

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE AGRONOMIA

CARLOS DANIEL FARIAS SILVA

**ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO EM MUDAS DE *Euterpe oleracea* MART.
CULTIVADAS SOB DÉFICIT HÍDRICO**

São Luís

2025

CARLOS DANIEL FARIAS SILVA

**ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO EM MUDAS DE *Euterpe oleracea* MART.
CULTIVADAS SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia Bacharelado na área de Ecofisiologia de Plantas da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador(a): Prof^ª. Dr^ª. Jailma Ribeiro de Andrade

São Luís

2025

Silva, Carlos Daniel Farias

Ácido salicílico exógeno em mudas de Euterpe oleracea Mart. cultivadas sob déficit hídrico. / Carlos Daniel Farias Silva. – São Luis, MA, 2025.

35 f

Monografia (Graduação em Agronomia Bacharelado) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Profa. Dra. Jailma Ribeiro de Andrade

1.Açaí. 2.Biorregulador. 3.Restrição hídrica. I.Título.

CDU:631.811:634.61

CARLOS DANIEL FARIAS SILVA

**ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO EM MUDAS DE *Euterpe oleracea* MART.
CULTIVADAS SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia
Bacharelado na área de Ecofisiologia de
Plantas da Universidade Estadual do
Maranhão - UEMA, como requisito
parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Data da aprovação: 09/07/2025

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
JAILMA RIBEIRO DE ANDRADE
Data: 17/07/2025 10:48:11-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^º. Dr^ª. Jailma Ribeiro de Andrade
Departamento de Zootecnia/CCA/UEMA



Documento assinado digitalmente
ANNA CHRISTINA SANAZARIO DE OLIVEIRA
Data: 16/07/2025 13:47:06-0000
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^º. Dr^ª. Anna Christina Sanazario de Oliveira
Departamento de Economia Rural/CCA/UEMA



Documento assinado digitalmente
ROBSON FELIPE DE LIMA
Data: 17/07/2025 10:36:53-0100
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^º. Dr. Robson Felipe de Lima
Departamento de Zootecnia/CCA/UEMA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me conceder o sopro de vida, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada. Aos meus pais, Girlana Farias e Antônio Carlos Silva, pelo amor incondicional, por serem base, apoio e exemplo de dedicação e esforço. Aos meus amigos, pela companhia, incentivo e por deixar os dias mais leves, além das palavras de encorajamento nos momentos difíceis. E à minha orientadora, Jailma Ribeiro de Andrade, por toda a paciência, orientação e confiança em juntos chegarmos aos resultados aqui presentes, além dos momentos de leveza e ensinamentos pra vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, à minha orientadora, pela orientação, paciência e dedicação ao longo de toda a caminhada. Seus conselhos, disponibilidade e incentivo foram fundamentais para a realização deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e pessoal.

À equipe do LCAB – Laboratório de Ciências Ambientais e Biodiversidade, deixo minha profunda gratidão por todo o apoio técnico, científico e logístico, bem como pela ajuda nos procedimentos de análises que, com dedicação, enriqueceram este trabalho.

Aos meus amigos Roberto Serejo, Matheus Almeida, Rafael Souza, Caio Vinicius, Josué Cordeiro e Davi Botelho, agradeço imensamente pela colaboração essencial durante a etapa de experimentos na casa de vegetação e no laboratório. A ajuda de vocês fez toda a diferença e tornou o processo mais leve, eficiente e gratificante. Agradeço, também, aos meus amigos Francylenne Furtado, Rafael Cardoso, Igor Schwankee, Elouise Vasconcelos, Matheus Moraes, Meyriane Moraes, Luana, Junior, Heider e aos meus colegas de graduação Maria Cristina, Darlyara Reis, Aline Araújo, João Victor Miranda, Ellen Caroline, Sara Machado e Josilene, por todo apoio e afeto durante minha caminhada dentro e fora da academia. Vocês são essenciais para lembrar-me do meu potencial diante das diversas situações.

A todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para esta conquista, meu sincero muito obrigado.

