

**CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE AÇAÍ E JUÇARA
CULTIVADAS SOB ESTRESSE HÍDRICO**

ROZANE FRANCI DE MORAES TAVARES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO - 2017**

CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE AÇAÍ E JUÇARA
CULTIVADAS SOB ESTRESSE HÍDRICO

ROZANE FRANCI DE MORAES TAVARES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO - 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCH / UENF**

048/2017

T231 Tavares, Rozane Franci de Moraes.

Crescimento e fisiologia de mudas de açaí e juçara cultivadas sob estresse hídrico / Rozane Franci de Moraes Tavares. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

88 f. : il.

Bibliografia: f. 63 - 73.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Orientador: Almy Junior Cordeiro de Carvalho.

1. *Euterpe oleracea*. 2. *Euterpe edulis*. 3. Palmeiras - Mudas. 4. Estresse Hídrico. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 634.974

CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE AÇAÍ E JUÇARA
CULTIVADAS SOB ESTRESSE HÍDRICO

ROZANE FRANCI DE MORAES TAVARES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 29 de março de 2017

Comissão Examinadora:

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Dr^a Sarah Ola Moreira (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - INCAPER

Prof^a Janie Mendes Jasmim (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Importância econômica do açaí e juçara	4
2.2. Gênero <i>Euterpe</i>	7
2.2.1. Caracterização botânica do açaizeiro	9
2.2.2. Caracterização botânica da palmeira juçara.....	12
2.3. Composição mineral em palmeiras.....	14
2.4. Disponibilidade de água no solo	17
2.5. Manejo de água na produção de palmeiras	18
2.6. Estresse hídrico e seus efeitos nas plantas.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Caracterização geral e condução do experimento.....	25
3.1.1. Controle da irrigação no experimento	27
3.2. Variáveis-resposta	30
3.2.1. Parâmetros biométricos.....	31
3.2.2. Análise nutricional das plantas	32
3.2.3. Parâmetros fisiológicos.....	32
3.3. Análise estatística	33

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Biometria das plantas de açaizeiro e juçara.....	34
4.2. Composição mineral das plantas	45
4.3. Aspectos fisiológicos das plantas	54
5. RESUMO E CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
. APÊNDICES.....	74

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por sempre ser minha base de confiança e gratidão, pois sem Ele nada seria possível. Por estar sempre ao meu lado, dando-me forças espirituais e físicas para concluir mais essa etapa.

Aos meus pais, Antônio e Rosana Tavares, meus grandes incentivadores, pois sempre estiveram presentes, mesmo a distância sendo longa, dando-me apoio, ouvindo-me nas horas que eu mais precisava durante todo o percurso da pós-graduação, sempre com muito carinho e amor, ensinando-me que a vida é um constante aprendizado, principalmente nas horas mais difíceis.

Aos meus irmãos e à minha cunhada, Alanne, Arthur e Fernanda, pelo companheirismo, amizade e apoio em nossas conversas, por sempre me fazerem rir nos momentos mais tristes em que me encontrava.

Ao meu namorado, Alan Chrisleyr, pelo seu apoio, conversas e companheirismo durante todos os momentos dessa jornada.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pela oportunidade de realizar uma qualificação profissional e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador e professor Dr. Almy Junior Cordeiro de Carvalho por me orientar e me incentivar profissionalmente na vida acadêmica e na pesquisa.

Ao professor, Dr. Cláudio Roberto Marciano, por ter co-orientado e colaborado na execução do meu trabalho.

Ao grupo do LFIT do CCTA/UENF, amigos e companheiros de laboratório, Dr. Marlon Altoé, Dr^a. Patrícia Pessanha, Dr. Paulo Cesar, às doutorandas Aurilena Aviz e Gabriella Linhares, à mestranda/amiga Tâmara Moreira e ao graduando Adonay Aguiar e ao técnico do laboratório Detony Petry.

Agradeço, especialmente, ao técnico de Laboratório de Solos Ederaldo pelo companheirismo, atenção e ajuda durante toda a condução deste trabalho.

Aos meninos do grupo LMGV, Natan Cavalcante, Odimar de Almeida e Paulo Ricardo, pelo apoio físico e conselhos, dos quais contribuíram para a execução deste trabalho.

Agradeço as meninas, Deyse Malcher e Marlene Evangelista, da “republica paraense”, pelas conversas divertidas e amizade ao longo dessa jornada.

A professora Dr.^a Marta Simone Freitas pela disponibilização do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas para realização das análises de tecido vegetal.

Ao Eng. Químico, José Accácio, pelas instruções e acompanhamento das análises nutricionais no setor de Nutrição Mineral de Plantas do Laboratório de Fitotecnia da UENF.

À CAPES e à FAPERJ pelo financiamento concedido para a execução e o andamento da pesquisa proposta por esse trabalho

A todas as pessoas que diretamente e indiretamente contribuíram para a realização dessa etapa em minha vida.

RESUMO

Tavares, Rozane Franci de Moraes. M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2017. Crescimento e fisiologia de açaí e juçara cultivadas sob estresse hídrico. Orientador: Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho; Co-orientador: Prof. Cláudio Roberto Marciano.

A palmeira *Euterpe oleracea* Mart., conhecida como açaizeiro, é predominantemente encontrada às margens dos rios da bacia amazônica e em terra firme da Região Norte do Brasil. Destaca-se, atualmente, pelo potencial mercadológico de seus produtos, representados, principalmente, pelo palmito e pela polpa extraída dos frutos. A palmeira *Euterpe edulis* Mart., conhecida como palmeira juçara, é uma planta de estipe simples e ocorre naturalmente em áreas da Mata Atlântica. A juçara caracteriza-se por produzir palmito de qualidade superior, com maior valor econômico quando comparado ao do açaí, entretanto a recente expansão de seu cultivo deve-se ao fato da polpa de seus frutos, também chamado de açaí, apresentar grande potencial comercial. O trabalho teve por objetivo avaliar o padrão de crescimento, desenvolvimento e o comportamento fisiológico de mudas das espécies nativas de açaí e juçara, conduzidas sob diferentes níveis de disponibilidade de água no substrato. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com tratamentos em arranjo fatorial 4x2x2, sendo quatro níveis de umidade no substrato (33, 67, 100 e 133% da capacidade de água disponível no recipiente), duas espécies de *Euterpe* (açaizeiro e juçara) e dois períodos de estresse nas plantas (30 e 60 dias). Foram avaliados parâmetros

biométricos, nutricionais e fisiológicos para detectar diferenças nas respostas ao estresse hídrico das plantas. Observou-se que as maiores médias para as características altura da planta, diâmetro do caule e massa seca foliar ocorreram nas mudas de açaí, bem como as menores para a relação parte aérea/raiz e número de folhas, porém as espécies produziram área foliar semelhante. As espécies tiveram comportamentos semelhantes em relação à umidade do substrato, sendo linear para altura, e quadrático para o diâmetro, área foliar e massa seca foliar. Observou-se a diferença de absorção dos nutrientes do substrato pelas espécies e a alocação desses nutrientes nas distintas partes das plantas. As concentrações dos nutrientes N, Ca, Mg, Zn e B foram maiores nas folhas de juçara quando comparados aos teores das folhas das mudas de açaí. O aumento do fornecimento de água no substrato foi significativo para os teores de N e Ca, tendo um comportamento linear, enquanto que, o teor de P não alterou conforme a disponibilidade hídrica aumentava no substrato. Comparando-se às espécies, a taxa de assimilação de CO₂, a condutância estomática e a transpiração foram lineares para as mudas de açaí, isto é, a redução do teor de água disponível reduz a taxa de carboxilação, devido ao fechamento estomático na ordem de reduzir a perda de água por meio da transpiração. Para as mudas de juçara, o comportamento foi semelhante ao das mudas de açaí somente para a condutância estomática e transpiração, mas para a taxa de assimilação de CO₂, as mudas de juçara mantiveram a mesma taxa de carboxilação para o processo fotossintético mesmo nas umidades em déficit hídrico, isto é, mantiveram em média 3,70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂. Pôde-se concluir que, a despeito do maior porte das mudas de açaí em relação à juçara, as duas espécies apresentam comportamentos similares quanto à biometria e ao acúmulo de matéria seca. Quanto ao sistema radicular, embora mais pronunciado nas mudas de açaí, estas mudas foram mais sensíveis que a juçara tanto no acúmulo de biomassa quanto nas variáveis de sua expansão, bem como, para as variáveis fisiológicas, principalmente para a taxa fotossintética.

ABSTRACT

Tavares, Rozane Franci de Moraes. M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March 2017. Growth and physiology of açai and jussara palm cultivated under water stress. Advisor: Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho; Co-advisor: Prof. Cláudio Roberto Marciano.

The palm *Euterpe oleracea* Mart., known as açazeiro or açai palm, is predominantly found on the banks of the rivers of the Amazon basin and on dry land in the Northern region of Brazil. It is currently noteworthy for the market potential of its products, represented, mainly, by heart of palm and the pulp extracted from the fruits. The palm *Euterpe edulis* Mart., known as the jussara palm, is a simple sprout plant and occurs naturally in Atlantic Rainforest areas. The jussara palm is characterized by producing superior quality heart of palm, with greater economic value when compared to the açai. However, the recent expansion of its cultivation is due to the fact that its fruit pulp, also called açai, presents great commercial potential. The aim of this study was to evaluate the growth, development and physiological behavior pattern of seedlings of the native açai and jussara species, conducted under different water availability levels in the substrate. The experimental design was a complete randomized block design, with treatments in a 4x2x2 factorial arrangement, four moisture levels in the substrate (33, 67, 100 and 133 % of the available water capacity in the container), two *Euterpe* species (açazeiro and jussara) and two stress periods (30 and 60 days). Biometric, nutritional and physiological parameters were evaluated to detect

differences in responses to plant water stress. The highest averages for the plant height, stem diameter and dry leaf mass were observed in the açai seedlings, as well as the smallest averages for the shoot/root ratio and number of leaves, although the species produced similar leaf area. Both species showed similar behaviors regarding substrate moisture, being linear for height, and quadratic for leaf diameter, leaf area and dry mass. The difference in nutrient uptake from the substrate by both species and the allocation of these nutrients in different parts of the plants were observed. The concentrations of nutrients N, Ca, Mg, Zn and B were higher in jussara leaves when compared to the leaf content in açai seedlings. The increase of the water supply in the substrate was significant for N and Ca concentrations, that displayed a linear behavior, whereas P content did not change as water availability increased in the substrate. Comparing both species, the CO₂ assimilation rate, stomatal conductance and transpiration were linear for the açai seedlings, that is, the decrease of available water content reduced the carboxylation rate, due to stomatal closure in the order of reduce water loss through perspiration. For the jussara seedlings, behavior was similar to that of açai seedlings only for stomatal conductance and transpiration, but regarding the CO₂ assimilation rate, jussara seedlings maintained the same carboxylation rate for the photosynthetic process, even in the humidities under water deficit, in other words, they maintained on average 3.70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of CO₂. It was concluded that, in spite of the greater size of the açai seedlings when compared to jussara, the two species display similar behaviors regarding biometry and accumulation of dry matter. As for the root system, although more pronounced in the açai seedlings, these seedlings were more sensitive than jussara seedlings regarding biomass accumulation, as well as for expansion, and physiological variables, mainly photosynthetic rate.

1. INTRODUÇÃO

Na imensa biodiversidade da Floresta Amazônica, o açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) destaca-se por ser a palmeira mais produtiva dessa região, tanto na produção de frutos como em gêneros derivados da planta. O fruto, matéria-prima para a obtenção do suco de açaí, bebida símbolo do estado do Pará, é o principal produto dessa palmeira. A espécie é encontrada em igapó e em terra firme, porém com maior frequência e densidade em solos de várzeas. Encontrase distribuída pelos estados do Pará, Maranhão, Amapá, Acre, Rondônia, bem como na Guiana e Venezuela (Farias Neto et al., 2005; Nascimento; 2008; Menezes et al., 2008).

O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador mundial de palmito e de frutos de açaí (Guerra et al., 1984; Ramos et al., 2002). Ultimamente, a polpa dos frutos de açaí está se expandindo para novas fronteiras de mercado como uma das novas superfrutas, principalmente para a região Sudeste do país, para alguns países da Europa e para os Estados Unidos, Japão e China (Conab, 2016).

A polpa desse fruto tem sido objeto de alguns estudos em função de seu valor nutritivo e sensorial (Rogez, 2000; Menezes et al., 2008), sendo inclusive considerada como um alimento fonte de energia, pois é rico em fibra, antocianinas, minerais e ácidos graxos, por esta razão, é um alimento funcional que ajuda na nutrição humana e previne diversas doenças degenerativas (Rufino et al., 2010)

A produção desses frutos em terra firme está se expandindo tanto no estado do Pará quanto para outros locais com características favoráveis ao seu desenvolvimento, em consequência da exportação de seus frutos para o mercado externo (Souza e Jardim, 2007), no entanto, sem o uso de sistema de irrigação ou com uso empírico do manejo de irrigação (Homma et al., 2006, Silvestre et al., 2016; Conab, 2016). Segundo Sousa e Jardim (2007), a disponibilidade de água no solo é um fator que favorece a sobrevivência de mudas de açaí transplantadas recentemente a campo.

A palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart.) é abundante no sub-bosque da Floresta Atlântica e é espécie de suma importância como geradora de produtos florestais não madeireiros. A palmeira ocorre da Bahia ao Rio Grande do Sul e destaca-se das demais pela qualidade e rendimento do palmito produzido. No entanto, a exploração predatória levou à erosão genética da espécie, o que dificulta a regeneração natural da população. Recentemente, maior atenção tem sido dada ao potencial de seus frutos para a produção de polpa, uma vez que a juçara produz grande quantidade de frutos que fornecem suco com paladar, textura e coloração muito semelhante ao do açaí (Reis et al., 2000a; Costa et al., 2008; Ribeiro et al., 2011; Paluto et al., 2012).

Na prática, a produção da polpa artesanal de juçara tem tido rendimento em volume e concentração de polpa semelhante ao do açaí. E isto é um aspecto positivo do manejo da juçara para a produção de polpa do fruto, em relação ao manejo para a extração de palmito, pois a retirada do palmito implica na morte da planta (Costa et al., 2008). Por essa razão, a exploração predatória do palmito tem impacto negativo sobre muitas espécies da fauna, devido à juçara ser uma fonte de alimento importante para muitos animais, como para *Pyrrhura* sp. (Guimarães e Souza, 2017).

Alguns estudos já relacionados à polpa de juçara têm sido realizados, como por Geraldini et al. (2017), estudando o desenvolvimento de iogurte com polpa de juçara, estes autores verificaram que a polpa de juçara tem potencial como ingrediente para a produção de iogurtes.

As palmeiras açaí e juçara têm papel importante na vegetação de áreas inundáveis, como margens de rios, por tolerarem bem a umidade, colaborando para evitar o assoreamento e preservar a qualidade das águas (Martins e Souza, 2009). Mesmo em condições naturais, plantas que possuem como habitat locais

úmidos, como essas palmeiras, todavia, estão sujeitas a déficit de água em anos mais secos.

Calbo e Moraes (2000) relatam que o déficit hídrico provocou diminuição nas atividades fisiológicas do açazeiro. Oliveira et al. (2017) constataram que plantas de juçara com idade de quatro anos são mais tolerantes a ciclos de déficit hídrico recorrentes do que plantas com idade de dois anos. Contudo, ainda existem poucos relatos publicados sobre o requerimento de água e o uso eficiente da água por essas culturas.

O estresse hídrico pode surgir como resultado de duas condições, tanto devido ao excesso quanto ao déficit de água no solo (Jaleel et al., 2007). O déficit hídrico ocorre quando a disponibilidade de água no solo está reduzida e as condições atmosféricas causam contínuas perdas pela transpiração ou por evaporação. O excesso de água, de inundação, torna os solos hipóxicos, reduzindo assim a aeração e o fornecimento de oxigênio para as raízes (Fageria et al., 2010, Jaleel et al., 2009).

Os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento e a alocação dos nutrientes podem ser amplamente explicados pelos processos fisiológicos. Devido ao baixo potencial hídrico do solo, a redução na taxa fotossintética é relacionada à diminuição pronunciada na condutância estomática provocada pela alta transpiração das plantas (Lambers, 2008).

O trabalho teve por objetivo avaliar o padrão de crescimento, desenvolvimento e o comportamento fisiológico de mudas das espécies nativas de açaí e juçara, conduzidas sob diferentes níveis de disponibilidade de água no substrato, na fase de produção de mudas, em condições de casa de vegetação, no Norte do estado do Rio de Janeiro. Os objetivos específicos foram: (i) avaliar os aspectos fisiológicos das plantas cultivadas sob estresse hídrico; (ii) quantificar o crescimento radicular e da parte aérea; e (iii) avaliar os efeitos da deficiência hídrica sobre a nutrição das plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância econômica do açaí e juçara

Por toda Região Amazônica bem como pelas áreas de florestas da Mata Atlântica encontram-se espécies do gênero *Euterpe*. Na primeira área de floresta é comum se deparar com as espécies *Euterpe oleracea* (açaizeiro) e *Euterpe precatoria* (açaizeiro do Amazonas), enquanto na segunda área ocorre a *Euterpe edulis* (juçara). Essas palmeiras podem ser utilizadas para a extração de palmito bem como para o processamento da polpa de seus frutos.

De acordo com Oliveira e Muller (1998), o açaizeiro tem várias utilizações, tais como alimentação, produção de celulose, fabricação de casas, ração animal, arborização, medicina caseira e corante natural. Porém, seu potencial econômico está nos frutos e no palmito.

O mercado de açaí está se expandindo tanto no mercado interno quanto no externo, com a demanda bem superior à oferta, abrindo assim, o leque de possibilidades de investimento do plantio empresarial em terra firme. Segundo o IBGE (2015), dentre os produtos que se destacaram, pelo valor de produção, no ano de 2015, está o açaí, com R\$ 480,6 milhões na área dos produtos alimentícios, sendo que a produção nacional de açaí extrativista foi de 216.071 toneladas, representando um acréscimo de 9% em relação ao ano de 2014.

O destaque de produção nacional de frutos de açaí e palmito é o estado do Pará, que predomina participando com 58,3%, seguido do estado do Amazonas,

com 30,5%, e os demais estados produtores, com 11,2% da produção (IBGE, 2015). Atualmente, 60% da produção destinam-se ao consumo interno dos estados produtores, 30% destinam-se aos estados como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais e 10% são direcionados ao mercado externo (Conab, 2016).

A comercialização da polpa de açaí pode ser da forma *in natura* ou na forma de sorvetes e picolés no mercado local, e congelada em embalagens de diferentes tamanhos para os estados do Sudeste e Nordeste do país. Ou ainda, processadas industrialmente na forma de bebidas engarrafadas, bebidas isotônicas, sucos concentrados, polpas liofilizadas e na produção de óleos para fins farmacêuticos (Oliveira, 2000; Pacheco-Palencia et al., 2007).

A polpa dos frutos desta palmeira tem sido objeto de vários estudos devido ao seu valor nutritivo e sensorial, e por ser “novidade” e ter sabor exótico, sendo inclusive considerada alimento nutracêutico face ao seu rico conteúdo de antocianinas, flavonoides, compostos fenólicos e lignoides, os quais trazem benefícios à saúde. Por isso, o seu consumo tem crescido consideravelmente no mercado internacional (Pacheco-Palencia et al., 2007; Menezes et al., 2008).

Menezes et al. (2008) estudaram o valor nutricional da polpa de açaí liofilizada, e observaram que a polpa na forma de pó é altamente calórica, contendo em torno de 490 kcal 100g⁻¹ de polpa liofilizada, principalmente pelo alto conteúdo de lipídeos (40,7%), e pelo perfil de minerais, em que o potássio e o cálcio foram os minerais mais abundantes, sendo assim recomendada a ingestão dessa forma de polpa, especialmente por crianças e idosos.

No estudo de Rufino et al. (2010), em que avaliaram os compostos bioativos e a capacidade antioxidante de 13 frutas tropicais do Brasil, os autores constataram que os frutos do açaizeiro e da palmeira juçara exibem uma coloração preto-púrpura devido ao seu alto teor de antocianinas, com valores que variam de 110 a 190 mg 100g⁻¹ de polpa, flavonoides entre 91 e 375 mg 100g⁻¹ e clorofila entre 20,8 e 21,5 mg 100g⁻¹. Além disso, os autores classificaram os frutos do açaizeiro como intermediários no teor de polifenóis com base na sua matéria fresca e seca, de acordo com os métodos de análise utilizados.

Pozo-Insfran et al. (2004) concluíram que a concentração de antocianinas foi o fator predominante a contribuir para a capacidade antioxidante do açaí, sendo

seus teores superiores aos encontrados nos frutos de uva muscadina, mirtilo, morango, framboesa e amora.

Segundo Bacellar et al. (2006), a parte comestível do açaí corresponde a 17% dos frutos, sendo o restante composto pela semente. A composição química em 100 g de polpa tem 59,7% de umidade, 2,5% de protídeos, 7% de lipídeos, 25,5% de glicídios, 1,2% de cinza, 0,2% de cálcio e 0,1% de fósforo, o valor energético em torno de 80 kcal. Sendo assim, o consumo diário de um litro da polpa de açaí, com 12,5% de matéria seca propicia, em média, 65,8 g de lipídeos, 31,5 g de fibras alimentares totais e 12,6 g de proteínas, que correspondem à ingestão diária requerida pelo organismo humano de 66%, 90% e 25 a 30%, respectivamente (Rogez, 2000).

