujo crescimento foi menos afetado que da parte aérea, conforme evidenciado pelas maiores R/PA das plantas estressadas em relação aos seus respectivos controles. A rápida translocação da sacarose da folha para outras partes da planta pode ser suportada pela ausência de concentrações detectáveis deste dissacarídeo nas folhas em ambos os genótipos, independente do regime hídrico, o que inclui, portanto, as plantas controle (100%CC).

3.5. Conclusões

Em conjunto, os resultados apresentados permitem concluir que (i) os genótipos estudados apresentam um semelhante padrão de comportamento morfofisiológico quando cultivados sob plena irrigação. Sob déficit hídrico, conclui-se que a cv. BRS-Pa (ii) é mais eficiente em atenuar os efeitos do déficit hídrico sob a turgescência foliar por meio de um controle estomático da transpiração associado ao maior crescimento do sistema radicular; e (iii) possui um aparato fotossintético mais estável que as plantas do ecotipo Hideo, o qual culmina na

maior síntese de carboidratos foliares e crescimento da planta. Finalmente, conclui-se que (iv) a ocorrência de um ajustamento osmótico mediado por prolina foi um mecanismo fisiológico bastante discreto na manutenção da turgescência foliar dos dois genótipos.

Referências

Albuquerque MPF, Moraes FKC, Santos RIN, Castro GLS, Ramos EMLS, Pinheiro HA (2013) Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. *Pesq Agropec Bras* 48:9–16

Beltrão NEM, Souza JG, Santos JW (2003) Estresse hídrico (deficiência e excesso) e seus efeitos no crescimento inicial da mamoneira, cultivar Brs 188 Paraguaçu. *Rev Bras Ol Fibras* 7:735-741

Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72:248–254

Calbo MER, Moraes JAPV (2000) Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleraceae* (açai) *Rev Bras Bot* 23:225–230

Carvalho KS, Pinheiro HA, Festucci-Buselli RA, Silva Júnior DD, Castro GLS, Cruz FJR, Fujiyama BS (2013) Diurnal changes in leaflet gas exchange, water status and antioxidant responses in *Carapa guianensis* plants under water-deficit conditions. *Acta Physiol Plant* 35:13–21

Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Ann Bot* 103:551–560

Cordeiro YEM, Pinheiro HA, Santos-Filho BG, Corrêa SS, Dias-Filho MB (2009) Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecol Manag* 258:1449–1455

Cruz FJR, Castro GLS, Silva Júnior DD, Festucci-Buselli RA, Pinheiro HA (2013) Exogenous glycine betaine modulates ascorbate peroxidase and catalase activities and prevent lipid peroxidation in mild water-stressed *Carapa guianensis* plants. *Photosynthetica* 51:102–108

DaMatta FM, Chaves ARM, Pinheiro HA, Ducatti C, Loureiro ME (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Sci* 164: 111–117

Fernie AR, Roscher A, Ratcliffe RG, Kruger NJ (2001) Fructose 2,6-bisphosphate activates pyrophosphate: fructose-6-phosphate:1- phosphotransferase and increases triose-phosphate to hexose-phosphate cycling in heterotrophic cells. *Planta* 212:250–263

Flexas J, Barbour MM, Brendel O, Cabrera HM, Carriquí M, Díaz-Espejo A, Douthe C, Dreyer E, Ferrio JP, Gago J, Gallé A, Galmés J, Kodama N, Medrano H, Niinemets U, Peguero-Pina JJ, Pou A, Ribas-Carbó M, Tomás M, Tosens T, Warren CR (2012) Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Sci* 193-194:70-84

Gibon Y, Blaesing OE, Henneman JH, Carillo P, Höhne M, Hendricks JHM, Palacios N, Cross J, Selbig J, Stitt M (2004) A robot-based platform to measure multiple enzyme activities in Arabidopsis using a set of cycling assays: comparison of changes of enzyme activities and transcript levels during diurnal cycles and in prolonged darkness. *Plant Cell*, 16:3304–3325

Gomes FP, Oliva MA, Mielke MS, Almeida A-AF, Leite HG, Aquino LA (2008) Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. ‘nana’) palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. *Environ Exp Bot* 62:195–204