RESUMO

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma fruta amplamente consumida no Brasil por suas propriedades nutricionais e medicinais. O Estado do Maranhão tem participação relevante na produção de açaí, registrando um aumento de 194,8% em relação ao valor de produção dos anos anteriores, tornando-se o segundo produto mais importante da lavoura permanente maranhense. No entanto, essa produção pode ser afetada por inúmeros fatores abióticos como, por exemplo, a restrição hídrica. O Maranhão passa por um período de estiagem que limita a disponibilidade de água para as plantas, e isso pode desencadear distúrbios morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, afetando a fotossíntese e limitando a produção de açaí no Estado. Uma alternativa de minimizar os efeitos negativos da restrição hídrica seria a utilização de biorreguladores, como o ácido salicílico (AS), para potencializar os mecanismos de tolerância da planta à essas condições. Diante disso, o objetivo do trabalho é estudar o efeito da aplicação do ácido salicílico sobre a fluorescência da clorofila *a*, sobre os pigmentos fotossintéticos e osmorregulação de mudas de açaí submetidas ao estresse hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento em blocos casualizados (DBC), com esquema fatorial 2 x 3, incluindo dois níveis de água no solo (controle – próximo da capacidade de campo e estresse hídrico – 20%) e três concentrações de ácido salicílico - AS (0,0; 0,5 mM; 1 mM), com 5 repetições, totalizando 30 parcelas experimentais. A aplicação exógena de 0,5 mM de AS provou ser útil para melhorar as características fisiológicas e de biomassa de plantas de açaí em condições de déficit hídrico. Além disso, o conteúdo de carboidratos solúveis e de prolina são afetados significativamente em condições de déficit hídrico. No entanto, altas concentrações de AS desencadeiam efeitos negativos em plantas de açaí quando em condições bem irrigadas.

Palavras-chave: açaí; biorregulador; restrição hídrica.

ABSTRACT

Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) is a fruit widely consumed in Brazil due to its nutritional and medicinal properties. The state of Maranhão plays a significant role in açaí production, with a 194.8% increase in production value compared to previous years, making it the second most important crop among Maranhão's permanent crops. However, this production can be negatively impacted by several abiotic factors, such as water restriction. Maranhão has been experiencing a drought period that limits water availability for plants, which may lead to morphological, physiological, and biochemical disturbances, affecting photosynthesis and reducing açaí productivity. One alternative to mitigate the negative effects of water stress is the use of bioregulators, such as salicylic acid (SA), to enhance the plant's tolerance mechanisms under these conditions. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of salicylic acid application on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments, and osmotic regulation in açaí seedlings subjected to water stress. The experiment was conducted in a greenhouse using a randomized block design (RBD), in a 2×3 factorial arrangement, with two soil water levels (control – near field capacity and water stress – 20%) and three concentrations of salicylic acid (0.0; 0.5 mM; 1.0 mM), with five replications, totaling 30 experimental plots. The exogenous application of low SA concentrations proved effective in improving physiological traits and biomass accumulation in açaí plants under water deficit conditions. Furthermore, the contents of soluble carbohydrates and proline were significantly affected by water stress. However, high concentrations of SA triggered negative effects in well-watered açaí plants.

Keywords: açaí; bioregulator; water restriction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1 Aspectos gerais e importância do açaí	11
3.2 Efeito da deficiência hídrica nos vegetais	12
3.3 Indutor de tolerância ao estresse hídrico: Ácido salicílico	14
4 METODOLOGIA	15
4.1 Localização da área experimental	15
4.2 Delineamento Experimental	16
4.3 Instalação e condução do experimento	16
4.4 Preparo e aplicação do AS	18
4.5 Variáveis analisadas	18
4.5.1 Variáveis fisiológicas	18
4.5.1.1 Conteúdo relativo de água – CRA	18
4.5.1.2 Rendimento quântico máximo do PSII	18
4.5.1.3 Índice SPAD e quantificação dos pigmentos fotossintéticos	19
4.5.2 Análises bioquímicas	19
4.5.2.1 Conteúdo de prolina	19
4.5.2.2 Carboidratos solúveis totais	19
4.5.3 Produção de massa seca	19
4.6 Análise estatística	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
APÊNDICES	33

1 INTRODUÇÃO

A palmeira do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma espécie nativa da região amazônica, encontrada principalmente em áreas alagadas, como igapós e várzeas. Ela é amplamente distribuída em países como Brasil, Peru, Colômbia, Venezuela e Equador, mas a maior parte da produção comercial de açaí vem do Brasil, especialmente dos estados do Pará, Amapá, Amazonas, Maranhão e Acre (Barboza *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2018).