O produto comercial da palmeira juçara encontra-se na parte superior do seu tronco, o qual é chamado de palmito que é uma iguaria muito apreciada em todo o Brasil. A produção de palmito é totalmente absorvida pelo mercado interno (Bovi et al., 1987; Guerra et al., 1984; Reis et al., 2000a). O ciclo para a colheita do palmito é curto em relação à espécie para a obtenção de madeira, apesar de ser um produto não madeireiro, sendo que a extração do palmito elimina os indivíduos da população da espécie e a exploração insustentável em áreas nativas resultou em uma erosão genética substancial da juçara, levando-a ao risco de extinção (Reis et al., 2000a; Brasil, 2008). O mesmo não acontece com a exploração de seus frutos para a extração da polpa.

A produção de frutos de juçara é abundante e o período de produção é amplo (maio a novembro). Atualmente, maior atenção tem sido dada à produção de polpa dessa espécie, bastante similar à dos frutos do açazeiro. Portanto, a exploração de seus frutos contribui para a valorização da floresta em pé (Paludo et al., 2012).

O desenvolvimento de agroflorestas da Mata Atlântica, tendo a palmeira juçara como espécie-chave, pode alavancar a produção de frutos, potencializando, assim, o acesso a mercados e geração de renda, além de promover a recuperação e conservação das florestas em corredores, fragmentos, nascente de rios e maior abundância para a fauna polinizadora e dispersora desta espécie (Costa et al., 2006).

O estado do Espírito Santo vem buscando ampliar o uso dos frutos de juçara por meio da implantação do Plano de Exploração Sustentável Simplificado para exploração e extração dos frutos dessa palmeira, dado pela Instrução Normativa nº 03/2013 (SEAG, 2013) e por ações de pesquisa e extensão rural (Guimarães e Souza, 2017).

A produção da polpa artesanal de juçara tem apresentado rendimento em volume e concentração de polpa, e em propriedades antioxidantes semelhantes ou até superiores ao açaí. Outro fator relevante é que os frutos, depois de despolidos, fornecem não somente a polpa para ser consumida como alimento, mas também uma grande quantidade de sementes viáveis, que podem ser utilizadas para incremento da população dessa espécie, assim como, ser outra fonte de renda para os produtores que a exploram (Costa et al., 2008)

De acordo com Sari et al. (2016), a caracterização físico-química em 2 g de amostra de polpa de juçara evidenciou umidade em torno de 95,5% e teores, em base seca, de 0,15% de resíduo mineral, 0,21% de proteínas, 1,1% de fibra bruta, 1,07% de lipídeos e 1,63% de carboidratos.

2.2. Gênero *Euterpe*

O gênero *Euterpe* possui basicamente 28 espécies distribuídas na América Central e do Sul, ocorre em florestas pluviais tropicais, frequentemente ao longo dos rios (Alves, 1994). Segundo o sistema de Cronquist (1981), o açaizeiro e a juçara, são plantas monocotiledôneas que pertencem à ordem Arecales, são da família das Areaceae, e do gênero *Euterpe*. Existem três espécies desse gênero de frequente ocorrência nas áreas distribuídas ao longo dos biomas brasileiros, as quais são a *E. oleracea* (açaizeiro), a *E. precatoria* (açaizeiro do Amazonas) e a *E. edulis* (juçara).

O açaizeiro e o açaizeiro do Amazonas são encontrados nas margens de rios e lagos da bacia amazônica e em áreas de terra firme, enquanto a juçara encontra-se distribuída no estrato médio da floresta da Mata Atlântica (Rezende et al., 2015).

As espécies mais importantes, do ponto de vista agroindustrial são o açaizeiro e a juçara e, secundariamente, o açaizeiro do Amazonas. A palmeira juçara, durante muitos anos, foi cultivada, principalmente, para produção de palmito,

contudo, recentemente, o seu cultivo tem sido voltado para a produção de frutos. O açazeiro tem uma multiplicidade de usos, destacando-se no setor agroindustrial principalmente como fonte de extração de palmito e pela utilização de seus frutos para a produção da polpa. O açazeiro do Amazonas é uma espécie que produz frutos com o mesmo uso do açaí do açazeiro e palmito de boa qualidade (Villachica et al., 1996).

Para Oliveira et al. (2000), a região do estuário amazônico é considerada o centro de origem, assim como o centro de diversidade genética do açazeiro, com variações entre e dentro das populações dessa espécie. Esta espécie está mais concentrada na região da Amazônia Oriental, nas proximidades do Rio Amazonas, devido aos terrenos destas áreas terem fluxo e refluxo das marés, sendo submetidos a periódicas inundações.

O açazeiro é uma frutífera distribuída nas regiões tropicais do Brasil, e apresenta concentração de espécies nas regiões dos estados do Amapá, Maranhão, Pará, Amazonas e Mato Grosso. Ocorrendo também em áreas além das fronteiras do Brasil como na Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela e Colômbia (Cavalcanti, 2010). É popularmente conhecida como “açaí-do-Pará”, “açaí verdadeiro”, “açaí de touceira”, “juçara” ou “juçara de touceira”, estas últimas denominações devidas às semelhanças com o palmito do sul (juçara), sendo encontrada principalmente na área oriental da floresta amazônica (Oliveira et al., 2000).

O açazeiro do Amazonas é nativo do estado do Amazonas e originário especialmente da área ocidental desse estado, ao longo do Rio Amazonas. A juçara, por outro lado, é uma palmeira nativa da Região Centro-Sul do Brasil, sendo encontrada nas encostas atlânticas desde o Sul da Bahia, seguindo pelos estados de Mato Grosso e Goiás, sendo também encontrada em Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esta espécie encontra-se distribuída também desde o extremo sul ao leste do Paraguai e ao norte da Argentina (Calzavara, 1972; Reis et al., 2000a).

A diferença entre as espécies açazeiro, açazeiro do Amazonas e juçara está na fase de desenvolvimento de perfilhos (Calzavara, 1972). Existem espécies de *Euterpe* com incapacidade de emitir perfilhos, ou seja, têm caule solitário como é

o caso do açazeiro do Amazonas e da juçara, e o corte dessas palmeiras implica na morte das plantas.

2.2.1. Caracterização botânica do açazeiro

O açazeiro é uma palmeira cespitosa, ou seja, é uma planta de crescimento em touceiras. O caule ou estipe é liso, delgado, ocasionalmente encurvado, atingindo uma altura de 25-30 metros e diâmetro em torno de 7 a 18 centímetros, sustentando no ápice, um capitel de 12-14 folhas pinadas. A inflorescência do tipo espádice desenvolve-se abaixo da bainha foliar, protegida dos raios solares (Cavalcanti, 2010).

As folhas, além de serem pinadas, são compostas por 40 a 80 pares de folíolos opostos ou subopostos. Estes folíolos são pendentes nos indivíduos adultos e ligeiramente horizontais nos indivíduos jovens, com base obtusa e extremidade apical pontiaguda, tendo comprimento em torno de 20 a 50 centímetros e largura de dois a três centímetros. O comprimento da bainha foliar geralmente está em torno de um metro, todavia pode variar de 0,6 a 1,5 metros (Oliveira et al., 2000). As folhas têm comprimento de 278,8 centímetros em plantas adultas (Nogueira, 1997).

A inflorescência de ramificações simples é protegida por duas brácteas: uma é do tipo espata e a outra é uma espatela. A espata é de consistência cartáceo-coriácea, estriada longitudinalmente e envolve totalmente a inflorescência. A espatela, de comprimento menor, cai após a espata ou junto com esta, expondo a inflorescência propriamente dita, a qual é constituída por ráquilas. As plantas de açazeiro são monoicas, e nos primeiros dois terços de cada ráquila, as flores são arranjadas em tríades, com as flores femininas ocupando posição central entre duas flores masculinas (Cavalcante, 2010).

A inflorescência é composta por 80,5% de flores masculinas e 19,5% de flores femininas. As flores masculinas fornecem o pólen antes das flores femininas estarem receptivas; o que torna essa espécie predominantemente alógama. O amadurecimento completo dos frutos de açaí é aos 175 dias, com a coloração violácea e diâmetro em torno de 13,5 milímetros (Yamaguchi et al., 2015).

O fruto do açazeiro é uma drupa globosa, arredondada, de 1 a 1,5 centímetros de diâmetro, pesando em média 1,5 gramas. O epicarpo é indistinto e o

mesocarpo tem um milímetro de espessura, de cor violácea quando maduro. O número de cachos por pé varia de um a oito, sendo mais comum de três a quatro cachos em estádios de desenvolvimento diferenciados na mesma planta (Cavalcante, 2010).

O sistema radicular do açazeiro é do tipo fasciculado, com raízes emergindo dos estipes de plantas adultas a uma altura de 30 a 40 centímetros acima do solo. É provido de lenticelas e aerênquimas e prolongam-se de três a três e meio metros da base do estipe em indivíduos com idade de três anos, podendo, em plantas com mais idade, atingir de cinco a seis metros de profundidade (Oliveira et al., 2000).

A propagação do açazeiro pode ser sexuada, assim como assexuada por meio da emissão de perfilhos ao longo da base das plantas. Para estabelecimento de plantios iniciais, a propagação de mudas de açai por sementes é a mais recomendada quando comparada com a propagação por perfilhamento, pois apresenta maior número de indivíduos e menor custo de produção (Oliveira et al., 2000).

Esse sistema de multiplicação por perfilhamento, do ponto de vista de produção de frutos e de palmito é mais importante do que a regeneração de pomares por plantios oriundos de sementes, pois tem maior eficiência e rapidez para plantios já estabelecidos (Nogueira, 1997).

Segundo Calzavara (1972), as variedades de açazeiro existentes são baseadas na diferenciação da coloração dos frutos quando maduros. Existem duas variedades, o açazeiro roxo e o açazeiro branco. O açazeiro roxo produz o suco de cor arroxeada “cor de vinho” devido à alta concentração de antocianinas na polpa dos frutos, enquanto que o açazeiro branco tem coloração da polpa verde-escuro brilhante, quando maduro, produzindo o suco cor de creme claro.

2.2.1.1. Ecofisiologia do açazeiro

O açazeiro é uma espécie de clima tropical úmido, mesófila, de porte esguio, e desenvolve-se bem em regiões cujo pH do solo varia entre 4,5 a 6,5, normalmente solos pobres em cálcio, como os solos de terra firme e especialmente as áreas de várzeas, principalmente as várzeas altas. Tem características de cultura permanente, sendo indicada para cultivo em regiões tropicais com índice

pluviométrico alto e elevadas temperaturas, o que possibilita ao solo uma proteção permanente (Calzavara, 1972).

A espécie é encontrada nas condições climáticas, segundo a classificação de Köppen, dos tipos Afi, Ami e AwI. Estes tipos climáticos são caracterizados como áreas de climas quentes e úmidos, com pequenas variações térmicas (temperaturas médias em torno de 26°C) e umidade relativa do ar variando entre 71 e 91%. A precipitação pluviométrica é caracterizada por dois períodos distintos de chuvas, um de dezembro a maio, com índices mensais superiores a 150 mm, onde se concentram cerca de 80% do total anual de precipitação, e outro, de junho a novembro, com índice variando de 49 mm a 105 mm por mês, sendo a precipitação pluviométrica anual das regiões onde se encontra essa palmeira, em média, de 2.096 mm (Oliveira et al., 2000).

Os açazeiros das áreas de várzeas ficam com as raízes alagadas pelas marés altas durante três horas do ciclo hídrico e permanecem inundadas por um lençol freático durante os intervalos das inundações, principalmente durante o período chuvoso da região Amazônica. Em contrapartida, no período da estiagem das chuvas, as marés altas não invadem as várzeas, e o lençol freático desce mais de um metro sob a superfície do solo (Carvalho et al., 1998)

O açazeiro pode ser encontrado também em solos de terra firme, profundos, bem drenados, com bom teor de matéria orgânica e umidade de solo (Calzavara, 1972). No estado do Pará, a maioria dos plantios comerciais é realizada em solos de terra firme, onde há predominância de Latossolos Amarelos de baixa fertilidade natural, devido ao tipo de argila ser 1:1 (Sousa e Jardim, 2007).

Segundo dados da Conab (2016), 90% da produção de frutos de açaí são oriundos exclusivamente do extrativismo das áreas de várzeas e de manejo em sistemas agroflorestais (SAF's), sendo que as áreas de manejo consorciadas proporcionam a melhor produtividade. Os 10% restantes são originados de plantios em terra firme, ainda em expansão com uso de sistema de irrigação.

A produtividade do açazeiro em áreas de terra firme é melhor em climas similares ao da região de origem. Em outras regiões, onde esta espécie foi introduzida buscando exclusivamente a produção de palmito, como no Vale do Ribeira, no estado de São Paulo, o açazeiro teve um comportamento satisfatório, pois esta região possui uma temperatura média anual de 20,8°C, precipitação

pluviométrica de 2.748 mm, umidade relativa de 88% de acordo com as necessidades da cultura (Villachica et al., 1996).

2.2.2. Caracterização botânica da palmeira juçara.

A palmeira juçara é uma espécie monoica, perenifólia, ombrófila, mesófila ou levemente higrófila, possui estipe simples, reto, e não estolonífero, isto é, não perfilha na base, o que promove a morte da planta após o corte do palmito (Tsukamoto Filho et al., 2001). Pode chegar, quando adulta, a até 20 m de altura e a 30 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). O término do tronco e a inserção onde nascem as folhas, na sua base, formam o palmito (Martins-Corder e Saldanha, 2006). Esta palmeira ocorre, principalmente, no estrato médio da floresta de Mata Atlântica com altitude em relação ao nível do mar de 750 m.

As folhas são alternas, pinadas, medindo até três metros de comprimento, com pecíolo muito curto. As pinas são longas e estreitas; as bainhas são bem desenvolvidas, formando um coroamento verde muito característico no ápice do caule. As flores são unissexuais, sendo as masculinas em maior número, de coloração amareladas, numerosas, com 3 a 6 mm de comprimento, distribuídas em grupo de três, uma feminina entre duas masculinas. Esta espécie, em geral, é alógama, pois as inflorescências dioicas têm protrandia acentuada (Mantovani e Morellato, 2000).

A inflorescência é uma espádice de 50 a 70 cm de comprimento, composta de várias ráquias, inseridas abaixo das folhas. Na antese, a inflorescência está envolta por uma grande bráctea que a protege até o seu desenvolvimento (Guerra et al., 1984). Os frutos são drupas esféricas compostas por um epicarpo pouco espesso, de coloração verde quando imaturos, passando gradativamente para o roxo ou violáceo, preto ou negro, quando maduros. As sementes desta espécie possuem endosperma muito abundante e não ruminado (Mac Fadden, 2005).

A frutificação da juçara é geralmente abundante, podendo produzir de 6 a 8 kg de frutos por ano, cerca de 8.000 a 10.000 sementes anuais. Sua dispersão é feita por vários mamíferos e pássaros. Esta espécie ocorre desde o sul da Bahia e Espírito Santo até o Rio Grande do Sul, na zona da mata fluvial da encosta atlântica (Fantini e Guries, 2007). A floração ocorre de setembro a dezembro, no Paraná, em

Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, e de setembro a janeiro nos demais estados (Guerra et al., 1984).

2.2.2.1. Ecofisiologia da palmeira juçara

A juçara é uma palmeira tolerante à sombra e de crescimento lento, tornando-a amplamente inadequada para plantações em monocultivo (Fantini e Guries, 2007). Segundo Carvalho (1993), a temperatura média anual das áreas de ocorrência de juçara varia entre 17 a 26°C, sendo a média do mês mais frio entre 13 e 24°C, e a temperatura média do mês mais quente em torno de 20 a 27°C.

De acordo com Carvalho (1993), a espécie ocorre em regiões com precipitação média anual entre 1.000 mm a 2.200 mm, tendo melhor crescimento com índices pluviométricos superiores a 1.500 mm, distribuídos de maneira uniforme. A espécie ocorre também em regiões de florestas estacionais, tolerando uma estação seca de até três meses.

Geralmente a juçara não é exigente quanto ao tipo de solo, com crescimento satisfatório em solos ácidos e ricos em matéria orgânica (Aguiar et al., 2002). Segundo Alves (1994), a espécie ocorre preferencialmente em áreas de poças e cursos d'água, entretanto não consegue viver em locais completamente cobertos pela água.

A juçara é considerada uma das espécies-chave ("*keystone specie*") para o funcionamento do ecossistema em que vegeta, pois os seus frutos, suas sementes e até mesmo o próprio palmito são importantes para a dinâmica florestal, para a sobrevivência da fauna e dispersão das sementes (Bovi, 1998; Cembraneli et al., 2009).

Esta espécie produz palmito de excelente qualidade, com elevado valor econômico, no entanto, como é uma palmeira que não rebrota na base, ao se coletar o palmito, isto implica na morte da planta (Martins-Corder e Saldanha, 2006). De acordo com Guerra et al. (1984), o mais dramático da exploração do palmito é a eliminação da planta como indivíduo, acompanhada da eliminação quase que completa da espécie nas áreas abertas à extração.

As populações foram reduzidas devido à exploração indiscriminada dessa palmeira, sendo atualmente encontrada em áreas protegidas da Mata Atlântica,

particularmente em locais de difícil acesso. Essas ações extrativistas têm inviabilizado a regeneração natural da juçara para recompor a população original (Fantini et al., 1997; Reis et al., 2000b; Martins-Corder e Saldanha, 2006). Embora o sistema de manejo sustentado tenha sido proposto para esta espécie, as opções pelos lucros imediatos prevalecem em regiões exploratórias, onde a juçara tem sido alvo de colheita intensiva e predatória (Reis et al., 2000a; Reis et al., 1992; Ribeiro et al., 1994)

Quando se pretende a exploração comercial tanto do palmito quanto dos frutos de juçara, várias formas de cultivo são possíveis, no entanto, é necessário ter o plano de manejo sustentável, por meio de projetos e acompanhamento técnico de acordo com o órgão ambiental competente para cada região que possui a espécie em seu bioma (Aguiar et al., 2002).

2.3. Composição mineral em palmeiras

A nutrição mineral é um dos aspectos mais importantes para a cultura das palmeiras. Esta cultura é altamente suscetível a inúmeras deficiências nutricionais, sendo que as deficiências de micronutrientes são frequentemente fatais, enquanto que a deficiência de macronutrientes não resulta na morte das plantas (Broschat e Meerow, 2000).

O conhecimento da concentração de nutrientes existentes nos diferentes compartimentos das plantas é de fundamental importância para a manutenção a médio e a longo prazo da produtividade dos plantios agrônômicos. Neves (1999) observou que as variações existentes nas concentrações de nutrientes nas plantas ocorreram em função do elemento, do tecido da planta, do tipo de solo, da vegetação e da família das espécies monitoradas em estudos conduzidos na Amazônia.

De acordo com Broschat e Meerow (2000), a chegada dos nutrientes à superfície radicular apenas garante a sua disponibilidade para as plantas, todavia sua absorção vai depender do contato deles com as membranas das células das raízes e da espécie iônica presente na rizosfera. Assim, os elementos minerais essenciais à planta devem estar na forma iônica solúvel em água para serem absorvidos pelas raízes.

O mecanismo de movimento do nutriente no solo para a planta depende da espécie iônica envolvida, do genótipo da planta, da densidade de raízes e do fluxo de água na planta. De modo geral, o fluxo de massa é o maior contribuinte para o suprimento de cálcio, magnésio, nitrogênio e enxofre, enquanto que a difusão é mais importante para o potássio, fósforo e micronutrientes (Marschner, 1995).

Assim, a disponibilidade de água é um dos principais fatores que determinam a produção de culturas. A distribuição da vegetação em regiões é mais controlada pela disponibilidade hídrica do que por outros fatores isolados. A água é requerida pelas plantas para a translocação de nutrientes minerais, para a produção de carboidratos e para a manutenção da hidratação dos protoplasmas. A produtividade das culturas pode ser afetada tanto por níveis baixos como por níveis altos de umidade no solo (Fageria et al., 2010).

Estudos realizados em palmeiras como o dendezeiro (Rodrigues, 1993; Carvalho et al., 2006), coqueiro (Teixeira e Silva, 2003), pupunheira (Bovi et al., 2002; Leandro et al., 2004; Leandro et al., 2014), macaúba (Santos, 2015) e palmeira-real-australiana (Soprano et al., 2016), têm evidenciado os benefícios da adubação sobre o crescimento e desempenho produtivo dessas plantas.

Em culturas perenes uma ferramenta muito importante para a diagnose do estado nutricional das plantas e da fertilidade do solo é a análise foliar. As folhas são os órgãos mais sensíveis quanto às alterações nutricionais, pois é nelas que ocorrem as principais alterações fisiológicas e metabólicas decorrentes da restrição nutricional, e, por isso, são mais utilizadas no diagnóstico de deficiências minerais (Martinez et al., 2004; Ramalho Filho et al., 2010). Todavia, os teores críticos de minerais nas folhas não foram estabelecidos para a maioria das culturas, sendo utilizados valores genéricos encontrados na literatura como referência para a avaliação do estado nutricional das plantas.

A análise foliar como técnica de diagnose permite identificar deficiências nutricionais, tomando como base os teores de nutrientes nas folhas. Assim como a análise química do solo precisa de valores prévios que indiquem boa fertilidade do solo, é também necessário o estabelecimento prévio de faixa de teores de nutrientes que indiquem se o estado nutricional da planta é deficiente ou satisfatório (Reis, 2011).