Gomes FP, Oliva MA, Mielke MS, Almeida A-AF, Aquino LA (2010) Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. *Sci Hort* 126:379–384

Grieve CM, Grattan SR (1983) Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil* 70:303–307

Holderness J, Schepetkin IA, Freedman B, Kirpotina LN, Quinn MT, Hedges JF, Jutila MA (2011) Polysaccharides isolated from açai fruit induce innate immune responses. *Plos One* 6:e17301

Homma AKO Açai: Novos desafios e tendências. In: HOMMA, A. K. O. (Ed.) Extrativismo historia,ecologia,economia e domesticação vegetal na Amazônia. Embrapa Amazônia Oriental 7: 133–148

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Sidra. 2012. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 março 2014

Klar AE, Villa Nova NA, Marcos ZZ, Cervellini A (1966) Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. *Anais da Esc Sup de Agr Luiz de Queiroz* 23:16-30

Mar CC, Conceição HEO, Santos ABR, Viegas IJM, Silva SN (2013) Produção de massa seca e área foliar do açaizeiro sob déficit hídrico. *Rev Agroecossistemas* 5:14-23

Menezes EMS, Torres AT, Srur AUS (2008) Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. *Acta Amazonica* 38:311–316

Murray FW On the computation of saturation vapor pressure (1967) *Journal Applied of Meteorology* 6:203-204

Nascimento CNB e Homma AKO (1984) *Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola*. Belém: Embrapa-CPATU 282

Nascimento HHC, Nogueira RJMC, Silva EC, Silva MA (2011) Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. *Rev Árvore* 35:617–626

Nogueira RJMC, Albuquerque MB, Silva EC (2005) Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: Nogueira RJMC et al. (eds) *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, pp 22–31

Oliveira MAJ, Bovi MLA, Machado EC, Gomes MMA, Habermann G, Rodrigues JD (2002) Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Sci Agric* 59:59–63

Oliveira MSP, Carvalho JEU, Nascimento WMO, Muller CH (2002) *Cultivo do açaizeiro para produção de frutos*. Belém, Pará: Embrapa Amazônia Oriental, 17p. (Circular técnica, n.26)

Passos CD, Passos EEM, Prado CHBA (2005) Seasonal performance of water potential and gas exchange in four variety of dwarf coconut. *Rev Bras Frutic* 27:248–254

Pinheiro HA, Silva JV, Endres L, Ferreira VM, Câmara CA, Cabral FF, Oliveira JF, Carvalho LWT, Santos JM, Santos Filho BG (2008) Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress

conditions. *Ind Crops Prod* 27:385–392

Pinheiro HA, DaMatta FM, Chaves ARM, Loureiro ME, Ducatti C (2005) Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Ann Bot* 96:101–108

Reetz ER (2015) Anuário brasileiro da fruticultura 2014. Editora Gazeta, Santa Cruz do Sul, 104

Silva PA, Oliveira IV, Rodrigues KCB, Cosme VS, Bastos AJR, Detmann KSC, Cunha RL, Festucci-Buselli RA, DaMatta FM, Pinheiro HA (2015). Leaf gas exchange and multiple enzymatic and non-enzymatic antioxidant strategies related to drought tolerance in two oil palm hybrids. *Trees* (no prelo). DOI :10.1007/s00468-015-1289-x

Souza LAS e Jardim MAG (2007) Produção foliar de mudas de açazeiro (eutrpe oleracea Mart.) em área de vegetação secundária no nordeste paraense. *Rev Bras de Bioci* 5: 225-227

Sun C-S, Cao H-X, Shao H-B, Lei X-T, Xiao Y (2011) Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. *African J Biotec* 10:10465–10471

Suresh K, Nagamani C, Ramachanduru K, Mathur RK (2010) Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. *Photosynthetica* 48:430–436

Suresh K, Nagamani C, Kantha DL, Kumar MK (2012) Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water deficit. *Photosynthetica* 50:549–556

Tucci MLS, Erismann NM, Machado EC, Ribeiro RV (2010) Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical condition. *Photosynthetica* 48:421–429