Essa espécie tem grande importância econômica para as regiões onde é cultivado, gerando emprego e renda para muitas comunidades que dependem de sua produção (Oliveira *et al.*, 2018; Neves *et al.*, 2019), como no estado do Maranhão. Essa importância é fruto do aproveitamento integral da matéria-prima, além de estar diretamente incluso em atividades da agricultura familiar agroextrativista (Mendonça e Bianchi, 2014). Além disso, a produção de açaí tem um impacto positivo na preservação da biodiversidade e da floresta amazônica, onde muitos agricultores adotam práticas sustentáveis de manejo para garantir que a produção de açaí seja realizada de forma a preservar o meio ambiente e evitar o desmatamento (Neves *et al.*, 2019).

O Estado do Maranhão apresenta uma posição geográfica privilegiada, por conter área de transição referente à vegetação e ao domínio climático, onde a vegetação é bastante diversa, com presença de diferentes biomas, como floresta amazônica, caatinga e cerrado (Araújo *et al.*, 2016). Tem participação relevante na produção de açaí e, registrou, em 2021, um aumento de 194,8% em relação ao valor de produção dos anos anteriores, fazendo com que o açaí se tornasse o segundo produto mais importante da lavoura permanente maranhense. Além disso, o Maranhão subiu da sétima para a terceira posição no ranking nacional de produção de açaí, ficando atrás apenas do Pará e do Amazonas (IMESC, 2023). No entanto, essa produção pode ser afetada por inúmeros fatores, tanto bióticos como abióticos. O Estado passa por período de estiagem, que se inicia em junho e vai até novembro, limitando a disponibilidade de água para as plantas.

O déficit hídrico é um dos fatores que mais afetam o desenvolvimento de culturas, como o açaí, desencadeando vários distúrbios morfológicos, fisiológicos e bioquímicos da planta (Santos *et al.*, 2022). Dentre as primeiras respostas fisiológicas das plantas ao estresse hídrico está a regulação da síntese de ácido abscísico (ABA) com consequente fechamento dos estômatos, que são as estruturas responsáveis pelas trocas gasosas, dificultando a assimilação de CO₂ pela planta. (Oliveira *et al.*, 2018). A fluorescência da clorofila *a* e o ajustamento osmótico também são afetadas pela deficiência hídrica, reduzindo

significativamente o crescimento e produção das plantas (Aroca, 2012; Santos *et al.*, 2022). Como tentativa de ajuste osmótico ocorre o acúmulo de solutos compatíveis como prolina e carboidratos na célula, o que aumenta a capacidade das mesmas de extrair água do solo (Boyer, 1996). Além disso, esse tipo de estresse afeta o potencial hídrico da planta e provoca produção exagerada de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Taiz; Zeiger, 2013). Contudo, diferentes espécies de plantas têm desenvolvido variados mecanismos para enfrentar deficiência hídrica (Lambers *et al.*, 1998), por meio de modificações na morfologia, bioquímica e fisiologia da planta (Dickison, 2000).

A busca por espécies resistentes à seca tem crescido significativamente nos últimos anos, com a finalidade de atenuar os efeitos adversos da escassez de chuvas na produção agropecuária, ao mesmo tempo em que se busca compreender os mecanismos empregados por essas plantas para mitigar o impacto do estresse hídrico em seu desenvolvimento e sobrevivência (Cruz *et al.*, 2023). Além disso, tem sido feito uso de biorreguladores exógenos na planta, com a finalidade de potencializar os mecanismos de adaptação da planta a deficiência hídrica, visto que esses são substâncias que regulam o crescimento e desenvolvimento do vegetal (Ávila *et al.*, 2019). Dentre os biorreguladores utilizados, destaca-se o ácido salicílico (AS), que é uma molécula sinalizadora conhecida por participar de respostas de defesa das plantas contra uma variedade de adversidades ambientais, melhorando o crescimento e produção das mesmas (Jayakannan *et al.*, 2015). Resultados obtidos nos últimos anos mostram que o AS pode ser um composto promissor na redução da sensibilidade dos cultivos aos estresses abióticos, visto que em determinadas condições atenua os efeitos adversos produzidos por distintos fatores ambientais estressantes, a exemplo o estresse hídrico (Mardani *et al.*, 2012; Feitosa *et al.*, 2016).