Silva e Falcão (2002), avaliando sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva, encontraram teores de nutrientes nas folhas no tratamento completo e deficiente dos nutrientes testados, respectivamente, para o N de 30,7 e 10,1 g kg⁻¹; P de 3,4 e 1,0 g kg⁻¹; K de 27,8 e 4,7 g kg⁻¹; Ca de 12,7 e 2,6 g kg⁻¹; Mg de 3,5 e 0,9 g kg⁻¹; Fe de 175 e 191 mg g⁻¹; e Zn de 33 e 41 mg g⁻¹.

Teixeira e Silva (2003), estudando a nutrição mineral de populações e híbridos de coqueiros, analisaram o estado nutricional das plantas por meio da análise do tecido vegetal das folhas com idades diferentes (folhas quatro e nove). As amostras da folha quatro foram mais eficientes para discriminar as populações e híbridos de coqueiro quanto ao seu estado nutricional, quando comparadas com as da folha nove. Aparentemente, todas as populações e híbridos observados estavam adequadamente nutridos com fósforo, cálcio, boro, ferro e manganês.

Valicheski et al. (2011), trabalhando com o coqueiro anão verde em duas classes de solo (Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico) submetidos a diferentes níveis de compactação e umidade e avaliando os teores foliares da segunda folha funcional, verificaram que os solos atuaram de forma diferenciada no suprimento de nutrientes, sendo encontrados teores foliares de magnésio e cobre mais elevados nas plantas cultivadas no Cambissolo e de potássio e cálcio nas cultivadas em Argissolo. O incremento da umidade do solo aumentou a disponibilidade de nitrogênio no Argissolo, assim as plantas cultivadas nas maiores umidades tiveram os maiores teores de nitrogênio.

Diante das necessidades de se implantar o cultivo racional da cultura do açaizeiro, as primeiras pesquisas realizadas sobre sua nutrição evidenciaram que os macronutrientes interferem na produção de massa seca total em plantas jovens na seguinte ordem: K>Mg>P>N>Ca>S (Oliveira et al., 2002).

Viégas et al. (2004) estudaram as limitações nutricionais sobre o cultivo de açaizeiro em Latossolo Amarelo de textura média, no estado do Pará, e concluíram que os macronutrientes mais limitantes para o crescimento dessa palmeira foram o N, P, K e Mg, e, dentre os micronutrientes, o Mn.

Chu (1999), estudando os efeitos da inoculação de sete espécies de fungos micorrízicos arbusculares em mudas de açaí, avaliou o crescimento e a nutrição mineral das plantas nove meses depois a inoculação. O autor relatou que o fungo

Scutellispora gilmorei foi a espécie mais efetiva em promover o crescimento e a absorção de nutrientes das plantas, e o incremento proporcionado por este fungo foi de 92% na altura da planta, 116% no diâmetro do caule, 361% na produção de matéria seca, 119% em N, 664% em P, 46% em K, 562% em Ca, 363% em Mg e 350% em Zn absorvidos, quando comparados com o controle e sem inoculação.

Moreira et al. (2016), avaliando o crescimento inicial e a absorção de nutrientes em palmeira juçara com seis meses de idade, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares coletadas em três ambientes (mata, juçara e cultivo agrícola), analisaram a absorção dos macronutrientes nos tecidos dos vegetais e o crescimento das mudas, e observaram que a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares melhorou o crescimento inicial das mudas, independentemente do material de origem, e, ainda, proporcionou maior acúmulo de todos os macronutrientes avaliados na parte aérea e no sistema radicular.

2.4. Disponibilidade de água no solo

O solo é um reservatório não somente de água, mas também de nutrientes e de oxigênio, sendo ainda ambiente de proliferação de microrganismos, os quais entram em contato com as plantas e com o meio onde vivem. Variações na umidade devem ser reguladas e mantidas em limites que favoreçam a absorção de água e nutrientes pelas plantas, bem como a aeração e a atividade microbiana, que é indispensável à decomposição da matéria orgânica e à estruturação do solo (Marouelli et al., 2011).

Para a agricultura irrigada, o monitoramento de água no solo consiste em uma ferramenta essencial para o uso eficiente deste recurso, principalmente quando se trata em fornecer água para as culturas, minimizar perdas de água e nutrientes por lixiviação no solo, e garantir a sustentabilidade do conteúdo de água nas atividades agrícolas (Souza et al., 2013).

A água é uma substância essencial para os ambientes ecossistêmicos, é solvente universal por ter propriedades únicas como viscosidade, constante dielétrica, calor específico, calor latente de vaporização, forças de adesão e coesão e elevada tensão superficial, o que possibilita a formação de franja capilar com o solo (Paz et al., 2000).

A quantidade de água no solo é expressa de acordo com sua umidade e é referida por unidade de massa e/ou volume de água por unidade de massa e/ou volume de solo seco. Os valores específicos do conteúdo de água que permitem a caracterização físico-hídrica do solo são a umidade de saturação e a umidade na capacidade de campo (Coelho Filho et al., 2011).

A capacidade de água disponível (CAD) no solo é a quantidade de água entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). A avaliação da capacidade de campo é realizada por meio de sucção (tensão) de 0,03 a 0,05 MPa para solos argilosos e de 0,006 a 0,01 MPa para solos arenosos. A avaliação do ponto de murcha permanente é realizada da mesma forma, no entanto, nos intervalos de 0,5 a 1,5 MPa (Gomes e Filizola, 2006).

A dinâmica da água no solo é controlada por fatores como a sua textura, estrutura, porosidade e matéria orgânica que determinam a retenção no perfil por adsorção e capilaridade e, também, por fatores externos como a precipitação pluviométrica, temperatura, evapotranspiração da cultura e o sistema de manejo adotado. Estes fatores podem atuar de forma diferenciada no período de secagem do solo e proporcionar indicadores com capacidade de auxiliar no planejamento e na condução de cultivos agrícolas (Martorano et al., 2009).

Informações sobre o conteúdo de água no solo disponível próximo à área do sistema radicular e em relação à energia com que esta água está retida no solo têm sido utilizadas na definição de quando irrigar. Indicadores do solo possibilitam determinar o momento e a quantidade de água a ser aplicada na irrigação (Coelho Filho et al., 2011).

Estes indicadores podem ser o teor de água, a tensão de água no solo e/ou a junção de ambos, utilizando a curva de retenção de água. A tensão de água no solo é um relevante indicador de água no solo para as plantas, podendo sua medida ser utilizada para avaliar indiretamente a deficiência hídrica das plantas, uma vez que as taxas de transpiração podem ser controladas, dentro de certos limites, pelo próprio solo (Marouelli et al., 2011).

2.5. Manejo de água na produção de palmeiras

A agricultura é a maior usuária de água da produção agrícola, sendo que a agricultura irrigada ocupava em torno de 18% de área cultivada, o equivalente a 275 milhões de hectares da área total cultivada no planeta (1,5 bilhões de hectares), consumindo cerca de 70% do total de água de qualidade, enquanto que o setor industrial consome 21% e o consumo doméstico 9% (Santos, 1998).

De acordo com especialistas, a crise da água no século XXI está mais relacionada ao manejo deste recurso do que realmente à crise de escassez ou estresse hídrico (Tundisi, 2008). Para Somlyódy e Varis (2006), o que mantém o agravamento e complexidade da crise da água são os problemas reais de disponibilidade e o aumento da demanda hídrica, e, além disso, a questão da gestão desse recurso.

Os problemas podem ser agravados pelos indicativos de mudanças no ciclo hidrológico que, apesar de não apontarem claramente para a escassez, demonstram grande variabilidade de distribuição da precipitação. As concentrações de chuvas intensas de curta duração e os longos períodos de estiagem resultam em prejuízos para a atividade rural e conflitos setoriais pelo uso da água (Campos et al., 2006; Conceição et al., 2013)

Dentre os fatores do ambiente que interferem no crescimento vegetal e na produtividade agrícola, a disponibilidade hídrica é a mais importante na maioria das regiões, visto que define a aptidão das regiões com relação às culturas. A deficiência ou o excesso hídrico devem ser considerados no manejo agrícola, uma vez que exige a interferência humana para corrigir ou amenizar ambos (Coelho Filho et al., 2011).

Segundo Broschat e Meerow (2000), a água é essencial ao crescimento e desenvolvimento normal das plantas e as palmeiras não são exceção. Infelizmente, existem poucos estudos publicados sobre a exigência de água das palmeiras, sabe-se que existem algumas palmeiras tolerantes à seca, particularmente quando já estabelecidas em campo, como a *Phoenix canariensis*. Esses autores realizaram experimentos com *Chamaedorea elegans*, e descobriram que esta espécie de palmeira, quando cultivada em turfa de pinho bem drenada, em casa de vegetação a 36°C e sem irrigação, não mostrou sinais de murchamento ou dessecação foliar até seis semanas, e mesmo depois de todas as folhas maduras murcharem, 80% dessas plantas sobreviveram e continuaram seu crescimento normal após a

irrigação. Entretanto, outras palmeiras, como algumas de *Genoma* spp., desenvolvem rapidamente necrose nas folhas e morrem em resposta ao déficit hídrico de curta duração.

O excesso de água pode causar alguns problemas em palmeiras, sendo que o efeito imediato é a falta de oxigênio na zona radicular. Algumas espécies de várzeas ou ribeirinhas, como *Mauritia* spp., e algumas *Bactris* spp., crescem bem em áreas inundáveis por até meio do ano. Em contraste, algumas espécies adaptadas à seca, como a *Phoenix canariensis*, são extremamente intolerantes a solos temporariamente inundados (Broschat e Meerow, 2000).

A quantidade e a qualidade de água estão estreitamente relacionadas às ações para o incremento da eficiência do seu uso. Para as palmeiras, a qualidade é mais importante do que a quantidade de água aplicada. As melhores práticas de irrigação são aquelas que buscam o uso mais eficiente da água, com base no uso consuntivo das culturas com irrigação programada, evitando a salinização e a erosão dos solos (Paz et al., 2000). Além disso, é necessário que estas práticas de irrigação sejam acessíveis tecnológica e economicamente ao produtor.

A preocupação com o uso eficiente da água na agricultura irrigada cresce proporcionalmente com o aumento da escassez de água de boa qualidade, agravando a competição entre os diversos setores que dela dependem. Embora, a agricultura irrigada seja associada a um elevado nível tecnológico, é consenso que no Brasil ainda seja praticada de forma inadequada e com grande desperdício de água (Marouelli et al., 2011).

Segundo Rosegrant et al. (2002), para aumentar o uso eficiente da água, os agricultores, além de usar sistemas de irrigação mais eficientes, necessitam investir em novas tecnologias poupadoras de água, como aquelas relacionadas ao manejo racional de água, à redução das perdas de água por evaporação e à irrigação com déficit hídrico controlado.

O uso eficiente da água de irrigação é tomado como razão entre a quantidade de água efetivamente consumida pela cultura e a quantidade de água aplicada na fonte. E o uso eficiente da água pode ser alcançado por meio de estruturas de irrigação já existentes, em termos de sistema de cultivo, no manejo de sistemas de irrigação, gestão da água e técnicas que permitam o uso eficiente da água pelas culturas (Coelho et al., 2005).

Existe a necessidade de reduzir o consumo de água, principalmente pela agricultura, por meio da utilização de tecnologias apropriadas, da eliminação dos desperdícios e da introdução do reuso e ciclagem das águas. A simples melhora de 1% na eficiência do uso da água de irrigação, nos países em desenvolvimento, significaria uma economia anual de 200 mil litros de água por agricultor por hectare. A irrigação utilizada de forma racional pode promover uma economia de, aproximadamente, 20% da água e 30% da energia consumida (Christofidis, 2002).

A decisão do momento de irrigar é simplificada de acordo com a estratégia de manejo adotada, tomando como base a avaliação da deficiência de água no solo ou conjuntamente com base em indicadores referentes à planta, ao solo e/ou a atmosfera (Marouelli et al., 2011).

2.6. Estresse hídrico e seus efeitos nas plantas

A água é fundamental para manter normais as atividades fisiológicas das plantas, assim como o processo de transporte nas membranas. A água também participa nos transportes à média e longa distância de nutrientes e nos compostos regulatórios do crescimento de plantas nos vasos condutores floema e xilema (Jones e Tardieu, 1998).

A água retida nos tecidos dos vegetais é dependente da absorção de água do solo pelas raízes e da água perdida pela transpiração. A disponibilidade de água presente no solo e outros fatores que reduzam a absorção e o transporte deste recurso podem induzir uma deficiência hídrica nos tecidos das plantas (Calbo e Moraes, 2000).

O estresse é uma condição fisiológica alterada causada por fatores que tendem a perturbar o equilíbrio. O estresse hídrico, geralmente, ocorre quando o conteúdo de água no solo é reduzido pelas condições atmosféricas que causam perdas de água por transpiração e evaporação. A tolerância a estresses abióticos é muito complexa devido a interações intrínsecas entre os fatores de estresse e os vários fenômenos moleculares, bioquímicos e fisiológicos que afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas (Jaleel et al., 2009).

O déficit de água normalmente causa expansão foliar mais lenta e o fechamento mais pronunciado dos estômatos, bem como dificuldades para o

suprimento de nutrientes. O estresse hídrico causa reduções tanto nas divisões celulares como no alongamento celular que, conseqüentemente, afeta o crescimento das plantas, assim como a sua morte em decorrência da incapacidade do vegetal retomar as suas atividades fisiológicas após uma deficiência severa. O excesso de água reduz a aeração do solo e, assim, o fornecimento de O₂ disponível para as raízes. Em baixa aeração, as atividades de microrganismos benéficos, a água e a captação de nutrientes pelas plantas podem ser seriamente inibidas, embora algumas plantas sejam adaptadas e cresçam bem em solos saturados. (Epstein e Bloom, 2004; Coelho Filho et al., 2011).

Mesmo plantas que possuem como habitat locais úmidos, como é o caso do açaizeiro, bem como da juçara, estão sujeitas a déficit de água em anos mais secos. A capacidade de tolerar estresses hídricos moderados é importante para a propagação das espécies, quando submetidas a cultivo em ambientes diferentes de seu habitat natural (Calbo e Moraes, 2000).

As plantas possuem mecanismos que, sob o estresse abiótico, possibilitam respostas apropriadas com alterações no desenvolvimento, crescimento e metabolismo. Os circuitos de regulação incluem sensores de estresses, caminhos de sinalização, compreendendo uma rede de reações proteicas, fatores de transcrição e finalmente proteínas e metabolitos de saída (Bartels e Sunkar, 2005). Por isso, é importante uma análise de estresse por falta de água nos diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento da planta.

Muitas plantas mesófitas podem se aclimatar a um estresse moderado por falta de água por meio do ajuste osmótico, que possibilita a manutenção da pressão de turgescência celular e, conseqüentemente, o crescimento em potenciais de água foliares mais baixos. O ajustamento osmótico tem sido utilizado como critério de seleção de materiais genéticos tolerantes ao estresse hídrico, como no caso da laranjeira (Calbo e Moraes, 2000).

Além do ajustamento osmótico, outros parâmetros têm sido estudados para avaliar a resposta de espécies vegetais ao estresse hídrico, destacando-se o potencial hídrico foliar, o conteúdo relativo de água, a condutância estomática, a transpiração, a temperatura foliar e a concentração de prolina (Nogueira et al., 2001)

Um dos principais efeitos observados em plantas sujeitas ao estresse hídrico é a diminuição da taxa fotossintética foliar, devido ao desequilíbrio entre a captura e

utilização da luz, e esta diminuição está relacionada à redução do teor relativo de água e do potencial hídrico (Lawlor e Cornic, 2002). Bartels e Sunkar (2005) têm identificado a limitação da abertura estomática como o fator principal e determinante da fotossíntese em plantas submetidas ao estresse hídrico.

A fotossíntese, especialmente a fase fotoquímica do fotossistema II, é um dos muitos processos sensíveis em plantas sob estresse hídrico, especialmente no que se refere ao metabolismo dos cloroplastos, uma vez que envolve, além da perda drástica de pigmentos, a desorganização das membranas dos tilacóides (Ladjal et al., 2000)

A regulação da atividade do fotossistema II (PSII) resulta em um desequilíbrio entre a geração e a utilização de elétrons, aparentemente resultando em alterações no rendimento quântico fotoquímico. Estas mudanças na fotoquímica dos cloroplastos de plantas sob estresse hídrico são o resultado da dissipação de energia da luz excedente no núcleo do PSII e antena, gerando espécies reativas de oxigênio (EROs), que são potencialmente perigosas em condições de estresse hídrico (Peltzer et al., 2002), visto que o oxigênio molecular compete com o NADP^+ pela redução do lado acceptor do fotossistema I.

As EROs produzidas, como os radicais superóxidos ($\text{O}_2^{\bullet-}$), os radicais hidroxilas (OH^\bullet), os peróxidos de hidrogênio (H_2O_2) e os radicais alcóxidos (RO^\bullet) são potencialmente capazes de causar danos fotoinibitórios e fotooxidativos nas plantas. Os radicais superóxidos tóxicos possuem meia-vida menor do que um segundo e são rapidamente desmutados pela superóxido desmutase (SOD) para H_2O_2 , um produto que é relativamente estável e pode ser desintoxicado pela catalase (CAT) e peroxidase (POX). Estas metaloenzimas constituem uma defesa primária das células contra os radicais livres superóxidos gerados sob condição de estresse e, assim, aumentam a atividade das SOD, as quais são conhecidas por conferir tolerância ao estresse oxidativo (Peltzer et al., 2002; Jaleel et al., 2008).

O ácido ascórbico (AA) e a α -tocoferol (α -toc) são dois importantes antioxidantes em plantas superiores, estando concentrados nos cloroplastos e no citosol, onde protegem o aparato fotossintético sobre estresse por meio da limpeza das EROs em excesso. O dano oxidativo nos tecidos das plantas é atenuado pela ação concertante de ambas as enzimas e do metabolismo antioxidante não enzimático. Estes mecanismos incluem os β -carotenos, AA, α -toc, a glutathiona

reduzida (GSH), o ascorbato peroxidase (APX), a polifenol oxidase (PPO), glutathione reductase (GR), além das SOD, CAT e POX. Existem relatos na literatura que sublinham a relação íntima entre as atividades enzimáticas oxidantes e o aumento da resistência aos estresses do ambiente (Jaleel et al., 2008)

Estudos sobre estresses abióticos que interferem no comportamento e desenvolvimento de plantas com expressão econômica em ascensão são extremamente necessários. Dentre estes, destacam-se aqueles voltados à seleção de parâmetros que sirvam como indicadores de tolerância para servir de base em programas de conservação e domesticação de culturas do melhoramento vegetal, bem como para o manejo das plantas em campo (Larcher e Prado, 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização geral e condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada em Campos dos Goytacazes, no norte do estado do Rio de Janeiro (latitude = 21°19'23" S, longitude = 41°10'40" W; altitude = 14 m).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região Norte Fluminense é classificado com Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais frio superior a 18°C. A temperatura média anual está em torno de 24°C, sendo a amplitude térmica muito pequena. A precipitação pluviométrica média anual está em torno de 902,2 mm (Miro, 2009).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos em arranjo fatorial 4 x 2 x 2, sendo as plantas submetidas a quatro níveis de umidade no substrato (correspondentes a 33, 67, 100 e 133% da capacidade de água disponível no recipiente - CAD), duas espécies de *Euterpe* (açazeiro e juçara) e dois períodos de estresse nas plantas (30 e 60 dias, iniciados após 120 dias do transplante), com quatro blocos e uma planta por vaso, compondo a unidade experimental.

As sementes das palmeiras açazeiro e juçara foram obtidas por meio de coletas realizadas no mês de maio de 2016, nas ilhas do arquipélago do Marajó, estado do Pará, e no município de Rio Pomba estado de Minas Gerais,

respectivamente. As sementes sem o pericarpo foram enviadas para o Laboratório de Fitotecnia da UENF.

Para o processo de germinação, cinco dias após a coleta as sementes foram colocadas em bandejas devidamente preenchidas com substrato composto de areia e composto orgânico na proporção 1:1 (v/v). Decorridos 30 dias da emergência, as plântulas foram transplantadas, quando atingiram entre três e quatro centímetros de altura. O transplântio das mudas foi realizado em vasos pretos de polietileno com capacidade volumétrica de 18 dm³, preenchidos com 18,6 kg do solo usado como substrato, devidamente adubado conforme a análise de solo (Tabela 1) e a requisição de nutrientes pelas plantas recomendados por Cravo et al. (2010).

Tabela 1. Atributos químicos e análise granulométrica do solo usado como substrato no experimento, oriundo do município de Marataízes (ES)

Camada (cm)	pH (H ₂ O)	S-SO ₄ mg/dm ³	P mg/dm ³	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al
0 - 20	3,4	40,00	6,00	2,10	3,60	0,00	1,00	11,60	39,40
Granulometria									
-----g dm ⁻³ -----									
Areia			Silte				Argila		
580			60				360		

Análises realizadas pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR) Departamento de Produção Vegetal, Campos dos Goytacazes-RJ.

O solo para a instalação do experimento foi um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura média, coletado da camada de 0-20 cm de profundidade no município de Marataízes, Espírito Santo (Tabela 1). Após a secagem da terra ao ar, fez-se o destorroamento, passando-a por peneira com malha de 5 mm. Cerca de 30 dias antes do transplântio, realizou-se a aplicação do corretivo de acidez, com o objetivo de elevar a saturação de bases para 70%, segundo a recomendação de adubação e calagem para o estado do Pará para a cultura de açaizeiro (Cravo et al., 2010). O calcário utilizado foi o dolomítico (CaO – 33,5%, MgO – 10,1% e PRNT – 80%), aplicado na dose de 800 mg por vaso. Após o período de incubação do solo, foi aplicado o nutriente fósforo na quantidade de 40 mg dm⁻³, com base nos cálculos de fósforo disponível a partir do teor de argila do substrato. Como fonte deste

nutriente, foi utilizado o fertilizante superfosfato simples (18% de P_2O_5 e 20% de CaO). Os nutrientes nitrogênio e potássio foram aplicados parceladamente, sendo fornecidos por planta, a cada mês, 2 g planta⁻¹ de ureia (45% de N) e 1,5 g dm⁻³ de cloreto de potássio (60% de K_2O), totalizando 30 mg de nitrogênio por planta e 160 mg dm⁻³ de potássio no substrato.

3.1.1. Controle da irrigação no experimento

Para que a quantificação de água no solo e sua aplicação via irrigação fosse feita de forma adequada, o solo usado como substrato foi detalhadamente caracterizado quanto às suas relações massa-volume, conforme metodologias descritas em Embrapa (1997). Inicialmente, a quantidade de solo (seco ao ar) foi igual para todos nos vasos, massa do solo úmido (μ) = 18,60 kg. No momento do preenchimento, amostras do solo (triplicata) foram coletadas para a determinação (mediante pesagem antes e após secagem em estufa a 105°C por 48 horas) da umidade gravimétrica e do fator de correção de umidade (f_c), que corresponderam, respectivamente, a $U = 0,030 \text{ kg kg}^{-1}$ e a $f_c = 1,030$. A massa de solo nos vasos, correspondente ao material seco em estufa (ou seja, a massa das partículas), pôde, então, ser obtida ($m_s = 18,25 \text{ kg}$). As mesmas amostras também foram utilizadas para a determinação da densidade de partículas (método do balão volumétrico com álcool), obtendo-se $D_p = 2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ (ou $D_p = 2,65 \text{ kg L}^{-1}$).

Durante a colocação do solo nos vasos, estes eram batidos levemente em uma plataforma de madeira, para que houvesse a acomodação uniforme das partículas e não houvesse grandes variações na densidade e porosidade do material. Durante o experimento, após inúmeras irrigações e a estabilização do material, o volume ocupado pelo solo em cada vaso foi medido, obtendo-se o valor médio $V_s = 16,99 \text{ L}$. Pôde-se, então, obter a densidade do solo no vaso e sua porosidade total, cujos valores médios corresponderam, respectivamente, a $D_s = 1,08 \text{ Mg m}^{-3}$ (ou $D_s = 1,08 \text{ kg L}^{-1}$) e a $PT = 0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (ou $PT = 0,57 \text{ L L}^{-1}$). Sendo conhecidos V_s e PT pôde-se calcular, ainda, o volume total de poros em cada vaso, que foi, em média, $VTP = 9,68 \text{ L}$.

Antes do início do experimento, três vasos adicionais, preenchidos com o mesmo solo e igualmente caracterizados quanto às relações massa-volume

conforme acima descrito, foram utilizados para a determinação da umidade volumétrica na “capacidade de vaso” (θ_{CC} ou CC - por sua similaridade com a “capacidade de campo”). Para tanto, os vasos foram irrigados até a saturação e deixados para livre drenagem durante dois dias quando, então, foram pesados em balança digital com aproximação de 5 g. A quantidade de água retida na amostra nessa condição foi obtida a partir da diferença entre a massa do solo úmido (μ) e a massa do solo seco (ms). O volume médio de água obtido foi $V_a = 5,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, que corresponde à $\theta_{CC} = 0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e que foi utilizado no experimento como nível hídrico que representa, *a priori*, a condição de ausência de estresse por falta ou por excesso de água no recipiente (tratamento 100% da CAD).

Para dar suporte ao estabelecimento dos demais níveis do fator tratamento “umidade no substrato”, a curva de retenção da água para o solo foi confeccionada (Figura 1). Para tanto, oito amostras do solo utilizado no experimento foram coletadas dos vasos adicionais acima mencionados, em anéis volumétricos metálicos de 100 mL. As amostras foram saturadas e submetidas às tensões de 1, 3, 6 e 10 kPa, em funis de placa porosa, e a 33, 100, 500 e 1500 kPa, em câmaras de pressão de Richards (Libardi, 2010). Após equilíbrio nas citadas tensões, as amostras foram pesadas antes e após secagem em estufa a 105°C por 48 horas, obtendo-se os teores de água que foram ajustados à equação proposta por Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot \tau)^n\right]^m} \quad (1)$$

Em que θ é a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); τ é a tensão da água (kPa); θ_s é a umidade na saturação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); θ_r é a umidade residual ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); e α (kPa^{-1}) e m e n (adimensionais) são parâmetros empíricos do modelo. Para obtenção da equação, θ_s foi assumida como correspondente à porosidade total ($\theta_s = 0,570 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e os demais parâmetros foram estimados com o auxílio do suplemento ‘solver’ do programa Microsoft Office Excel 2010, pelo método dos mínimos quadrados, obtendo-se $\theta_r = 0,135 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $\alpha = 1,199 \text{ kPa}^{-1}$, $n = 2,005$ e $m = 0,378$.

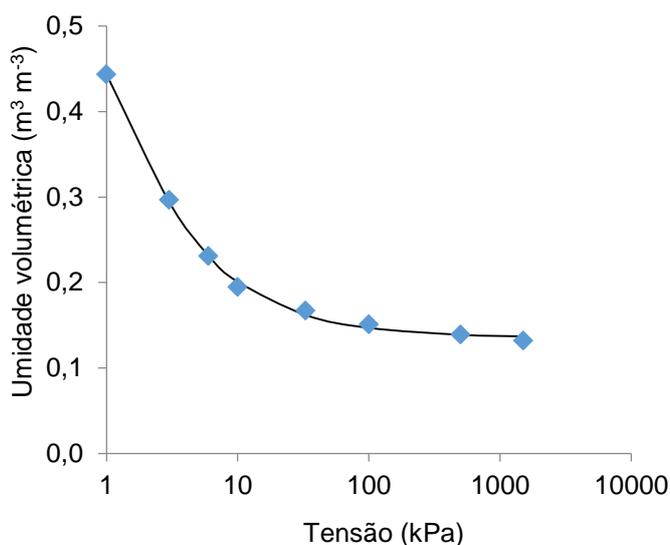


Figura 1. Curva de retenção de água no solo representada pelos valores de umidade volumétrica medidos (♦) e estimados pela equação Van Genuchten (1980) (linha), em função da tensão da água.

O valor obtido da umidade volumétrica no “ponto de murcha permanente” (água retida à tensão de 1500 kPa) foi $\theta_{PMP} = 0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, que corresponde ao volume de água no vaso $V_a = 2,38 \text{ L}$ (que não são disponíveis às plantas). A diferença entre a “capacidade de vaso” e o “ponto de murcha permanente” corresponde à “capacidade de água disponível no solo” (CAD), que foi de $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ou de $3,06 \text{ L}$ por vaso. Essas informações foram utilizadas para o estabelecimento e manutenção dos níveis de água no solo, sendo o tratamento 33% da CAD correspondente à umidade $\theta = 0,200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e ao volume de água no vaso $V_a = 3,40 \text{ L}$ ($1,02 \text{ L}$ disponíveis às plantas), o tratamento 67% da CAD correspondente à umidade $\theta = 0,260 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e ao volume de água no vaso $V_a = 4,42 \text{ L}$ ($2,04 \text{ L}$ disponíveis às plantas), e o tratamento 133% da CAD correspondente à umidade $\theta = 0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e ao volume de água no vaso $V_a = 6,46 \text{ L}$ ($4,08 \text{ L}$ disponíveis às plantas).

Na fase inicial a irrigação foi feita empiricamente, diariamente, buscando-se manter a umidade do substrato em todos os vasos, próxima à capacidade de vaso ($\theta_{cc} = 0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) - ou seja, com 100% da CAD. Após 120 dias do experimento, o monitoramento da umidade e do volume de água nos vasos passou a ser feito com o medidor de umidade de solo modelo MO750 da *Extech® Instruments* com haste de

20 cm de comprimento. A calibração do aparelho foi realizada pelo método gravimétrico, onde o volume de água contido em cada vaso foi calculado a partir da pesagem das unidades experimentais (vaso de polietileno + planta + substrato), permitindo a obtenção da umidade volumétrica (θ). Na mesma ocasião, foram realizadas as mensurações de umidade volumétrica com o aparelho (θ_{MO750}), expressa em % de água no substrato, sendo a haste inserida até 15 cm de profundidade para a realização da leitura. Utilizando-se o método dos “mínimos quadrados”, o suplemento ‘solver’ do programa Microsoft Office Excel 2010 permitiu que fosse obtida a curva de calibração representada pela equação:

$$\theta = 0,00525 \theta_{MO750} + 0,1734 \quad (2)$$

Após a calibração, o medidor de umidade, o volume de água aplicado diariamente em cada vaso (V_{irrig}) para elevar a umidade de seu valor atual θ para o valor de controle θ^* , passou a ser calculado a partir da equação:

$$V_{irrig} = (\theta^* - \theta) V_s \quad (3)$$

Até os 120 dias após o transplântio a irrigação continuou sendo feita para manter a umidade do substrato próxima a 100% da CAD, sendo o valor de θ^* na equação 3 assumido como equivalente à θ_{cc} ($0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Quando as mudas de açaí e juçara atingiram a idade de quatro meses, as plantas foram submetidas aos diferentes teores de água no substrato admitidos aos tratamentos de estresse hídrico. A partir dessa ocasião, o cálculo do volume de água a ser aplicado (V_{irrig}) foi feito substituindo o valor de θ^* , na equação 3, pelo valor de umidade correspondente a cada tratamento (ou seja, 0,20, 0,26, 0,32 e 0,38 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, correspondentes, respectivamente, a 33, 67, 100 e 133% da CAD).

3.2. Variáveis-resposta

Quando as mudas de açaí e juçara atingiram os períodos de estresse previstos, 30 e 60 dias, estas foram avaliadas quanto às seguintes características:

3.2.1. Parâmetros biométricos

A avaliação biométrica das plantas incluiu a medição das variáveis: altura (H, em cm), diâmetro do caule (DC, em mm), número de folhas por planta e área foliar (AF, em cm²). As plantas de cada período de estresse foram destruídas para a quantificação dos parâmetros comprimento (CR, em cm), volume (VR, em cm³), diâmetro médio (DMR, em cm) e área superficial (ASR, em cm²) das raízes e a biomassa seca da parte aérea e das raízes. A parte aérea foi separada em folha, pecíolo e caule, sendo determinadas assim a massa seca das folhas (MSF, em g), a massa seca do pecíolo (MSP, em g), a massa seca do caule (MSC, em g), e por soma, a massa seca total da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca das raízes (MSR, em g), e por soma, a massa seca da planta (MSP, em g).

Para a determinação da altura da planta foi utilizada régua graduada, sendo a medida efetuada desde o colo da planta até a ponta da folha maior. O diâmetro foi determinado a dois centímetros do solo com um paquímetro digital. O número de folhas foi contado desde a folha basal até a última folha aberta. A área foliar foi determinada com um medidor de bancada modelo LI -3100 LICOR (Lincoln, NE, USA).

Para as medidas morfológicas da raiz, os sistemas radiculares das plantas foram lavados em água corrente com auxílio de peneiras para retenção das raízes. Após a lavagem, as raízes foram colocadas em uma cuba de acrílico de 30 cm de largura e 40 cm de comprimento, contendo água destilada, sendo analisadas utilizando o software WinRhizo Pro 2012b (Régent Instr. CNC.), conectado a um scanner profissional Epson XL 10000 com uma resolução de 400 dpi.

As partes das plantas, separadas em folhas, pecíolo, caule e raiz, foram acondicionadas em papel tipo Kraft e colocadas em estufa com circulação de ar forçada a 70°C ± 2° por 72 horas e pesadas em balanças semi-analítica, para a determinação da biomassa seca.

3.2.2. Análise nutricional das plantas

Após a secagem das plantas, foram realizadas as análises nutricionais das folhas (folha + pecíolo), do caule e da raiz para a determinação dos teores e o conteúdo nas partes da planta. As amostras de cada uma dessas partes foram trituradas em moinho tipo Wiley com peneira de 20 *mesh* e armazenado em frascos hermeticamente fechados. Posteriormente, foram pesados 0,100 g da parte aérea e colocados em tubo de ensaios para a determinação dos teores dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu).

O N foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965), após digestão com ácido sulfúrico e submetido à análise ao Specord (analytikjena). Os demais nutrientes (P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn e Cu), após a digestão com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio, foram submetidos à espectrometria de emissão atômica (ICPE-9000, SHIMADZU). As análises foram efetuadas no Setor de Nutrição Mineral de Plantas do Laboratório de Fitotecnia do CCTA / UENF.

3.2.3. Parâmetros fisiológicos

Além da avaliação biométrica e nutricional, foram realizadas as análises fisiológicas, obtendo-se o índice de clorofila nas folhas (índice Spad), o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), a taxa de assimilação de CO₂ (A), a condutância estomática (gs) e a transpiração (E), e a eficiência instantânea do uso da água (A/E).

O índice de clorofila nas folhas foi estimado por meio do medidor portátil de clorofila modelo SPAD – 502 “Soil Plant Analyser Development” (Minolta Company, Japan). As trocas gasosas foram mensuradas por meio do analisador de gás portátil infravermelho (IRGA), modelo LI- 6400 (LI-COR, Lincon, NE, USA), utilizando-se fonte de luz artificial de 1.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. No período do dia avaliado os valores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), temperatura e umidade relativa do ar foram de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fótons, 34,03°C e 50%, respectivamente. O rendimento quântico máximo do fotossistema II foi obtido por meio do fluorímetro Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Inglaterra). Para realizar as avaliações, as

folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças. Nessas condições os centros de reação estavam completamente abertos com perda mínima de calor (Strasser et al., 2000). Passados os 30 minutos, um pulso forte de luz de $3.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fótons foi aplicado por três diodos emissores de luz de 650 nm. Estas avaliações foram realizadas entre 8:00 e 10:00 horas da manhã, no segundo par de folhas completamente expandido, totalmente desenvolvido e saudável nas mudas de açaí, e no terceiro folíolo contado da esquerda para direita nas mudas de juçara.

3.3. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e os dados qualitativos obtidos para o fator espécie e período de estresse foram comparados pelo teste de Tukey (5% de probabilidade), enquanto os dados quantitativos obtidos para o fator umidade do substrato à análise de regressão (com teste F significativo a 5% de probabilidade).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Biometria das plantas de açaizeiro e juçara

A análise de variância (Tabela 2) mostra que não houve interação entre os tratamentos sobre as diversas características morfoagronômicas das plantas, a saber: diâmetro do caule, área foliar, número de folhas, matéria seca foliar e relação parte aérea e raiz. No entanto, houve efeito independente da espécie, da época e/ou da umidade no substrato sobre estes parâmetros. Na altura da planta, na matéria seca do caule, da raiz e da planta, bem como, o no comprimento, na área superficial e no volume radicular foram observadas interações entre os efeitos espécie x período de estresse e espécie x umidade no substrato, respectivamente.

Observou-se que as maiores médias para as características de diâmetro do caule, matéria seca foliar e menor relação parte aérea/raiz e números de folhas para as mudas de açaí quando comparadas às de juçara, ambas as espécies tiveram área foliar semelhante. (Tabela 3).

Tabela 2: Valores de probabilidade pelo teste F para as diversas fontes de variação (F.V.), e coeficientes de variação (CV) obtidos na análise de variância de crescimento em altura da planta (HP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), número de folhas (NF), massa seca foliar (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca da planta (MSP), relação parte aérea e raiz (PA/R), comprimento (CR), área superficial (AS) e volume radicular (VR) de mudas de açai e juçara sob estresse hídrico em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2017.

F.V.	HP (cm)	DC (mm)	AF (cm ²)	NF	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MSP (g)	PA/R	C.R (cm)	DR (mm)	AS (cm ²)	V.R (cm ³)
Época	0,001*	0,000	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610	0,000	0,001	0,000	0,000
Espécie	0,000	0,031**	0,651	0,000	0,000	0,080	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000
Umidade	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,000	0,587	0,000	0,138	0,000	0,000
Ep*Es	0,046	0,714	0,063	0,938	0,165	0,034	0,043	0,002	0,020	0,670	0,005	0,513	0,010	0,017
Ep*U	0,959	0,896	0,265	0,654	0,175	0,029	0,038	0,032	0,031	0,184	0,690	0,683	0,550	0,504
Es*U	0,229	0,800 ^{ns}	0,105	0,566	0,116	0,551	0,197	0,002	0,055	0,970	0,001	0,251	0,001	0,002
Ep*Es*U	0,515	0,889	0,098	0,125	0,651	0,308	0,573	0,065	0,599	0,616	0,336	0,751	0,341	0,576
CV (%)	15,83	17,21	29,66	21,61	39,35	42,70	35,21	36,73	33,67	55,24	32,26	10,71	33,38	38,52

Obs.: Ep*Es: interação época x espécie; Ep*U: interação época x umidade; Ep*U: interação espécie x umidade; Ep*Es*U: interação época x espécie x umidade.

Ao avaliar a relação entre a matéria seca da parte aérea e a da raiz (Tabela 3), verificou-se que as mudas de juçara apresentaram maiores valores do que as mudas de açaí, isto pode estar relacionado à luminosidade da casa de vegetação, de $300 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que pode caracterizar ambiente de sombra, sendo possível relacionar esta característica ao fato dessa espécie ocorrer em áreas de mata fechada e sombreadas, o que induz essa espécie a investir mais em biomassa aérea. Desta forma, investir muito na parte fotossintetizante pode ser uma estratégia de aumentar a captação de luz em locais mais sombreados e isso, provavelmente, restringe o desenvolvimento de raízes (Zanelato, 2010).

De acordo com Fantini e Guries (2007), a palmeira juçara é de origem de florestas ombrófilas, principalmente do interior úmido das florestas da Mata Atlântica, e, também são abundantes em áreas de sub-bosque.

Os indivíduos de algumas espécies como a juçara podem investir mais em folhas de modo a aumentar a captação de luz em ambientes sombreados. Por outro lado, outras espécies podem investir mais em raízes para aumentar a captação de nutrientes, conseqüentemente, aumentam a alocação de biomassa para a parte aérea, como o açaizeiro (Lambers, 2008).

Embora, o número de folha tenha sido superior para as mudas de juçara, a massa seca foliar das mudas de açaí foi 1,5 vezes superior do que das mudas de juçara (Tabela 3). Isto pode ser explicado pela expansão da área laminar de cada folíolo das plantas de açaí, pois as folhas apresentam formato em V, e os folíolos tem em média 18,36 cm de comprimento e 3,57 cm de largura, em comparação com as mudas de juçara que apresentam folhas palmadas com os folíolos medindo em torno de 12,75 cm de comprimento e 1,17 cm de largura, além disso, as mudas de açaí tiveram um investimento maior no sistema radicular de modo a aumentar a sua captação de nutrientes.

A expansão da área laminar dos folíolos foi medida por meio da massa foliar específica, sendo que as folhas de açaí tiveram maior espessura da lâmina foliar quando comparadas as folhas das mudas de juçara (Tabela 3). O fato das mudas de açaí apresentarem massa seca foliar maior que a juçara, mesmo as espécies tendo área foliar semelhante, possivelmente, deve estar associada a maior espessura do limbo foliar do açaí.

Segundo McConnaughay e Coleman (1999), plantas expostas à luz solar reduzida podem sofrer mudanças na translocação dos nutrientes para o crescimento do caule e das folhas, e para os pigmentos associados à captura da luz, em vez de aumentar a produção de biomassa radicular, ou a disponibilidade de carboidratos para a captação de nutrientes ou enzimas (como a rubisco associada com a fixação de carbono). Isto pode estar relacionado ao crescimento das mudas de juçara, ligado à baixa produção de biomassa da parte aérea e do crescimento em altura (Tabela 4), bem como à baixa produção de biomassa radicular e da planta dessa palmeira.

Tabela 3. Diâmetro do caule, número de folhas por planta, área foliar, matéria seca foliar, relação parte área/raiz, massa foliar específica em mudas de açaí e juçara, cultivadas sob diferentes condições hídricas (média dos dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos), em casa de vegetação.

Espécies	Diâmetro do caule (mm)	Número de folhas por planta	Área foliar (cm ²)	Matéria seca foliar (mg)	Relação parte área/raiz	Massa foliar específica (g m ⁻²)
Açaizeiro	6,64 a	2,25 b	144,71 a	941,50 a	2,97 b	327,35 a
Juçara	6,04 b	2,87 a	134,86 a	625,53 b	4,99 a	263,86 b
Média	6,34	2,56	139,78	783,52	3,98	295,61
CV%	17,22	21,61	29,66	39,35	55,25	15,22

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados dos parâmetros altura (Tabela 4), diâmetro do caule e número de folhas (Tabela 3) observados nesse trabalho para as respectivas espécies estudadas estão fora dos padrões ideais de mudas aptas para irem ao campo. De acordo com Queiroz et al. (2001), as mudas de açaí devem ter altura no mínimo de 40 cm, diâmetro superior à 12 mm e ainda ter cinco folhas fisiologicamente ativas em um período mínimo de 120 e no máximo 240 dias. Aguiar et al. (2002) recomendam

que as mudas de juçara devem ultrapassar 30 cm de altura e ter idade mínima de 180 dias.