Nesse contexto, estudos com uso do AS, testando diferentes concentrações, através do condicionamento de sementes ou aplicação via foliar, tem sido uma estratégia promissora para melhorar a tolerância das plantas quando em condições de estresse hídrico. Com isso, entender o efeito desse biorregulador sobre o comportamento ecofisiológico de mudas de açaí sob déficit hídrico é de suma importância, podendo auxiliar no desenvolvimento de mecanismos que permitem às plantas se adaptarem a essas condições.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a ação do ácido salicílico no comportamento ecofisiológico de mudas de *Euterpe oleracea* Mart. submetidas ao déficit hídrico.

2.2 Objetivos específicos

Determinar o efeito da aplicação do ácido salicílico sobre os pigmentos fotossintéticos e sobre a fluorescência da clorofila *a* de mudas de açaí submetidas ao estresse hídrico;

Avaliar a ação do ácido salicílico sob a concentração de prolina e carboidratos solúveis totais de mudas de açaí submetidas ao estresse hídrico;

Identificar uma concentração ideal de ácido salicílico que potencialize/melhore o desenvolvimento de mudas de açaí submetidas ao estresse hídrico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Aspectos gerais e importância do açaí

O açaí é uma planta monocotiledônea, perene, nativa da região amazônica e pertencente à família Arecaceae e ao gênero *Euterpe*, apresentando espécies distribuídas pela América Central e do Sul, são de clima tropical quente e úmido e ocorrem em florestas pluviais tropicais, constantemente encontradas ao longo dos rios (Oliveira; Rios, 2014).

No Brasil, é uma fruta amplamente consumida por suas propriedades nutricionais e medicinais, além de ser um alimento energético que se tornou bastante popular, principalmente nos estados do Pará, Amapá, Amazonas, Maranhão e Acre (Neves *et al.*, 2019). Em áreas como essas, ocorrem cinco espécies de açaizeiro do tipo touceira e solteiro, sendo apenas três delas a apresentarem potencial econômico: *E. oleracea*, *E. precatoria* e *E. edulis* (Scariot *et al.*, 2015). Essas espécies em touceira e solteiro são facilmente encontradas na Amazônia nas margens de rios e lagos da bacia amazônica e em áreas de terra firme.

O açaizeiro tem papel fundamental na vegetação de áreas úmidas e terra firme, colaborando para evitar o assoreamento e preservar a qualidade das águas (Perreira *et al.*, 2021). Essa espécie é explorada comercialmente, por conter matéria prima para diversos produtos e ampla aplicação, sendo colhida de forma extrativista ou por pequenos e médios

açaicultores, geralmente com pouca tecnologia, inclusive sem manejo de irrigação (Vieira, et. al., 2018; Correa; Cavalcanti, 2019).

A espécie apresenta grande potencial econômico tanto no mercado nacional quanto no internacional, pois são utilizadas várias partes da planta como folhas, caule para a produção do palmito, frutos como matéria-prima para a obtenção de suco, a polpa para uso in natura, em agroindústrias e para cosméticos (Homma, *et al.*, 2017).

Nos últimos anos, o Brasil produziu a aproximadamente de 1.696.485 Toneladas de frutos de açaí, consolidando a espécie no mercado nacional, sendo o estado do Pará o maior produtor nacional da espécie, seguido dos estados do Amazonas e Maranhão. Este último vem consolidando-se como um dos principais produtores do fruto no país, com safra durante o primeiro semestre do ano, período de maior ocorrência de chuvas, totalizando no ano de 2023 cerca de 1.754 toneladas (CONAB, 2022; IBGE, 2023).

Na capital do estado, São Luís, na região de Maracanã, são encontrados os maiores produtores tradicionais de açaí, com grande potencial produtor e centro de consumo de frutos (Correa; Cavalcanti, 2019). No entanto, o estado passa por um período de estiagem, limitando a disponibilidade de água para as plantas e dificultando a produção do açaí o ano todo.

3.2 Efeito da deficiência hídrica nos vegetais

As recentes alterações climáticas mudaram o índice pluviométrico em todo mundo, configurando uma ameaça na eficiência da produção de alimentos (Ávila *et al.*, 2022). A água é o recurso ambiental mais limitante e compõe a maior proporção do volume celular nas plantas, além de representar um fator fundamental para o crescimento e o desenvolvimento vegetal (Kerbaudy, 2013; Bittencourt *et al.*, 2018; Taiz *et al.*, 2017).