Tanto nas mudas de açaí quanto nas de juçara, o período maior de estresse (60 dias) teve as maiores médias para a altura da planta, matéria seca caulinar, raiz e da planta, havendo um incremento de 22% na altura da planta, 175% na matéria seca caulinar e 152% na matéria seca da planta em relação à avaliação aos 30 dias de estresse (Tabela 4). Entre as espécies, as mudas de açaí tiveram as maiores médias para altura, matéria seca caulinar e da planta em 60 dias de estresse, onde foram superiores em relação às mudas de juçara em 43,80%, 35,21% e 55,50%, respectivamente. Por sua vez, a matéria seca da raiz, as mudas desta espécie tiveram as maiores médias em relação às mudas de juçara, independente do período de estresse avaliado.

Os resultados da produção de matéria seca da raiz relatados neste trabalho corroboram com Suassuna et al. (2012) que observaram que a produção de fitomassa da parte aérea e do caule foram reduzidas em todos os genótipos de citros estudados sob déficit hídrico, excetuando-se a fitomassa de raiz, que teve um aumento em porta-enxertos de limoeiro 'Cravo'. E relatam que possivelmente essa característica de produção está ligada às condições genéticas da planta, com possibilidade de ser um indicativo promissor de crescimento sob condições hídricas desfavoráveis.

Em relação ao fator umidade do substrato, observou-se um comportamento linear na altura das plantas, e verificou-se que as umidades de 33 e 67% da CAD proporcionaram reduções de 19 e 9% quando comparadas à umidade 100% da CAD, enquanto que o fornecimento de água em 133% da CAD promoveu acréscimos de 33% na altura das plantas (Figura 2A). Para o diâmetro do caule, a área foliar e a matéria seca foliar observou-se um comportamento quadrático (Figura 2B), sendo os valores máximos, respectivamente, de 7,28 mm (em 123% da CAD), 168,44 cm² (em 108% da CAD) e 986,0 g (em 111% da CAD). As umidades 33 e 67% da CAD acarretaram reduções para o diâmetro na ordem de 32,09, 11,0%, para área foliar, nas umidades anteriores e 130% da CAD reduziu em 48,81; 14,38 e 3,17% e para massa seca foliar em 58,14; 18,0 e 1,78%, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silvestre et al. (2017), que submeteram dois materiais de açazeiro (a cultivar BRS Pará e a ecotipo Hideo) à

irrigação diferencial, e verificaram que as umidades de 70 e 40% em relação a 100% da capacidade de campo causaram decréscimo de 11 e 23% na altura da planta, 13 e 18% no diâmetro do caule e 20 e 34% na matéria seca foliar. A área foliar da cultivar BRS Pará foi reduzida em 48% na umidade de 40%, e da ecotipo Hideo decresceu 45% e 52% , tanto na umidade de 70% quanto à 40% da capacidade de campo, respectivamente.

Tabela 4. Altura da planta, matéria seca do caule, matéria seca radicular, matéria seca da planta de mudas de açaí e juçara (média para os quatro níveis de água do solo), em função do período da aplicação dos tratamentos hídricos, em casa de vegetação.

Espécie	Altura da planta (cm)		Média	Matéria seca do caule (g)		Média
	Estresse (dias)			Estresse (dias)		
	30	60		30	60	
Açaí	31,98Ba	39,10Aa	35,54	0,40Ba	1,10Aa	0,75
Juçara	25,01Ab	27,20Ab	26,10	0,43Ba	0,81Ab	0,62
Média	28,49	33,15		0,42	0,96	
CV%	30,82			42,7		

Espécie	Matéria seca radicular (g)		Média	Matéria seca da planta (g)		Média
	Estresse (dias)			Estresse (dias)		
	30	60		30	60	
Açaí	0,36 Ba	0,87 Aa	0,61	1,31Ba	3,29Aa	2,30
Juçara	0,16 Bb	0,40 Ab	0,28	0,93Ba	2,13Ab	1,53
Média	0,26	0,64		1,12	2,71	
CV%	36,7			33,7		

As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha não diferem estatisticamente a espécie nos distintos períodos de estresse e as mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente as duas espécies dentro do período de estresse no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Silvestre et al. (2016), trabalhando com produção de mudas de açaí, testaram a hipótese de que a demanda de água para a produção de mudas vigorosas varia em função do material vegetal de origem, e verificaram que os regimes hídricos de 40 e 70% da capacidade de campo provocaram a morte de 100% das plantas, independentemente do material genético de açazeiro, aos 45 e 90 dias de cultivo. Também observaram que a produção de mudas vigorosas é viável apenas nos regimes hídricos de 100 e 133% da capacidade de campo.

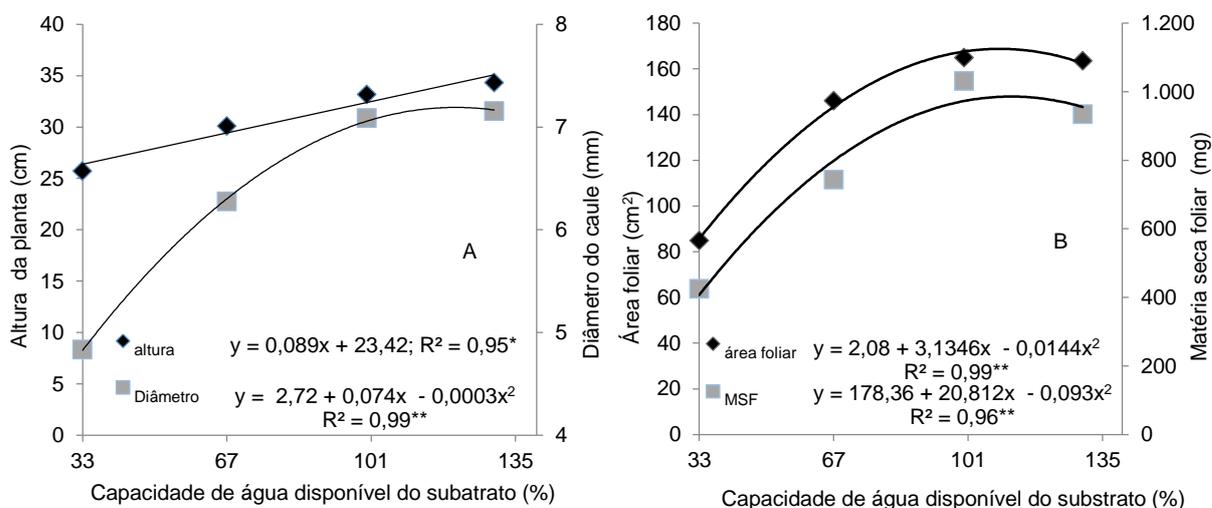


Figura 2. Altura da planta e diâmetro do caule [A], área foliar e matéria seca foliar [B] de açaí e juçara (média das duas espécies e de dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos) em função do teor de água no substrato, em casa de vegetação.

Os resultados observados nesse trabalho corroboram com o de Silvestre et al (2016), em que as mudas de açaí e juçara foram mais vigorosas a partir da umidade de 100% da CAD. Relata-se ainda, a sensibilidade das mudas de açaí ao déficit hídrico, sendo evidenciada por Sousa e Jardim (2007), em que mudas plantadas em área de vegetação secundária no município de Bragança-PA tiveram alto índice de mortalidade das plantas (96,61%), nos meses mais secos da região. Nesse sentido, a baixa disponibilidade de água para as plantas de ambas as espécies proporcionada nas umidades de 33 e 67% da CAD ocasionaram baixa produção da área foliar (Figura 2B), podendo ser comparadas com ao período de estiagem, caso estas mudas estivessem no campo.

O comprometimento da produção foliar das mudas de açaí na umidade de 33% da CAD relatada neste trabalho assemelha-se ao de Sousa e Jardim, 2007a, os quais relatam que, a produção foliar e a perda foliar de mudas de açaí em área de vegetação secundária foram bastante influenciadas pela baixa disponibilidade de água no solo, devido ao período de estiagem (agosto a dezembro), associado a elevadas temperaturas, promoveu desidratação e queima foliar, ocasionando a mortalidade das plantas.

Conceição et al. (2004) avaliaram o comportamento fisiológico de duas progênies de açazeiro quanto à disponibilidade de água no solo. Os tratamentos que os autores aplicaram foram o controle (próximo da capacidade de campo) e o estressado com suspensão hídrica durante 14 dias, e verificaram que a produção de área foliar e as massas secas de folíolos, ráquis, bainha, ápice caulinar e raiz de mudas de ambas as progênies de açazeiro estudadas foram reduzidas, significativamente, sob déficit hídrico.

Por sua vez, Nogueira Jr. et al. (2003) observaram que o estágio de plântula da juçara é o mais atingido com a falta de água no solo, pois a absorção de água é mais difícil devido ao aumento da força de retenção do solo. Os autores verificaram, ainda, que a baixa umidade no solo (46%) ocasionou 86% da mortalidade de mudas de juçara plantadas em florestas nativas da Reserva Ecológica do Trabiçu, em São Paulo.

Tsukamoto Filho et al. (2001) constataram que o déficit hídrico no solo e o excesso de luminosidade provocaram redução na produção foliar e contribuiu para o menor crescimento das plantas de juçara cultivadas em mata secundária estacional semidecídua em Lavras-MG.

Associado a tudo que foi mencionado pelos trabalhos citados, é imprescindível estudar plantas, como a juçara e o açazeiro, as quais possam se desenvolver em locais que apresentem baixas disponibilidades de água, ou em locais em que a disponibilidade desta seja alta, visando, principalmente, o uso eficiente da água por essas plantas.

Houve interação entre a umidade e o período de estresse aplicado para a matéria seca da parte aérea e da planta (Figura 3A e 3B), verificando-se que de 30 dias de estresse não levou a diferenças nos resultados da matéria seca da parte aérea de ambas as espécies, mas promoveu comportamento linear para a matéria seca da planta, sendo que as umidades 33 e 67% da CAD reduziram as médias de acúmulo de fitomassa aérea em 42,0% e 16,0%, respectivamente, enquanto que o aumento do fornecimento de água para 133% da CAD promoveu acréscimos de 72% na produção de biomassa seca total da planta. Por outro lado, o período de 60 dias de estresse observou-se um comportamento quadrático tanto para a matéria seca da parte aérea quanto da planta, sendo os valores máximos, respectivamente, de 2540,82 mg e 3344,59 mg (em 111% e 113% da CAD para ambas as variáveis).

Os decréscimos nas umidades de 33 e 67% da CAD foram de 51,0 e 16,0% para a massa seca da parte aérea e 53,0 e 17,0% para a massa seca da planta, respectivamente.

Mar et al. (2013), estudando a produção de matéria seca e a área foliar de plantas jovens de açazeiro quanto à disponibilidade de água no substrato, especialmente na fase de produção de mudas, verificaram que a matéria seca da parte aérea (folhas, pecíolo e caule), da ráquis, da bainha e da raiz foram reduzidas significativamente quando submetidas a ciclos de déficit hídrico no substrato. Resultado semelhante foi observado neste trabalho, no entanto, o estresse de 60 dias acarretou maior acúmulo de biomassa, quando comparado ao estresse de 30 dias, sendo notório que a produção de biomassa foi influenciada pelo déficit hídrico em ambas as palmeiras. A maioria das plantas, quando submetidas à deficiência hídrica tendem a converter mais os fotossimilados em biomassa para contornar os problemas da falta de água, principalmente em biomassa radicular, para que o acréscimo na distribuição radicular explore mais as áreas de absorção do solo.

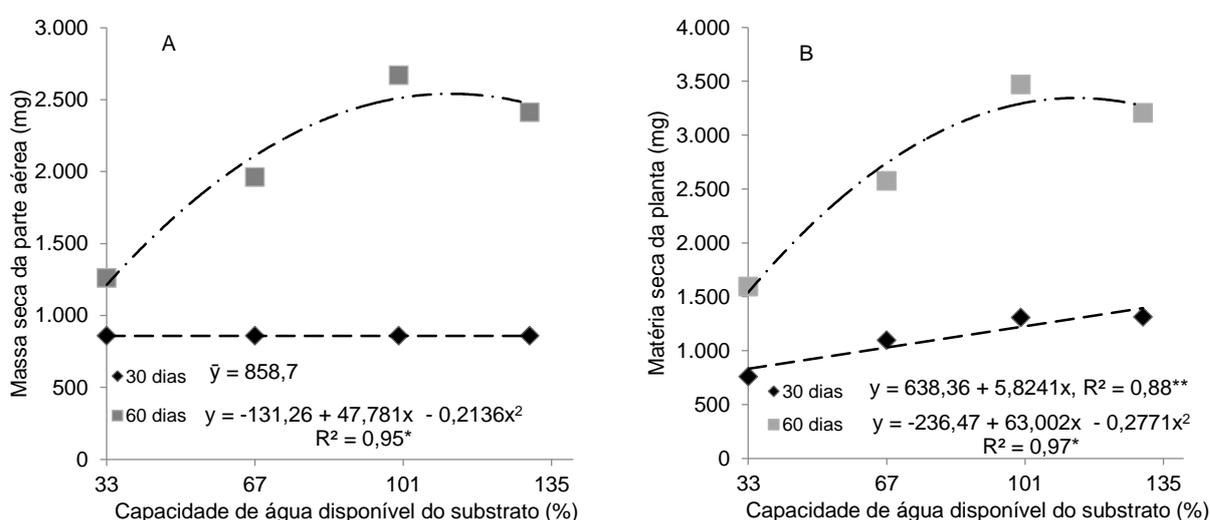


Figura 3. Matéria seca da parte aérea [A] e total da planta [B] de açai e juçara (média das duas espécies) em função do teor de água no substrato (% da CAD - capacidade de água disponível), em dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos, em casa de vegetação.

Observou-se que os coeficientes angulares das equações lineares são maiores para as mudas de açaí do que para as mudas de juçara para as variáveis radiculares avaliadas (matéria seca, comprimento, área superficial e volume radicular), em função do fornecimento de água no solo, mostrando que as mudas de açaí são mais sensíveis à restrição de água (Figura 4).

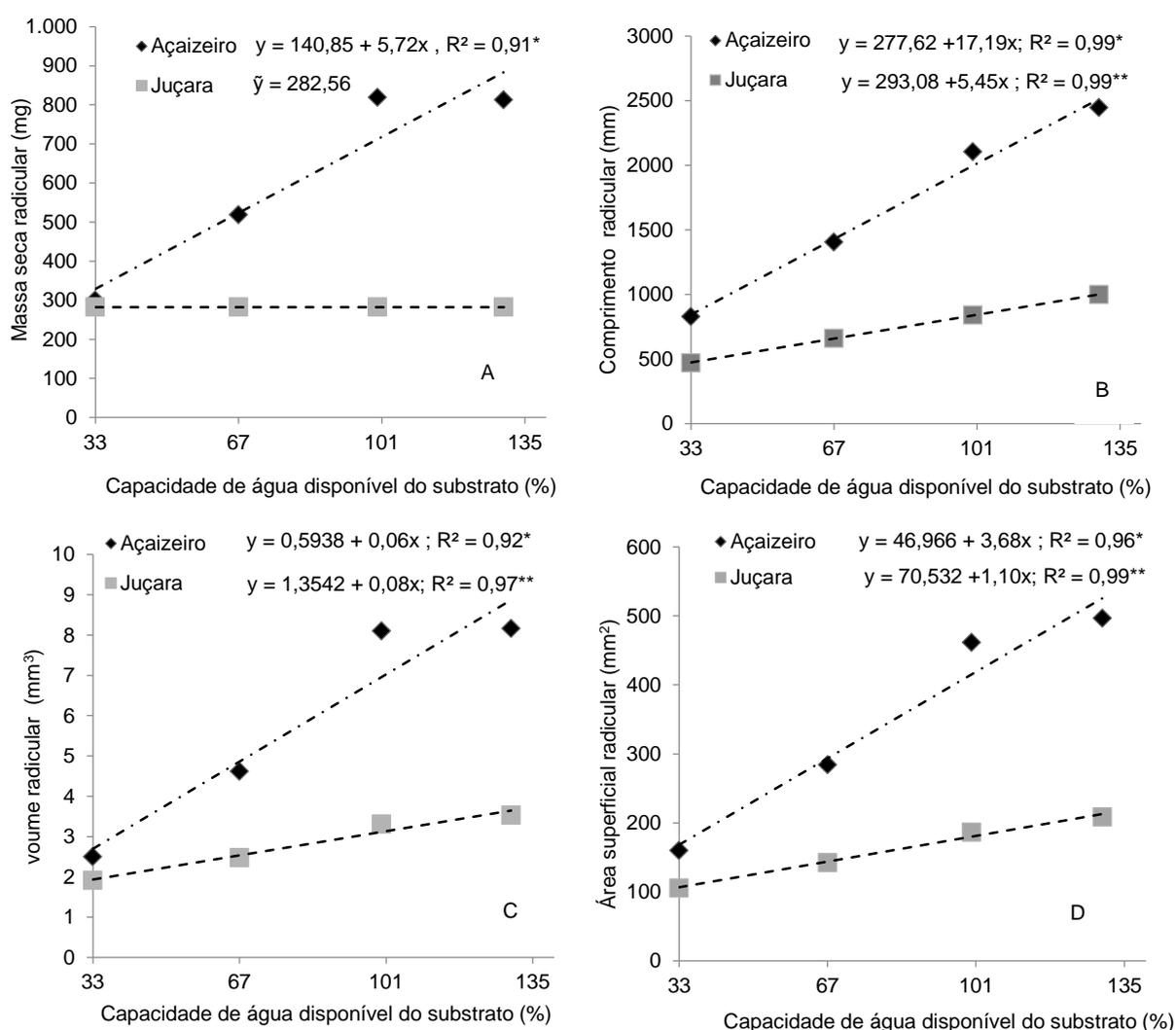


Figura 4. Matéria seca [A], comprimento [B], volume [C] e área superficial radicular [D] de açaí e juçara (média de dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos) em função do teor de água no substrato (% da CAD - capacidade de água disponível), em casa de vegetação.

O sistema radicular fasciculado das plantas mostrou que as umidades de 33 e 67% da CAD afetaram o seu desenvolvimento em relação à umidade de 100% da CAD, uma vez que, as mudas de juçara alcançaram comprimento radicular de 47,0 e 660,88 mm, área superficial de 105,5 e 142,63 mm² e volume radicular medindo, 1,91 e 2,48 mm³, ao passo que, para as mudas de açaí observou-se o dobro de produção de raiz quando comparadas as mudas de juçara, sendo que o comprimento radicular alcançou 827 e 1405,25 mm, área superficial de 160 e 284,5 mm² e o volume radicular de 2,50 e 4,61 mm³, respectivamente, (Figura 4B, 4C, 4D). No entanto, as espécies tiveram o mesmo comportamento linear para as variáveis, apesar do aumento da disponibilidade hídrica no substrato não ter proporcionado maior produção de matéria seca radicular nas mudas de juçara. Constata-se que, as mudas de açaí foram superiores 1,83 vezes na produção de biomassa seca radicular a partir da umidade de 67% da CAD (Figura 4A) .

Segundo Pimentel (2004), A quantidade de água absorvida pelas plantas depende diretamente do volume de solo ocupado, das ramificações e de pelos do sistema radicular, assim as plantas com sistema radicular mais profundo exploram as camadas de solos mais próximos do lençol freático, e são consideradas mais adaptadas à seca do que as plantas com sistema radicular superficial.

Os resultados observados neste trabalho divergem da teoria de Pimentel (2004) para as mudas de juçara, esta espécie teve menor comprimento, área superficial e volume radicular menor do que as mudas de açaí, apesar do aumento da disponibilidade hídrica no substrato, todavia, não aumentaram sua produção de matéria seca radicular, independente da umidade do substrato, mostrando que as mudas de juçara são mais tolerantes ao estresse hídrico por falta de água e não necessitam de água em excesso para a conversão da biomassa vegetal da planta.

Por outro lado, as mudas de açaí buscaram investir mais no sistema radicular, devido às palmeiras possuírem o sistema radicular pouco eficiente relacionada à presença em grande proporção de raízes grossas, fibrosas e sem pelos absorventes tornando-as menos eficiente na absorção de nutrientes, quando comparadas às dicotiledôneas (Tomlinson, 1990), talvez essas características aloquem mais biomassa as raízes, o que é compensado no aumento da produção de raízes no substrato. De acordo com Magalhães Filho et al. (2008) a arquitetura radicular e sua capacidade de exploração das camadas mais profundas e úmidas do

solo, juntamente com a maior razão entre a raiz e parte aérea, são características importantes de escape aos déficits hídricos.

Apenas o conhecimento sobre a profundidade efetiva do sistema radicular não é suficiente para inferir as zonas de absorção de água e nutrientes, uma vez que a geometria de distribuição de água é de carácter multidimensional (Coelho et al., 2002). Além disso, cada palmeira possui um desenvolvimento radicular característico, como pode ser observado na Figura 4, sendo que as palmeiras de florestas tropicais úmidas têm raízes que emergem acima do solo e crescem extensivamente de dois a três metros ou mais no solo (Broschat e Meerow, 2000), e este comportamento de crescimento extensivo das raízes no substrato pode ser observado tanto nas mudas de açaí quando nas de juçara conforme a disponibilidade de água vai aumentando no substrato.

O sistema radicular vegetal está diretamente relacionado à captação de água e de nutrientes para o crescimento das plantas, sendo uma característica fundamental para o sucesso da implantação de pomares comerciais (Pimentel, 2004). Além disso, o conhecimento sobre a distribuição do sistema radicular, como a profundidade, volume, área superficial, longevidade e condutância hidráulica de qualquer cultura constitui uma ferramenta relevante para determinar a quantidade de água a ser aplicada no seu manejo da irrigação, principalmente para a agricultura tropical de baixo custo tecnológico (Coelho et al., 2002).

4.2. Composição mineral das plantas

Na Tabela 5 estão os resultados da análise de variâncias dos teores e conteúdos nutricionais das plantas. Houve efeito independente do fator espécie sobre todos os elementos nutricionais nas folhas, tanto no teor foliar quanto no conteúdo da planta. Quanto à umidade no substrato, houve efeito apenas nos teores de N e Ca, enquanto que o teor de K foi influenciado tanto pelas espécies quanto pela umidade no substrato, e nos conteúdos nutricionais, apenas para N, P, Ca, Mg, Mn, Zn e B, enquanto que para o K, o S e o Cu, houve interação entre os fatores espécie e umidade.

Observou-se a diferença de absorção dos nutrientes do substrato pelas espécies e a alocação desses nutrientes nas diferentes partes da planta. Os teores

dos nutrientes N, Ca, Mg, Zn e B foram maiores nas folhas de juçara quando comparados àqueles das folhas das mudas de açaí. Em contraste, o conteúdo de nutrientes nas mudas de açaí foi superior para todos os nutrientes estudados em relação ao conteúdo nutricional da juçara. Assim, conclui-se que extração de nutrientes do substrato pelas mudas de açaí é superior e, devido a isso tiveram os maiores acúmulos de biomassa, principalmente, na raiz quando comparadas às mudas de juçara.

Observa-se que o K, N, Ca e o Mn são os nutrientes mais exportados tanto pelas mudas de açaí quanto pelas mudas de juçara. A quantidade superior do conteúdo dos nutrientes das mudas de açaí refletiu na sua característica de crescimento bem como no acúmulo de matéria seca da planta, das folhas e da raiz, já que essa espécie manteve os teores foliares de K mesmo sob o aumento da disponibilidade hídrica (figura 6). Por sua vez, o conteúdo de nutrientes das mudas de juçara foi superior aos seus teores foliares, todavia, a absorção de K por esta espécie foi 1,75 vezes menor do que a absorção pelas mudas de açaí, e isto pode ter refletido nas características de desenvolvimento assim como no acúmulo de matéria seca por esta palmeira.

Tabela 5. Valores de probabilidade pelo teste F para as diversas fontes de variação (F.V.), e de coeficientes de variação (CV) obtidos na análise de variância do teor e conteúdo nutricional das plantas em relação aos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) extraídos das mudas de açaí e juçara sob estresse hídrico em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, 2017.

Teor nutricional foliar										
F.V	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)	Mn (mg g ⁻¹)	Cu (mg g ⁻¹)	B (mg g ⁻¹)	Zn (mg g ⁻¹)
----- Probabilidade -----										
Época	0,000	0,125	0,310	0,125	0,000	0,000	0,895	0,690	0,000	0,000
Espécie	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011
Umidade	0,010	0,125	0,162	0,004	0,822	0,180	0,010	0,580	0,002	0,330
Ep*Es	0,602	0,663	0,733	0,081	0,030	0,051	0,564	0,088	0,000	0,000
Ep*U	0,844	0,526	0,588	0,824	0,556	0,955	0,000	0,518	0,641	0,038
Es*U	0,785	0,340	0,001	0,211	0,590	0,140	0,001	0,310	0,047	0,065
Ep*Es*U	0,582	0,951	0,583	0,926	0,900	0,580	0,000	0,080	0,704	0,101
CV%	14,1	23,0	12,4	21,4	28,7	23,5	42,8	31,1	20,85	23,0

Conteúdo Nutricional										
	mg planta ⁻¹	µg planta ⁻¹	µg planta ⁻¹	µg planta ⁻¹	µg planta ⁻¹					
Época	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Espécie	0,015	0,000	0,000	0,288	0,027	0,000	0,000	0,000	0,039	0,000
Umidade	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,125	0,000	0,000	0,000
Ep*Es	0,568	0,070	0,024	0,933	0,545	0,131	0,096	0,052	0,617	0,886
Ep*U	0,045	0,125	0,055	0,007	0,009	0,024	0,067	0,022	0,032	0,100
Es*U	0,134	0,153	0,024	0,243	0,051	0,015	0,068	0,017	0,276	0,087
Ep*Es*U	0,792	0,690	0,317	0,716	0,386	0,261	0,066	0,153	0,384	0,355
CV%	36,5	55,0	38,6	38,2	37,5	43,5	55,0	53,4	38,57	41,4

Obs.: Ep*Es: interação época x espécie; Ep*U: interação época x umidade; Ep*U: interação espécie x umidade; Ep*Es*U: interação época x espécie x umidade.

Tabela 6. Teor foliar e conteúdo por planta de macronutrientes (mg g^{-1} e mg planta^{-1} , respectivamente) e micronutrientes ($\mu\text{g g}^{-1}$ e $\mu\text{g planta}^{-1}$, respectivamente) em mudas de açaí e juçara cultivadas em casa de vegetação sob estresse hídrico.

Espécies	N		P		K		Ca		Mg		S		Mn		Cu		Zn		B	
	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.	Teor	Cont.
Açaizeiro	17,45b	30,5a	1,18a	2,64a	20,01a	43,8a	4,86b	13,9a	1,12b	6,9a	2,10a	4,8a	495a	800,1a	7,03a	17,8a	23,93b	80,7a	24,4b	41,1a
Juçara	20,69a	24,3b	0,97b	1,42b	14,01b	25,1b	6,88a	12,6a	1,63a	2,1b	1,65b	2,9b	224b	339,3b	5,14b	7,1b	27,81a	49,9b	30,6a	33,6b
Média	19,07	27,4	1,07	2,03	17,03	34,5	5,88	13,2	1,37	4,52	1,87	3,83	360	596,72	6,08	12,46	25,87	65,41	27,5	37,55
CV%	14,1	36,4	23,1	54,9	12,48	38,6	21,4	38,1	28,8	37,59	23,5	43,48	42,9	55,01	31,1	53,41	23,0	41,42	20,8	38,57

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Verificaram-se teores mais baixos dos nutrientes N, P, Mg, S e B para ambas as espécies quando comparados com os resultados de Araújo et al. (2016), em que os autores estudaram o efeito da omissão de nutrientes no crescimento e estado nutricional de mudas de açaí, e observaram os seguintes níveis de macro e micronutrientes nas folhas no tratamento completo e com calagem: 24,1 g kg⁻¹ – N; 1,2 g kg⁻¹ – P; 14,5 g kg⁻¹ – K; 2,61 g kg⁻¹ – Ca; 2,2 g kg⁻¹ – Mg; 7,4 g kg⁻¹ – S; 7,2 mg g⁻¹ – Cu; 93,2 mg g⁻¹ – Zn; 99,9 mg g⁻¹ – Mn; 54,5 mg g⁻¹ – B. Inferindo-se que a variabilidade na disponibilidade hídrica no substrato pode ter interferido na absorção dos nutrientes por fluxo de massa e na translocação dos nutrientes para as folhas, pois a água é um condutor de nutrientes essenciais ao crescimento das plantas. Confere-se que os teores dos nutrientes aumentam conforme o aumento da disponibilidade de água, como observado na Figura 6.

Os valores do conteúdo nutricional das folhas das mudas de açaí e juçara estão próximos ao de Chu (1999) que, estudando os efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em mudas de açaí, e verificou que, os valores do conteúdo de nutrientes na matéria seca da parte aérea das mudas após a inoculação com fungo micorrízico, foram para o tratamento controle, respectivamente: N (44,40 mg pl⁻¹); P (1,29 mg pl⁻¹); K (34,21 mg pl⁻¹); Ca (10,73 mg pl⁻¹); Mg (5,68 mg pl⁻¹); Zn (0,10 mg pl⁻¹)

Observou-se que as mudas de açaí e juçara tiveram comportamento semelhante em relação à umidade no substrato para os nutrientes N, P e Ca, em que os teores foliares de N, Ca obtiveram um comportamento linear, sendo que as umidades de 33 e 67% da CAD reduziram os teores de N orgânico em 10,80 e 5,39%, e os decréscimos para os teores de Ca foram de 35,77 e 6%, respectivamente, quando comparados à umidade de 100% da CAD (Figura 5A e Figura 5B). Por outro lado, o teor de P não alterou conforme a disponibilidade hídrica aumentava no substrato, deduz-se que a variação na umidade do substrato não alterou as rotas de difusão para este nutriente (Figura 5C).

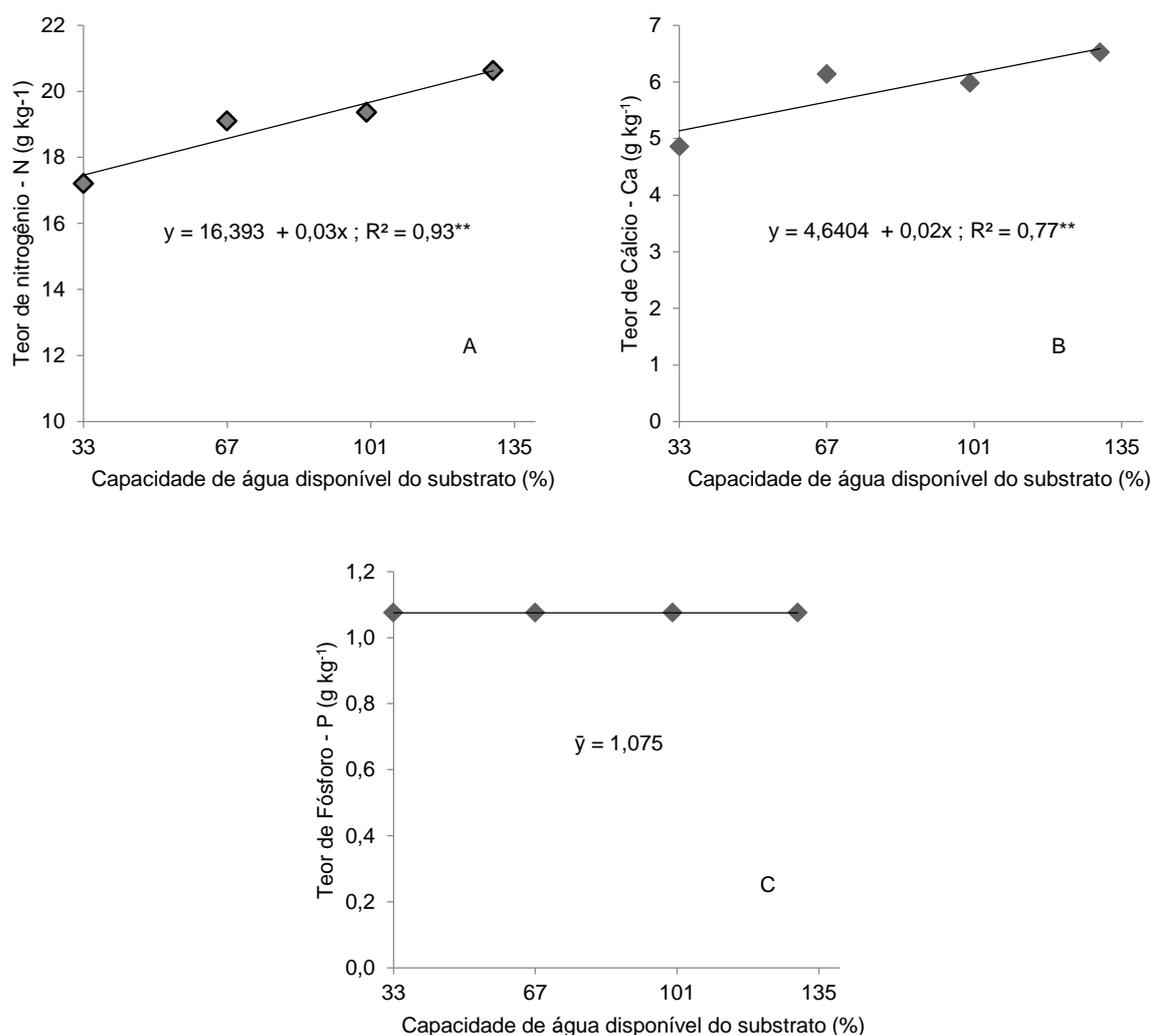


Figura 5. Teores foliares de nitrogênio orgânico [A], cálcio [B] e fósforo [C] de mudas de açaí e juçara (média das duas espécies e de dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos) em função da capacidade de água disponível no substrato, em casa de vegetação.

A água liberada nas camadas mais rasas do solo sustenta as raízes finas e os microrganismos associados e, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo e a aquisição de nutrientes pela planta. Condições estressantes da rizosfera alteram rapidamente o balanço de nutrientes nas raízes (Epstein e Bloom, 2004), isto pode estar relacionado à menor absorção de nutrientes nos tratamentos de déficit hídrico (Figura 5).

Em relação à disponibilidade hídrica, resultados semelhantes foram encontrados por Valicheski et al. (2011), nos quais os autores estudaram o estado

nutricional do coqueiro anão-verde cultivados em dois tipos de solo submetidos a diferentes níveis de compactação e umidade e verificaram um incremento linear no teor de nitrogênio com o aumento da umidade no solo do tipo Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico. Enquanto que, no solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico gleico, os teores nas folhas do coqueiro não foram influenciados pela umidade do solo, obtendo-se um teor médio de $22,5 \text{ g kg}^{-1}$.

Esta disponibilidade inferior de nitrogênio dos tratamentos de déficit hídrico pode estar relacionada ao fato de que a redução da umidade leva a uma redução expressiva na condutividade hidráulica, e na absorção de água pelas plantas o que, conseqüentemente, reduziria o fluxo de massa de N até as raízes (Bernades, 2005; Peçanha, 2007).

Leão et al. (2011) justificam o aumento dos teores foliares de Ca relatados neste trabalho em função do aumento da disponibilidade hídrica, ao discorrerem que a escassez de água no solo restringe e/ou impede a absorção de nutrientes pelas plantas, uma vez que a água atua como uma espécie de “veículo”, através do qual os íons se mobilizam da solução do solo para o sistema radicular, especialmente quando este “deslocamento” se procede por fluxo de massa e/ou por difusão. De tal forma que, para os autores, a ausência de níveis adequados de água no solo induz, quase que obrigatoriamente, à deficiência de nutrientes.

Quanto ao K, os teores nas folhas das mudas de açaí não foram influenciados significativamente pela umidade do solo, obtendo-se valores em média de 20 g kg^{-1} , enquanto que nas mudas de juçara os teores de K obtiveram um comportamento linear decrescente (Figura 6), sendo que a maior umidade de 133% da CAD promoveu um decréscimo de 15,78% na concentração de K.

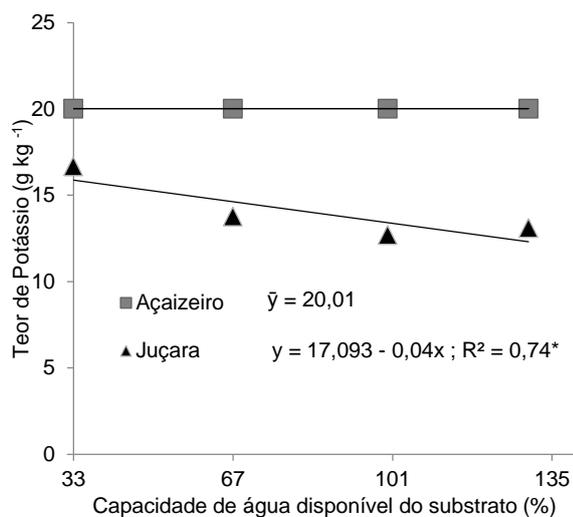


Figura 6. Teores de potássio de mudas de açai e juçara (média de dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos) em função da capacidade de água disponível no substrato, em casa de vegetação.

O teor de K encontrado nas folhas das mudas de açai é cinco vezes superior ao obtido por Viégas et al (2009), em que teor foliar de K obtido no tratamento completo por estes autores foi em de $3,52 \text{ g kg}^{-1}$, no entanto, os teores nas folhas das mudas de açai foram semelhantes aos valores obtidos por Haag et al (1992), onde a determinação dos teores de K nas folhas, usando uma solução nutritiva com um substrato de sílica, foi em média $19,6 \text{ g kg}^{-1}$, por conseguinte, o teor das folhas das mudas de juçara foi quatro vezes superior ao de Viégas et al (2009) e 1,18 vezes inferior ao de Haag et al (1992).

Deduz-se que o estresse hídrico por excesso de água interferiu na absorção de K pela rota de difusão das raízes das mudas de juçara, ressaltando que os parâmetros morfológicos das raízes foram baixos em relação à outra espécie. Por essa razão, deduz-se que a quantidade excessiva de água no substrato possa ter dificultado a absorção de K, e ter levado à lixiviação deste nutriente fazendo-se depositar no fundo do recipiente, sendo assim sua absorção é dificultada nas camadas mais profundas do recipiente.

Viégas et al. (2004), estudando a nutrição de plantas de açaizeiro sob cultivo em Latossolo Amarelo de textura média, com o intuito de identificar os

nutrientes mais limitantes ao desenvolvimento dessa palmeira, relata que os nutrientes que limitam o crescimento dessa palmeira são o N, P, K, Mg e o Mn.

O potássio é o segundo macronutriente mais importante para as palmeiras, após o nitrogênio, pois este nutriente possui papel dominante na provisão da turgescência e na homeostase da água, é evidente em processos como no transporte de solutos sob pressão no xilema e floema, altos níveis de concentração vacuolar de K e grandes fluxos de K que medeiam o movimento de água na planta, isto inclui alterações na abertura estomática por meio da absorção e liberação do K disponível, portanto afeta grandemente a homeostase da água nas plantas (Maathuis, 2009).

Os modelos matemáticos das equações respostas dos conteúdos dos nutrientes das mudas de açaí e juçara descrevem o comportamento das variáveis em questão e os níveis de umidade de solo (Tabela 8).

Os conteúdos de N nas plantas tiveram um comportamento quadrático, observa-se uma relação positiva com o aumento da umidade no solo e a absorção desse nutriente pelas plantas, sendo que as umidades de 33 e 67% da CAD reduziram o conteúdo de nitrogênio orgânico em 58,0 e 2,0% em relação à umidade de 100 da CAD, enquanto que o fornecimento de água de 133% da CAD promoveu acréscimos de 10,0% no conteúdo de N orgânico. Sendo, o máximo conteúdo de nitrogênio observado na umidade estimada de 122% da CAD (Tabela 8).

Essa redução no conteúdo de N nas menores umidades afetou consideravelmente a taxa de crescimento das mudas de açaí, e principalmente, das mudas de juçara, pois a taxa de conversão de biomassa vegetal foi menor.

Os coeficientes de determinação obtidos pela regressão linear para os conteúdos de P, Ca, Mg, Zn e B foram respectivamente, 0,93; 0,93; 0,91; 0,92 e 0,91. Isto quer dizer que a maior absorção destes nutrientes é dependente do aumento da umidade no substrato. A respeito dos conteúdos de K, S e Cu, observa-se o efeito linear para mudas de açaí, inferindo-se que é necessário haver maior concentração de água para facilitar a absorção de nutrientes na zona radicular dessa palmeira. Em relação as mudas de juçara, o conteúdo K, S e Cu não alteraram-se conforme o aumento da umidade no substrato, sendo em média 25,14 mg planta⁻¹; 2,92 mg planta⁻¹; 7,14 µg planta⁻¹, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 7. Regressão polinomial para conteúdo de macronutrientes (mg planta^{-1}) e micronutrientes ($\mu\text{g planta}^{-1}$) na matéria seca total de mudas de açaí e juçara em função da capacidade de água disponível no substrato, cultivadas em casa de vegetação, Campos dos Goytacazes-RJ.

Nutrientes	Espécie	Regressão polinomial para umidade	R ²
N	Média	$Y = - 1,462 + 0,581x - 0,002x^2$	0,97*
P	Média	$Y = 0,823 + 0,015x$	0,93**
K	Açaizeiro	$Y = 13,39 + 0,366x$	0,90**
	Juçara	$Y = 25,14$	-
Ca	Média	$Y = 4,884 + 0,101x$	0,93**
Mg	Média	$Y = 1,901 + 0,032x$	0,91**
S	Açaizeiro	$Y = 0,755 + 0,050x$	0,95**
	Juçara	$Y = 2,92$	-
Mn	Média	$Y = 596,72$	-
Cu	Açaizeiro	$Y = - 13,388 + 0,732x - 0,004x^2$	0,87**
	Juçara	$Y = 7,14$	-
Zn	Média	$Y = 25,681 + 0,476x$	0,92**
B	Média	$Y = 14,715 + 0,272x$	0,91**

** e * = significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

4.3. Aspectos fisiológicos das Plantas

Houve interação entre os efeitos da espécie e da umidade no substrato para o índice de clorofila nas folhas, a taxa de assimilação de CO_2 , a condutância estomática e a transpiração. A eficiência instantânea no uso da água foi influenciada pelo período de estresse e a umidade no substrato, enquanto que o F_v/F_m sofreu o efeito somente da umidade no substrato (Tabela 8).

O índice de clorofila nas folhas das mudas de juçara não variou conforme o aumento da umidade no substrato apresentando em média 23,53 unidades Spad, ou seja, manteve o conteúdo de clorofila na folha mesmo nas plantas que estavam sob déficit hídrico. Ao mesmo tempo, as mudas de açaí tiveram um efeito quadrático, sendo que as umidades 33 e 67% da CAD reduziram o índice de clorofila em 27,90

e 10,27%, em relação às umidades de 100% da CAD, sendo que o ponto máximo do conteúdo de clorofilas (39,08 unidades Spad) foi atingido na umidade estimada de 127% da CAD (Figura 7A).