A manutenção do turgor é essencial para a viabilidade celular, pois está relacionada com alongamento e, divisão celular, abertura estomática e vários processos de transporte através de membranas (Munns, 2011; Taiz *et al.*, 2017). Dessa forma, indicadores do status de água na planta são fundamentais para estudos referentes às respostas ecofisiológicas, como o potencial hídrico foliar (ψ) e o conteúdo relativo de água, principalmente para estudos com estresse hídrico (Taiz *et al.*, 2017; Vieira Júnior *et al.*, 2007).

A planta passa por estresse hídrico quando o suprimento de água para as raízes se torna limitante ou quando a taxa de transpiração se torna muito alta, acarretando numerosas respostas e alterando a expressão gênica, o metabolismo celular e até mudanças na germinação, no crescimento e na produtividade, podendo levar até a morte (Farooq *et al.*,

2009; Anjum *et al.*, 2011). Em decorrência do déficit hídrico as espécies podem apresentar modificações na anatomia, fisiologia, bioquímica, desenvolvimento e produtividade com variações de acordo com o grau e duração em que foram expostas (Araújo *et al.* 2009; Bilibio *et al.*, 2010).

A escassez hídrica no solo e na atmosfera altera processos essenciais nas plantas, causando prejuízos em diversas regiões do mundo (Galmés *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012). As principais respostas ao déficit hídrico, geralmente, correspondem ao fechamento estomático, diminuição de área foliar, ajuste osmótico, redução da transpiração, redução nos teores de clorofilas *a*, *b* e carotenoides, por afetar o transporte de elétrons e consequentemente redução na taxa fotossintética, além de modificar a partição de assimilados, alterar a eficiência do uso da água e aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (Shinozaki; Yamagusho-Shinozaki, 2007; Jaleel *et al.*, 2009).

Um outro indicador correspondente ao déficit hídrico envolve o conteúdo de água presente nas plantas. O teor relativo de água (TRA) presente nas folhas pode ser utilizado como um parâmetro das condições hídricas da planta, particularmente durante períodos de seca. À medida que se intensifica o déficit hídrico, a planta passa por uma desidratação, podendo prejudicar os processos vitais de crescimento celular (Lanna *et al.*, 2021). Um dos mecanismos de resiliência das plantas para evitar danos provenientes desta desidratação envolve o acúmulo de compostos osmoprotetores como a prolina (Zhang *et al.*, 2010; Bano *et al.*, 2013).

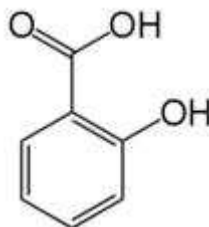
A prolina é um importante soluto compatível comum e aminoácido osmoprotetor na resistência à seca, protegendo as plantas de subprodutos tóxicos formados durante períodos de escassez de água e proporcionando uma fonte de carbono e nitrogênio para a célula quando as condições retornam ao normal (Taiz; Zeiger, 2017). Da mesma maneira, os carboidratos solúveis totais, também podem agir como importantes defensores contra a seca. Esses, se acumulam em plantas sob estresse hídrico para promover o ajuste osmótico. Esse acúmulo reduz o potencial osmótico celular, preservando a turgidez e a integridade das membranas, além de proteger proteínas e atuar no escudo antioxidante contra espécies reativas de oxigênio (ERO's) (Cao *et al.*, 2024). Estudos com várias espécies mostraram que esses solutos solúveis são mobilizados não apenas por hidrólise de amido, mas também como resposta rápida ao déficit hídrico, funcionando como osmoprotetores eficazes (Guo *et al.*, 2021). Além de servirem como fontes de energia imediata em condições de estresse.

Nesse sentido, os efeitos do déficit hídrico proporcionam dificuldades para produtores rurais, devido aos danos provocados na produção agrícola. Contudo, a influência desses efeitos depende do grau de intensidade do estresse, da espécie cultivada, e do manejo adotado durante o cultivo, proporcionando à planta desenvolver mecanismos de tolerância ou adaptação a tais condições, e assim amenizar os danos causados pela falta de água (Silva *et al.*, 2014).

3.3 Indutor de tolerância ao estresse hídrico: Ácido salicílico

O ácido salicílico (AS) vem ganhando destaque pelo seu efeito atenuador de estresse hídrico em plantas (Carvalho *et al.*, 2020). Ele é um biorregulador fenólico que também está relacionado com crescimento e desenvolvimento vegetal, bem como várias respostas a estresses bióticos e abióticos, e ainda está relacionado com a ativação das defesas sistêmicas do vegetal (Dempsey *et al.*, 2011; Taiz *et al.*, 2017), cuja fórmula estrutural possui um anel aromático com um grupo hidroxila (Figura 1) (Hayat *et al.*, 2010), ocorrendo de forma natural nas plantas.

Figura 1. Estrutura molecular do Ácido Salicílico.



Fonte: Taiz et al., 2017.

Esse biorregulador é sintetizado a partir do aminoácido fenilalanina e pode funcionar como promotor de crescimento em baixas concentrações atua, também, como antioxidante e pode aumentar a lignificação dos vegetais, por estimular o metabolismo secundário, pois a lignina fornece suporte mecânico e uma barreira hidrofóbica rígida contra doenças, herbívoros e estresses abióticos (Duarte, 2018; Ali 2021; Khasin *et al.*, 2021).

Estudos com aplicação de ácido salicílico (AS) em plantas submetidas ao estresse hídrico, mostraram que esse biorregulador mitiga os efeitos da restrição hídrica e foram responsáveis por aumentar a parte aérea das plantas, sistema radicular e teor de clorofila

(Arivalagan *et al.*, 2015). Ainda, em estudos com estresse hídrico, Roghayyeh *et al.* (2014), avaliando os efeitos do ácido salicílico e da giberelina na utilização das reservas, na germinação e na atividade enzimática de sementes de sorgo mostraram que os tratamentos reduziram os efeitos negativos do estresse hídrico durante a fase inicial do cultivo e causaram uma melhora na porcentagem de germinação, índice de germinação e ainda melhorou a utilização das reservas de sementes.

Além de minimizar os efeitos do estresse hídrico e estar relacionado com a promoção de crescimento, o AS participa dos mecanismos de defesa do vegetal, atuando como molécula sinalizadora, que geralmente está associada a infecções por agentes patogênicos (Hayat *et al.*, 2010; Taiz *et al.*, 2017).

O AS também pode ser aplicado nas folhas, sendo utilizado no tratamento de sementes. Para Dutra *et al.* (2017), a imersão das sementes em solução de AS (10–5 M) melhorou a tolerância ao estresse hídrico durante a germinação e o crescimento inicial do feijão-caupi. Já Oliveira (2020) constatou que a aplicação exógena de ácido salicílico e de metionina atenuaram os efeitos deletérios da restrição hídrica, auxiliando na manutenção do status hídrico do feijão-caupi. Isso constata que o AS desempenha papel importante como mitigador do estresse hídrico. Assim, é necessário compreender as respostas do vegetal quando são submetidos à aplicação de biorreguladores vegetais como o ácido salicílico.

4 METODOLOGIA

4.1 Localização da área experimental

O estudo foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI, São Luís, Maranhão, cuja a região possui as coordenadas geográficas de 02°35'30,6" S e 44°12'43,4" O, com altitude de 63m e clima tipo Aw, quente e úmido, com dois períodos bem definidos, sendo o verão chuvoso e o inverno seco. Durante o período experimental, as condições ambientais da casa de vegetação foram monitoradas com o auxílio de uma miniestação meteorológica (modelo 450, Spectrum Technologies, Inc., Illinois, USA), e os dados coletados ao longo do dia com intervalos de 15 minutos. A partir dos dados máximos, médios e mínimos de temperatura e umidade relativa, foi obtido o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), segundo equação proposta por Jones (1992).

4.2 Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com esquema fatorial 2 x 3, incluindo dois níveis de água no solo (controle – próximo da capacidade de campo e restrição hídrica – 25%) e três concentrações de ácido salicílico (0,0; 0,5 mM e 1 mM), com 5 repetições, totalizando 30 parcelas experimentais (APÊNDICE 1).