Tabela 8. Valores de probabilidade pelo teste F para as diversas fontes de variação (F.V.), e de coeficientes de variação (CV) obtidos na análise de variância dos parâmetros fisiológicos Índice de clorofila na folha (Spad), rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm), índice Fotossintético (PI), taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (A/E) de mudas de açaí e juçara cultivadas em casa de vegetação sob estresse hídrico

F.V	Spad	Fv/Fm	A ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	gs ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	E ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	A/E
-----Probabilidade-----						
Época	0,276	0,556	0,013	0,004	0,000	0,000
Espécie	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163
Umidade	0,018	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000
Ep*Es	0,011	0,844	0,50	0,814	0,250	0,070
Ep*U	0,600	0,333	0,040	0,270	0,610	0,040
Es*U	0,037	0,274	0,001	0,004	0,021	0,896
Ep*Es*U	0,621	0,651	0,700	0,890	0,954	0,226
CV%	19,20	9,86	31,81	38,67	33,57	26,69

Obs.: Ep*Es: interação época x espécie; Ep*U: interação época x umidade; Ep*U: interação espécie x umidade; Ep*Es*U: interação época x espécie x umidade.

Batagin (2008), trabalhando com análise anátomo-fisiológicas de folhas de pupunheiras cultivadas *in vitro*, associou os valores Spad com o teor de clorofila na folha e encontrou uma correlação positiva entre essas variáveis. Esta autora observou aumento gradual em unidades Spad nas microplantas, sendo encontrados valores de 38 a 40 unidades Spads. Resultados semelhantes aos de Batagin (2008) sobre o índice de clorofila nas folhas observados neste trabalho só foi obtido nas mudas de açaí quando cultivadas sob umidade de 133% da CAD, tendo em média 39,03 unidades Spads.

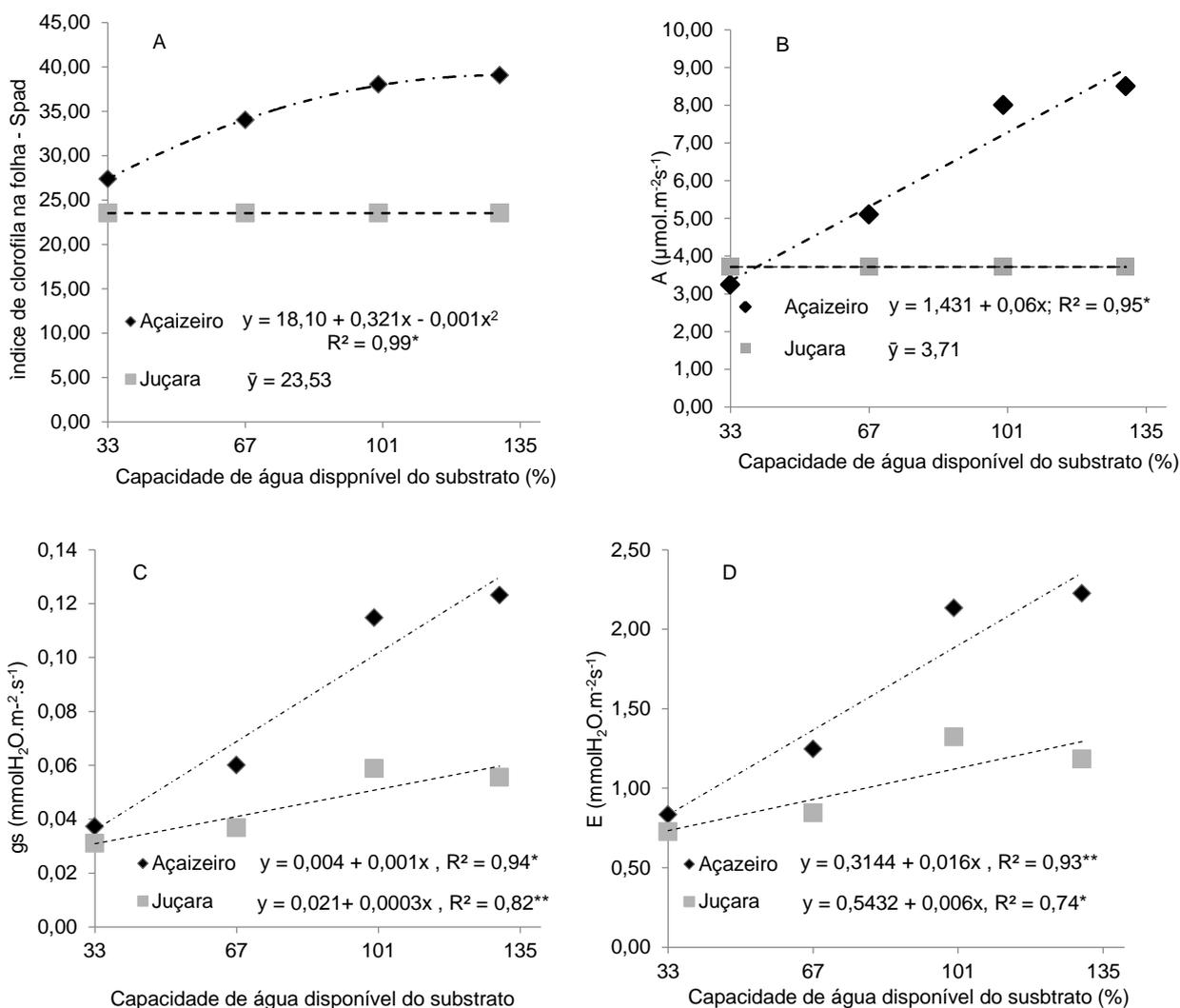


Figura 7. Leitura Spad [A], taxa de assimilação de CO₂ (A) [B], condutância estomática (gs) [C], Transpiração (E) [D] de mudas de açai e juçara (média de dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos) em função da capacidade de água disponível no substrato, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes.

A taxa de assimilação de CO₂, a condutância estomática e a transpiração obtiveram um efeito linear para as mudas de açai, isto é, a umidade de 33% da CAD reduziu a taxa de carboxilação, devido ao fechamento estomático que é provocado pela diminuição do potencial hídrico da planta, quando comparado à umidade de 133% da CAD, considerando-se essa faixa de umidade severa para o cultivo destas mudas. As mudas de juçara tiveram um comportamento semelhante ao das mudas

de açaí somente para a condutância estomática e transpiração. Porém, para a taxa de assimilação de CO₂, as mudas de juçara mantiveram a mesma taxa de carboxilação para o processo fotossintético mesmo nas umidades de déficit hídrico, isto é, mantiveram em média 3,70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂ (Figuras 7 B, 7C e 7D).

O fechamento estomático é a primeira linha de defesa das plantas para enfrentar a deficiência hídrica no solo, pois esse mecanismo restringe a perda de água por meio da transpiração. Entretanto, a condutância estomática baixa promove o aumento na resistência da entrada de CO₂ nas folhas diminuindo a taxa fotossintética das plantas (Turner, 1975). Inferir-se, que as plantas de juçara foram mais eficientes em capturar o CO₂ atmosférico mesmo com os estômatos mais fechados promovendo certa resistência a entrada de CO₂ e ao mesmo tempo sem perder muita água pelo processo transpiratório.

A queda na assimilação de CO₂ refletiu-se no acúmulo de biomassa seca das plantas, principalmente das mudas de açaí na umidade de 33% da CAD, uma vez que, o substrato orgânico utilizado para o crescimento das plantas é proveniente do processo fotossintético (Magalhães filho et al., 2008), e essas mudas se mostraram menos eficientes na absorção de CO₂ atmosférico sob déficit hídrico quando comparadas às mudas de juçara.

Larcher (2000) cita que a capacidade fotossintética de palmeiras varia em torno de 4 a 8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que confirma que o nível mais baixo de umidade no substrato deste trabalho afetou consideravelmente a taxa de assimilação de CO₂ nas mudas de açaí, tendo em média 3,24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na umidade de 33% da CAD, considerando-se essa umidade de severa restrição para o cultivo das mudas dessa palmeira.

Silvestre et al. (2016) relatam que os regimes hídricos de 40 e 70% da capacidade de campo causaram perdas severas do potencial hídrico foliar, da taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática e transpiração em mudas de açaí aos 45 e 90 dias de cultivo. E em outra pesquisa, Silvestre et al. (2017), estudando a tolerância de dois materiais de açazeiro sob deficiência hídrica, relatam que aos 45 dias de indução dos regimes hídricos de 70 e 40% da capacidade de campo, estes regimes causaram perdas de 47 e 49% no potencial hídrico foliar, 18 e 46% na condutância estomática e 13 e 30% na transpiração. Esses dados corroboram com

os resultados observados neste trabalho, em que as mudas de açaí são sensíveis a estresse hídrico por falta de água.

Calbo e Moraes (2000), estudando os efeitos da deficiência hídrica sobre mudas de açaí, relataram que a taxa de fotossíntese foi reduzida à metade dos valores de fotossíntese máxima após 35 dias sem irrigação e atingiu zero aos 61 dias sob potencial hídrico em torno de -2,5 MPa. E o fechamento estomático ocorreu no 53º dia, quando o potencial hídrico era -2,4 MPa. Estes autores inferiram que as plantas de açaizeiro possuem mecanismos para tolerar um estresse hídrico moderado. Relacionando-se a tolerância ao déficit hídrico, as mudas de açaí podem tolerar déficits hídricos moderados, como na umidade na faixa de 67% da CAD, pois essa umidade teve uma taxa de assimilação de CO₂ dentro da faixa do ideal de acordo com Larcher (2000), obtendo-se em média 5,10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, desta forma permitindo seu cultivo nessa faixa de umidade.

Oliveira et al. (2017) avaliaram as respostas de plantas de juçara em diferentes estádios de desenvolvimento (plantas com dois anos e quatro anos de idade) ao déficit hídrico, e verificaram que as plantas com quatro anos tiveram fechamento estomático mais rapidamente do que as plantas de dois anos, porém quando as plantas foram submetidas novamente ao déficit hídrico, as de quatro anos tiveram valores de condutância estomática 5 vezes superiores aos das plantas de dois anos, sendo assim, concluíram que as mudas mais velhas são mais tolerantes a ciclos recorrentes de déficit hídricos do que mudas mais novas. Por sua vez, os dados relatados neste trabalho observam a tolerância das plantas de juçara na fase de mudas com idade de seis meses.

Para a eficiência instantânea no uso da água, o período de estresse de 30 dias teve um comportamento linear, o que implica dizer que o ganho de carbono nas menores umidades não foi totalmente o fator limitante, pois a umidade mais severa de 33% da CAD teve as maiores médias em relação ao uso eficiente da água, as plantas tiveram que balancear o ganho de carbono sem que houvesse perda de água e nem o comprometimento das suas funções metabólicas (Figura 8A). Segundo Chaves et al. (2004), as plantas que reduzem a abertura dos estômatos em situação de déficit hídrico são mais conservativas no uso da água.

Em relação ao período de 60 dias de estresse, a eficiência instantânea no uso da água na umidade de 33% da CAD decresceu ao ponto de se igualar às

outras unidades (Figura 8A), inferindo-se uma redução de 48% no ganho de carbono, e que estresses prolongados por 30 dias causam maior resistência à entrada de CO₂ pelo fechamento estomático, interferindo-se no ganho de biomassa vegetal.

Resultados diferentes dos observados neste trabalho foram encontrados por Silvestre et al. (2016), que relataram que as plantas de açaí submetidas ao regime hídrico de 130% da capacidade de campo aumentaram a eficiência instantânea do uso da água quando comparadas às plantas submetidas a 100% da capacidade de campo.

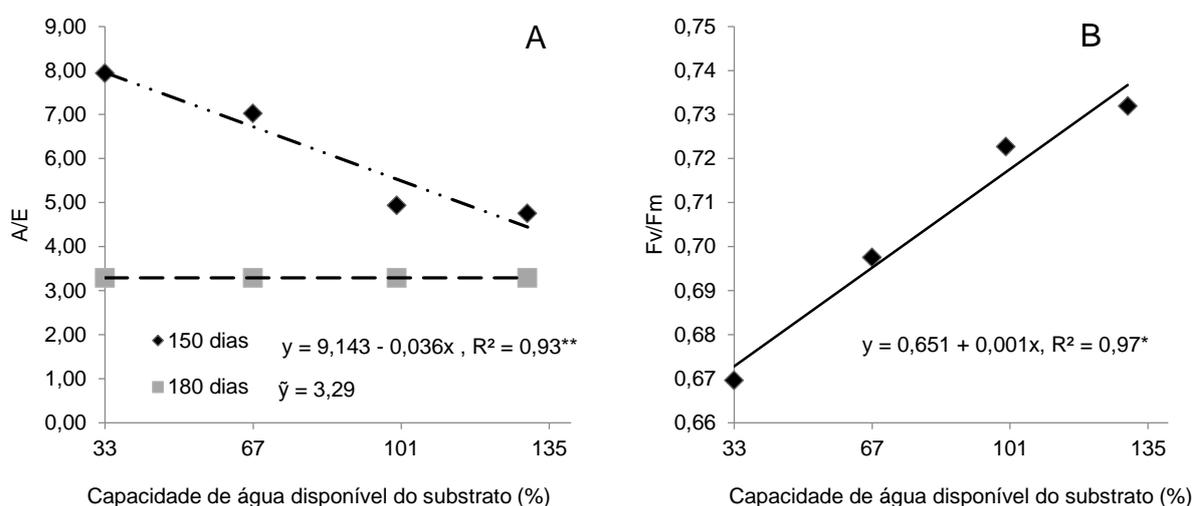


Figura 8. Eficiência instantânea do uso da água (A/E) (média das duas espécies) [A], Eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) (média das duas espécies e de dois períodos de aplicação dos tratamentos hídricos) [B] de mudas de açaí e juçara em função da capacidade de água disponível no substrato, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes.

Observou-se um comportamento linear para F_v/F_m , em função da maior disponibilidade de água, significativas reduções foram observadas nas unidades de 33 e 67% da CAD, onde a máxima eficiência de absorção de luz foi afetada consideravelmente pela falta de água no substrato, sendo que o F_v/F_m apresentou média de 0,67 e 0,69, com decréscimos de 5,92 e 2,96%, respectivamente, na máxima absorção de luz, sendo que o nível ótimo de funcionamento do fotossistema II está em torno de 0,75 ou 0,85 (Figura 8B). Confirmam-se os decréscimos na taxa

de assimilação de CO₂ nas umidades de 33% da CAD pelas mudas de açaí, já que as mudas de juçara não afetaram seu aparato fotossintético mesmo sob baixa disponibilidade hídrica

A fluorescência da clorofila (F_v/F_m) é uma luz emitida pela molécula de clorofila, pela qual pode-se inferir a máxima eficiência de absorção de luz pelo fotossistema II (PSII). A relação F_v/F_m tem 75 ou 85% de probabilidade para acontecer, teoricamente, essa porcentagem é o nível ótimo do funcionamento do PSII, o que quer dizer que 75 ou 85% da energia produzida no PSII está sendo reduzida a quinona A (Lawlor e Cornic, 2002).

Plantas que estão sob déficit hídrico podem sofrer o processo de fotoinibição, este processo inibe o funcionamento do sistema fotoquímico da planta, principalmente o fotossistema II, pelo excesso de energia luminosa. E esse processo forma espécies reativas de oxigênio (ERO's), que degradam a estruturação de membranas, principalmente as dos cloroplastos, o que prejudica a composição da clorofila (Taiz e Zeiger, 2009). Isto pode estar relacionado aos conteúdos baixos de clorofila pelas mudas de açaí na umidade de 33% da CAD, devido o excesso de energia luminosa, o que causa a degradação da clorofila por meio dos raios UV e/ou infravermelho, os quais degradam os pigmentos de cor verde.

A redução do suprimento de água para mudas de *Euterpe* provoca redução no crescimento da parte aérea e do sistema radicular, com maiores danos para as mudas de açaí. Porém, as mudas de açaí tiveram, no período avaliado, maiores crescimento tanto da parte aérea quanto da raiz quando comparadas as mudas de juçara.

Considera-se ainda que, as mudas de juçara foram mais tolerantes ao estresse hídrico por falta de água, pois mantiveram a taxa de carboxilação, mesmo com os estômatos mais fechados e sem perder muita água pelo processo transpiratório, mantendo a sua taxa de crescimento em ambiente de casa de vegetação. Sendo mais eficientes no uso da água, pois a sua absorção de água e nutrientes não afetaram a conversão em matéria seca da planta. Por sua vez, as mudas de açaí são mais sensíveis à restrição de água, tendo o seu crescimento comprometido em umidades menores que 67% da CAD, pois necessita de maior concentração de água para manter suas atividades fisiológicas e facilitar a sua absorção de nutrientes na zona radicular.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados, em relação ao desenvolvimento da parte aérea das mudas de açaí e juçara, pôde-se concluir que, a despeito do maior porte das mudas de açaí em relação à juçara, as duas espécies apresentam comportamentos similares quanto à biometria e ao acúmulo de matéria seca frente às variações da disponibilidade hídrica do substrato.

Quanto ao desenvolvimento radicular, embora mais pronunciado no açaizeiro que na juçara, pôde-se concluir que o açaizeiro foi mais sensível que a juçara frente às variações da disponibilidade hídrica do substrato, tanto no acúmulo de biomassa quanto nas variáveis indicativas de sua expansão.

São possíveis as seguintes conclusões, em conformidade com os resultados relatados ao longo do trabalho:

- O crescimento vegetativo e a distribuição radicular das plantas de açaí e juçara são afetados com a redução da capacidade de água no substrato de cultivo, sendo o efeito negativo mais acentuado em mudas de açaí.
- O estresse hídrico tanto por déficit quanto por excesso de água afeta o teor foliar e o conteúdo nutricional das mudas de juçara.

- O estresse hídrico por déficit de água afeta o teor nutricional das folhas das mudas de açaí, no entanto, não afetou o conteúdo nutricional das mudas.
- A extração de nutrientes em ordem decrescente das mudas de açaizeiro cultivadas sob estresse hídrico em casa de vegetação foi: K>N>Ca>Mg>S>P>Mn>Zn>B>Cu. Pelas mudas de juçara seguiu semelhantemente em ordem decrescente: K>N>Ca>S>Mg>P>Mn>Zn>B>Cu.
- A redução de umidade no substrato provoca mudanças nos valores de características fisiológicas das mudas de açaí e de juçara, no entanto, os resultados obtidos indicam que a juçara apresenta maior tolerância ao estresse por falta de água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, L.F. (1994). *Competição interespecífica e padrão espacial em uma população de Euterpe edulis Mart. (Arecaceae)*. 67f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- Aguiar, F.F.A., Schaefer, S.M., Lopes, E.A., Toledo, C.B. (2002). *Produção de mudas de palmito-juçara Euterpe edulis Mart.* São Paulo: Instituto de Botânica, 16p.: il_(Folheto 26).
- Bacellar, A.A., Souza, R.C., Xavier, D.J. (2006). Geração de renda na cadeia produtiva do açaí em projeto de abastecimento de energia elétrica em comunidades isoladas no município de Manacapuru-Am. In: *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006*, Campinas-SP. [Online]
- Bartels, D., Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in plant sciences*, v. 24, n.1, p. 23-58. DOI: 10.1080/07352680590910410
- Batagin, K.D. (2008). *Análises anátomo-fisiológicas de folhas de pupunheiras cultivadas in vitro, ex vitro e in vivo visando otimizar o protocolo de aclimatização*. 107f. [Dissertação de Mestrado], Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- Bovi, M.L.A., Godoy Júnior, G., Saés, L.A. (1987). Pesquisas com os gêneros *Euterpe* e *Bactris* no Instituto Agronômico de Campinas. *O’agronômico* (Brasil), v. 39, n. 2, p. 129-174.
- Bovi, M.L.A. (1998). Palmito Pupunha: informações básicas para cultivo. Campinas, IAC, Boletim Técnico IAC, 173: 2-50 p.
- Bovi, M.L.A., Godoy Júnior, G., Spiering, S.H. (2002). Respostas de crescimento da pupunheira à adubação NPK. *Scientia Agricola*, v.59, n.1, p.161-166.

- Brasil. (2008). *Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção*. Diário Oficial da União de 23 de setembro de 2008, (Seção 1) 185, p.75-83. (Instrução Normativa Nº 6).
- Broschat, T.K., Meerow, A.W. (2000). *Ornamental Palm Horticulture*. University Press of Florida, 255p. ISBN 0-8130-1804-8.
- Calbo, M.E.R., Moraes, J.A.P.V. de. (2000). Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.23, n.3, p.225-230.
- Calzavara, B.B.G. (1972). *As possibilidades do açazeiro no estuário amazônico*. Belém: FCAP. 103p. 1972. (Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 5).
- Campos, C., Alves, R., Braga, H. (2006). Mudanças climáticas atuais e seus impactos no Estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, v. 19, n. 3, p. 31-35.
- Cavalcante, P. (2010). *Frutas comestíveis da Amazônia*. Belém: CEJUP. 7º ed. 282p.
- Carvalho, C.J.R., Rombold, J., Nepstad, D.C., Sá, T.D.A. (1998). Relações hídricas do açazeiro em mata de várzea do estuário do Amazonas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.10, n.3, p.213-218.
- Carvalho, A.V. de; Alves, B.J.R.; Reis, V.M. (2006) Resposta do dendezeiro à adição de nitrogênio e sua influência na população de bactérias diazotróficas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, n.2, p. 293-300.
- Carvalho, P.E. (1993). *Silvicultura de espécies nativas do Brasil*. Curitiba: Embrapa. 705p.
- Cembraneli, F., Fisch, S.T.V., Carvalho, C.P. (2009). Exploração sustentável da palmeira *Euterpe edulis* Mart. no bioma Mata Atlântica, Vale do Paraíba, SP. *Revista Ceres*, v.56, n.3, p.233-240.
- Chaves, J.H., Reis, G.G., Reis, M.G.F., Neves, J.C.L., Pezzopane, J.E.M., Polli, H.Q. (2004). Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. *Revista Árvore*, v.28, n.3, p.333-341.
- Chu, E.Y. (1999). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on *Euterpe oleracea* Mart. (açai) seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.6, p.1018-1024.
- Conceição, G., Vianna, L.F.N., Bacic, I., Kobiyama, M., Belli Filho, P. (2013). Análise espacial do balanço hídrico no meio rural de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.4, p.89-100.

- Conceição, H.E.O. da, Monteiro, A.L.C., Frazão, D.A.C., Viégas, I. de J.M., Ripardov, A. K. da S. (2004). Efeito de déficit hídrico no desenvolvimento de progênies de açazeiro. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Florianópolis – SC. *Anais...* p. 1- 5.
- Coelho, E.F., Oliveira, F. das C., Araújo, E.C.E., Vasconcelos, L.F.L. (2002) Distribuição de raízes de laranja 'Pêra' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.5, p.603-611.
- Coelho, E.F., Coelho Filho, M.A., Oliveira, S.D. (2005). Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. *Bahia Agrícola*, v.7, n.1, p.57-60.
- Coelho Filho, M.A., Bassoi, L.H., Angelocci, L.R., Coelho, E.F., Pereira, F.A. de C. (2011). Relação solo-planta-atmosfera. In: Sousa, V. F. de, Marouelli, W. A., Coelho, E. F., Pinto, J. M., Coelho Filho, M. A. (Ed.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.27-90.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Conjuntura mensal - açaí (fruto). Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_10_24_14_12_45_conj_acai_setembro_-2016-_reconf.pdf Acesso em: 16 de Dezembro de 2016.
- Costa, E.A.D. da, Corbellini, L.M., Reis, C.S., Santos, A.S. dos, Cheraulti, V.J., Silva, M.B.M. (2006). Produção de polpa e sementes dos frutos de *Euterpe edulis* - uma alternativa de geração de renda e uso sustentável da mata atlântica. *O Biológico*, n.68, suplemento 2, p.13-16.
- Costa, E.A.D., Gonçalves, C., Moreira, S.R., Corbellini, L.M. (2008). Produção de polpa e sementes de palmeira juçara: alternativa de renda para a mata atlântica. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, p. 61-66.
- Cravo, M.S., Viégas, I.J.M., Brasil, E.C. (2010) Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. 1º ed. *Revista Atual*. Belém-Pa, Embrapa Amazônia Oriental, 262p.
- Christofidis, D. (2002). Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55.
- Cronquist, A. (1981) *An integrated system of classification of flowering plants*. New York:Columbia University Press, 1262p
- Embrapa (1997). Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 212p.
- Epstein, E., Bloom, A. (2004) Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectiva. Londrina: Editora Planta, ISBN 85-99144-03-0. 416p.

- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A. (2010). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*, 3^o ed, CRC Press, Taylor & Francis Group, 551p.
- Fantini, A.C., Nodari, R.O., Reis, M.S., Mantovani, A., Odorizzi, J., Ribeiro, R.J. (1997). Estimativa da produção de palmito em plantas de palmito (*Euterpe edulis* Martius) a partir de características fenotípicas. *Revista Árvore*, v.21, n.1, p.49-57.
- Fantini, A.C., Guries, R.P. (2007). Forest structure and productivity of palmito (*Euterpe edulis* Martius) in the Brazilian Mata Atlântica. *Forest Ecology and Management*, v.242, n.2, p.185-194.
- Farias Neto, J.T., Oliveira, M.S.P., Muller, A.A., Nogueira, O.L., Anaissi, D.F.S.P. (2005). Variabilidade genética em progênies jovens de açaizeiro. *Cerne*, Lavras, v.11, n.4, p.336-341
- Gomes, M.A.F., Filizola, H.F. (2006). *Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.6.
- Guerra, M.P., Nodari, R. O., Reis, A. (1984) Considerações sobre o palmito no sul do Brasil. *INSULA Revista de Botânica*, v. 14, p. 171-180.
- Guimarães, L.A.O.P., Souza, R.G. (2017). *Palmeira juçara: patrimônio natural da Mata Atlântica no Espírito Santo*. 1ed. Vitória-ES: Incaper, 68p. ISBN 978-85-89274-27-2
- Homma, A.K.O., Nogueira, O.L., Menezes, A.J.E.A., Carvalho, J.E.U. de, Nicoli, C.M.L., Matos, G.B. de, (2006). Açaí: Novos desafios e tendências. Belém. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*. v.1, n. 2, p. 7-23.
- Haag, H.P., Silva Filho, N.D., Carmello, Q.D.C. (1992). Carência de macronutrientes e de boro em plantas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). In Congresso Nacional Sobre Essências Nativas, São Paulo. *Anais*. v. 1, p. 477-479.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=2&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>> Acesso em 23 de nov. de 2015 às 17h7min.
- Jackson, M.L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2007). Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 60, n. 1, p. 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.06.006>

- Jaleel, C.A., Sankar, B., Murali, P.V., Gomathinayagam, M., Lakshmanan, G. M. A., Panneerselvam, R. (2008). Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus*; impacts on ajmalicine accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v.62, n.1, p.105-111. <https://doi:10.1016/j.colsurfb.2007.09.026>
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2009). Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *International Journal Agricultural and Biology*, v. 11, p. 100-105.
- Ladjal, M., Epron, D., Ducrey, M. (2000). Effects of drought preconditioning on thermotolerance of photosystem II and susceptibility of photosynthesis to heat stress in cedar seedlings. *Tree physiology*, v. 20, n. 18, p. 1235-1241. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.18.1235>
- Lambers, H., Chapin III, F.S., Pons, T.L. (2008). *Plant physiological ecology*. Springer Science, New York, 2° ed., p.163 - 223
- Leandro, R.C.; Yuyama, K.; Coelho, E.C.S. (2004) Produção de palmito de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) submetidas a diferentes espaçamentos e formas de adubação mineral e orgânica na Amazônia Central. *Científica*, Jaboticabal, v.42, n.3, p.252–257
- Leandro, R.C., Yuyama, K., Coelho, E.C.S., Menezes, J.M.T., Feitosa, I.L. (2014) Estimativa de altura, diâmetro e número de folhas em pupunheiras para palmito, submetidas a diferentes espaçamentos e níveis de adubação, na Amazônia. *Revista SODEBRAS*, v.9, n.10, p. 34-39.
- Leão, D.A.S., Freire, A.L.O., Miranda, J.R.P. (2011). Estado nutricional de sorgo cultivado sob estresse hídrico e adubação fosfatada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.1, p.74–79.
- Jones, H.G., Tardieu, F. (1998). Modelling water relations of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, v.74, p.21–46.
- Larcher, W., Prado, C.H.B. de A. (2000). *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos. São Paulo, Brasil. Editora Rima Artes e Textos. EPU. p. 531
- Lawlor, D.W., Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, v.25, n.2, p. 275-294.
- Libardi, P.L. (2010) Água no solo. In: *Física do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, Editora Quirijn de Jong Van Lier, 298 p.

- Mac Fadden, J. (2005). *A Produção de açaí a partir do processamento dos frutos do palmito (Euterpe edulis Martius) na Mata Atlântica*. 100f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- Magalhaes Filho, J.R., Amaral, L.D., Machado, D.F.S.P., Medina, C.L., Machado, E.C. (2008). Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, Campinas, v.67,n.1, p.75-82.
- Mar, C.C., Conceição, H.E.O., Santos, A.B.R., Viégas, I.J.M., Silva, F.S.N. (2013). Produção de massa seca e área foliar do açazeiro sob déficit hídrico. *Revista Agroecossistemas*, v.5, n.2, p.14-23.
- Marouelli, W.A. do, Oliveira, A.S. de, Coelho, E.F., Nogueira, L.C., Sousa, V.F. (2011) Manejo da água de irrigação In: SOUSA, V.F. de, Marouelli, W.A., Coelho, E.F., Pinto, J.M., Coelho Filho, M. A. *Irrigação e Fertirrigação em Fruteiras e Hortaliças*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.159-232.
- Marschner, P. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3ed.San Diego: Elsevier. 2012. 651p.
- Maathuis, F.J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current opinion in plant biology*, v.12, n.3, p.250-258.
- Martins-Corder, M.P., Saldanha, C.W. (2006). Germinação de sementes e crescimento de plântulas de diferentes progênies de *Euterpe edulis* Mart. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.693-699.
- Martorano, L.G., Bergamaschi, H., Dalmago, G. A., Faria, R. T. de, Mielniczuk, J., Comiran, F. (2009). Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. Campina Grande – PB, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.4, p.397–405.
- Menezes, E.M. da S., Torres, A.T., Srur, A.U.S. (2008). Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) liofilizada. *Revista Acta Amazônica*, v. 38, n. 2, p. 311-316.
- Miro, J.S.L. *Metodologia para a elaboração do zoneamento das áreas sujeitas à inundação na baixada campista/Norte Fluminense*. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ, 2009.
- Moreira, S.L.S., Prates Júnior, P., Fernandes, R.B.A., Cunha, A.C.M.M., Campos, A.N.D.R. (2016). Growth and nutrients uptake in *Euterpe edulis* Martius inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.46, n.2, p.169-176.

- Neves, E.J.M. (1999). *Biomassa e acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos de Ceiba petandra (L.) Gaertn e Virola surinamensis (ROL.) Warb plantadas na Amazônia Ocidental Brasileira*. 189f. Curitiba, Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- Nogueira, O.L. (1997). Regeneração, manejo e exploração de açazais nativos de várzea do estuário amazônico. [Tese de Doutorado]. Belém: UFPA, 1997. 149p
- Nogueira, R.J.M.C., Moraes, J.A.P.V., Burity, H.A., Neto, E.B. (2001). Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relação hídricas em aceroleiras submetidas à deficiência de água. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.13, n.1, p.66-74.
- Nogueira, A.K.M., Santana, A.C. de. (2009). Análise de sazonalidade de preços de varejo de açaí, cupuaçu e bacaba no estado do Pará. *Revista de Estudos Sociais*, v. 1, n.21, p.7 – 22.
- Nogueira Junior, L.R., Fisch, S.T.V., Ballestero, S.D. (2003). Influência da umidade do solo no desenvolvimento inicial de plantas do palmito *Euterpe edulis* Mart. em floresta nativa. *Revista Biociências*, Taubaté, v.9, n.1, p.7-13.
- Nascimento, W. M. O. (2008) *Açaí (Euterpe oleracea Mart.)*. Rede de Sementes da Amazônia. (Informativo Técnico, 18. ISSN 1679-8058 [Online]
- Orlande, T., Laarman, J., Mortimer, J. (1996). Palmito sustainability and economics in Brazil's Atlantic coastal forest. *Forest Ecology and Management*, v.80, n.1, p. 257-265.
- Oliveira, M. do S. P. de; Muller, A. A. (1998). Seleção de germoplasma de açazeiro promissor para frutos. Belém: EMBRAPA-CPATU, 5p. (Pesquisa em Andamento, 191).
- Oliveira, M. do S.P. de. (2000). *Seleção fenotípica de açazeiros para produção de frutos*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 1 – 5 (Comunicado técnico, nº34)
- Oliveira, M.S.P. de, Carvalho, J. E. U. de, Nascimento, W.M.O. do. (2000). *Açaí (Euterpe oleraceae Mart.)*. Jaboticabal. Funep. 52p.
- Oliveira, M. do S.P. de, Carvalho, J.E.U. de, Nascimento, W.M.O. do, Muller, C.H. (2002). Cultivo do açazeiro para a produção de frutos. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p.1-17. (Comunicado técnico, nº 26).
- Oliveira, R.M., Bertholdi, A.A.S., Engel, V.L., Passos, J.R.S., Almeida, L.F.R. (2017). Water deficit responses of *Euterpe edulis* Martius seedlings at different growth stages. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 101-108.

- Paz, V.P. da S. Teodoro, R.E.F. Mendonça, F.C. (2000). Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Campina Grande – PB, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.465-473.
- Pacheco-Palencia, L.A., Hawken, P., Talcott, S.T. (2007). Juice matrix composition and ascorbic acid fortification effects on the phytochemical, antioxidant and pigment stability of acai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Chemistry*, v.105, p.28–35.
- Paludo, G.F., Da Silva, J.Z., Reis, M. S. (2012). Estimativas de produção de frutos de palmito (*Euterpe edulis* Mart.) a partir da densidade de indivíduos. *Revista Biodiversidade Brasileira*, v.2, n.2, p.92-102.
- Peçanha, A.L. (2007). *Relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão-verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo*. Dissertação Mestrado. Campos dos Goytacazes: UENF, 73p
- Pimentel, C. (2004). *A relação da planta com a água*. Seropédica, RJ: Edur, 191p.
- Pozo-Insfran, D.D., Brenes, C.H., Talcott, S.T. (2004). Phytochemical composition and pigment stability of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v.52, n.6, p. 1539–1545.
- Queiroz, J.A.L., Mochiutti, S., Bianchetti, A. (2001). *Produção de mudas de açai*. Embrapa Amapá (Comunicado Técnico, 54).
- Ramalho Filho, A. (2010) Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia / editores: Antônio Ramalho Filho et al. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Ramos, A., Bovi, M.L., Folegatti, M.V. (2002). Desenvolvimento vegetativo da pupunheira irrigada por gotejamento em função de níveis de depleção de água no solo. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n.1, p.28-33.
- Reis, M.S., Fantini, A.C., Nodari, R.O., Reis, A., Guerra, M.P., Mantovani, A. (2000a). Management and Conservation of Natural Populations in Atlantic Rain Forest: The Case Study of Palm Heart (*Euterpe edulis* Martius). *Revista Biotropica*, v.32, n.4, p.894-902.
- Reis, M.S., Guerra, M.P., Nodari, R.O., Ribeiro, R.J., Reis, A. (2000b). Distribuição geográfica e situação atual das populações na área de ocorrência de *Euterpe edulis* Martius. *Sellowia*, v.49, n.52, p.324-335.
- Reis, A., Reis, M.S., Fantini, A.C. (1992). Manejo de rendimento sustentado de *Euterpe edulis* Martius. In: Instituto Florestal de São Paulo.. In: 7º Congresso Florestal Estadual, Nova Prata, 1992, p.1226–1241, *Anais...*, Brasil.
- Reis, E.L. (2011). Nutrição e adubação da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) na Bahia. In: *I Simpósio Brasileiro da Pupunheira*, p.1-12.

- Ribeiro, R.J., Portilho, W.G., Reis, A., Fantini, A.C., Reis, M.S. (1994). O manejo sustentado do palmiteiro no Vale do Ribeira. *Florestar Estatístico*, v.1, n.3, p.15-16.
- Ribeiro, T.M., Martins, S.V., Lana, V.M., Silva, K.A. (2011). Sobrevivência e crescimento inicial de plântulas de *Euterpe edulis* Mart. transplantadas para clareiras e sub-bosque em uma Floresta Estacional Semidecidual. Viçosa, MG. *Revista Árvore*, v.35, n.6, p.1219-1226.
- Rodrigues, M. do R. L. (1993) Resposta do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) à aplicação de fertilizantes nas condições do médio Amazonas. 81f. [Dissertação de Mestrado] – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Rogez, H. (2000). *Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento da Conservação*. Belém: EDUFPA. 313 p.
- Rosegrant, M.W., Cai, X., Cline, S.A. Global water outlook to 2025: Averting an impending crisis. (2002). Washington, DC: International Food Policy Research Institute: International Water Management Institute, 28 p.
- Rufino, M.S.M., Alves, R.E., Brito, E.S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F. Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food chemistry*, v.121, n.4, p. 996-1002.
- Santos, J.R.M. (1998). Irrigar é preciso. *Agroanalysis*, v.18, n.3, p.29-34.
- Santos, R. C. dos (2015) *Aspectos nutricionais e resposta da macaúba a adubação com nitrogênio e potássio*. 85f. Tese [Doutorado em Fitotecnia], Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV.
- Sari, R., Fonseca, M.S., Vicentim, B.M., Martins, U.E.C., Rizzi, F.R., Carpes, S.T. (2016) *Caracterização físico-química e avaliação do potencial antioxidante da polpa de açaí juçara*. In: 6º Congresso de Ciências Farmacêuticas do Mercosul; 6º Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Mercosul. Cascavel-PR. *Anais*, Nov.
- SEAG, Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca, Instrução Normativa N°003 de 31 de Julho de 2013, Vitória-ES. 2p.
- Silva, J.R.A., Falcão, N.P.S. (2002). Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. *Acta Amazônica*, v. 32, n. 4, p. 529-539.
- Silvestre, W.V.D., Pinheiro, H.A., Souza, R.O. M., Palheta, L.F. (2016). Morphological and physiological responses of açaí seedlings subjected to different watering regimes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 364-371.

- Silvestre, W.V.D., Silva, P.A., Palheta, L.F., Oliveira Neto, C.F., Souza, R.O.R.M, Festucci-Buselli, R. A., Pinheiro, H. A. (2017). Differential tolerance to water deficit in two açai (*Euterpe oleracea* Mart.) plant materials. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.39, n.4, p.1-10.
- Soprano, E., Zambonim, F.M., Salerno, A.R., Heck, T.C., Visconti, A., Lone, A.B. (2016) Efeito de diferentes tratamentos no crescimento de mudas de palmeira-real-australiana. *Revista de Agricultura*, v.91, n.3, p. 265 – 273.
- Sousa, L.A.S., Jardim, M.A.G. (2007). Sobrevivência e mortalidade de plantas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) cultivadas em capoeira no Nordeste Paraense. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v.5, supl.1, p.255-257.
- Sousa, L.A.S. de, Jardim, M.A.G. (2007a). Produção foliar de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em área de vegetação secundária no Nordeste Paraense. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, p. 225-227.
- Souza, C.F., Pires, R.C.M., Miranda, D.B. de, Varallo, A.C.T. (2013). Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. *Revista Irriga*, Botucatu-SP, v. 18, n. 4, p. 597-606.
- Suassuna, J.F., Fernandes, P.D., Nascimento, R.D., Oliveira, A.D., Brito, K.S.A., Melo, A.D. (2012). Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.12, p.1305-1313.
- Strasser, R.J.; Srivastava, A.; Tsimilli-Michael, M.(2000). The fluorescent transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M.; Pathre, U.; Mohanty, P. (Eds.). *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*. *Taylor and Francis*, London, p. 445 – 483.
- Taiz, L., Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 848p. 2009.
- Teixeira, L.A.J., Silva, J.D. (2003). Nutrição mineral de populações e híbridos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) cultivados em Bebedouro (SP). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal-SP, v.25, n.2, p.371-374, Agosto.
- Tomlinson, P.B. (1990). *The structural biology of palms*. Oxford University: Clarendon Press, 463p.
- Tsukamoto Filho, A.A.R., Macedo, L.G., Venturin, N., De Moraes, A.R. (2001). Aspectos fisiológicos e silviculturais do palmito (*Euterpe edulis* Martius) plantado em diferentes tipos de consórcios no município de Lavras, Minas Gerais. *Revista Cerne*, v.7, n.1, p.41-53.
- Tundisi, J.G. (2008). Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos avançados*, v.22, n.63, p.7-16.

- Turner, I.M. (2001). *The ecology of trees in the tropical rain forest*. Cambridge Tropical Biology Series, United Kingdom, Cambridge University Press, 316p.
- Viégas, I.J.M., Frazão, D.A.C., Thomaz, M.A.A., Conceição, H.E.O., Pinheiro, E. (2004). Limitações nutricionais para o cultivo de açaizeiro em latossolo amarelo textura média, Estado do Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.382-384.
- Viegas, I.J.M., Meirelles, R.O., Frazão, D.A.C., Conceição, H.E.O. (2009). Avaliação da fertilidade de um latossolo amarelo textura média para o cultivo do açaizeiro no estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo, *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, n. 52, p. 23-36.
- Villachica, H., Carvalho, J.E.U. de, Müller, C.H., Diaz, S.C., Almanza, M. (1996) *Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia*. Lima: Tratado de Cooperación Amazonica, 367p. (TCA-SPT, 44).
- Yamaguchi, K.K. de L., Pereira, L.F.R., Lamarão, C.V., Lima, E.S., Veiga-Junior, V.F. da. (2015). Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. *Food Chemistry*, v.179, p.137-151.

7. APÊNDICES



Figura 1A: Visão geral do experimento de mudas de açaí e juçara submetidas a estresse hídrico.



Figura 2A: Medidor de umidade de solo modelo MO750 da Extech® Instruments com haste de 20 cm de comprimento (expresso em %), mensuração a 15 cm de profundidade no substrato.



Figura 3A: Muda de açaí submetido à umidade de 33% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 4A: Muda de açaí submetido à umidade de 67% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 5A: Muda de açaí submetido à umidade de 100% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 6A: Muda de açaí submetido à umidade de 133% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 7A: Muda de juçara submetida à umidade de 33% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 8A: Muda de juçara submetida à umidade de 67% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 9A: Muda de juçara submetida à umidade de 100% da capacidade de água disponível do substrato.



Figura 10A: Muda de juçara submetida à umidade de 133% da capacidade de água disponível do substrato.