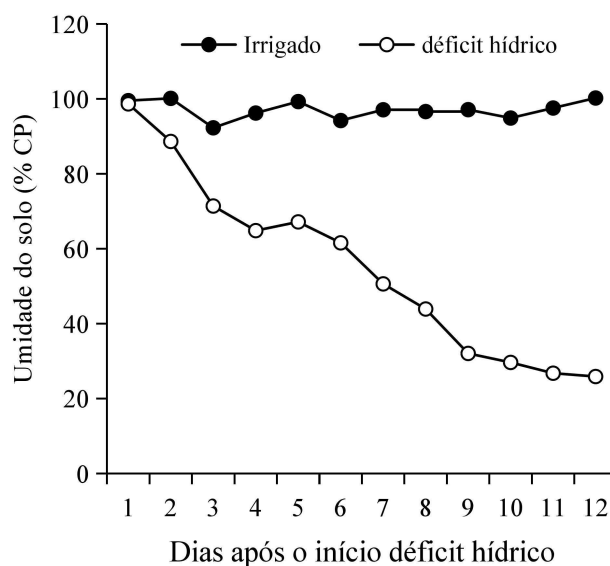
4.3 Instalação e condução do experimento

As mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) foram adquiridas na fazenda escola, localizada na Universidade Estadual do Maranhão. Utilizou-se mudas da cultivar BRS Ver-O-Peso, que foi desenvolvida pela Embrapa Amazônia Oriental com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir a sazonalidade da produção (EMBRAPA, 2016). As mudas foram cultivadas em vasos plásticos de 15 L preenchidas com 13 kg de solo peneirado, no qual foi adicionado 2 kg de composto orgânico (Quixaba, São Luís MA, Brazil). Foi realizada adubação conforme recomendações de Novais *et al.* (1991).

A irrigação das plantas foi realizada diariamente de forma manual com o auxílio de Becker (APÊNDICE 2), deixando-se o solo próximo à capacidade de campo até 50 dias após a implantação do experimento (DAI), quando foram submetidas ao tratamento de estresse hídrico com a suspensão da irrigação até que a água disponível no solo atingisse 20% em relação à capacidade de campo, permanecendo nessas condições até o 12º dia de estresse.

O manejo da irrigação foi realizado seguindo a metodologia de Morales *et al.* (2015), que foi baseado na umidade do solo, sendo a mesma monitorada com o sensor de umidade do solo acoplado ao medidor de umidade (APÊNDICE 2). Os vasos foram preenchidos com solo seco ao ar livre e foi inserido o sensor, obtendo-se o peso seco (PS) e leitura com o sensor (Lps). Em seguida, os mesmos foram saturados e, após o término da drenagem natural foram pesados, obtendo-se o peso úmido (PU) e leitura de umidade do solo úmido (Lpu). A diferença entre PS e PU foi atribuída à capacidade de armazenamento de água no vaso (Cav). foi considerado que 1,0 g equivale a 1 mL da capacidade de armazenamento de água nos vasos. As leituras com o sensor de umidade foram feitas a cada dois dias em cada tratamento, até o início da restrição hídrica, nos quais a irrigação foi definida em função da reposição de água (T). Os dados de umidade do solo foram monitorados e encontram-se abaixo (Figura 2).

Figura 2. Valores da capacidade de campo em relação aos dias após indução do déficit hídrico em plantas de açaí tratadas com ácido salicílico.



As leituras com o sensor foram realizadas diariamente a partir do momento em que iniciou-se a restrição hídrica, de modo que os tratamentos irrigados (controle) foram mantidos com a umidade equivalente à capacidade de armazenamento de água nos vasos (100% da Cav), enquanto que os tratamentos “Déficit hídrico” tiveram a umidade reduzida gradativamente. O volume de água aplicado em cada tratamento foi calculado por:

$$V = \{[(L_{pu} - L_{ps}) \times T/100 + L_{ps}] - LD\} \times QA \quad (1)$$

em que:

V - volume em mL;

L_{pu} - leitura da TDR-315H no vaso saturado com água (%);

L_{ps} - leitura da TDR-315H no vaso com solo seco (%);

T - níveis de reposição de água (100%- controle; 20% - estresse);

LD - leitura diária com TDR-315H (%).

$$QA = [Cav / (L_{pu} - L_{ps})] \times 1000 \quad (2)$$

em que:

Cav = Capacidade de armazenamento de água, dada em L;

QA = Quantidade de Água

4.4 Preparo e aplicação do AS

Aos 10 DAI as mudas foram pulverizadas com soluções de AS nas concentrações estabelecidas, na parte adaxial e abaxial das folhas, com auxílio de pulverizadores manuais, às 17:00 horas. As concentrações foram pulverizadas em cinco aplicações, em intervalos de seis dias. Inicialmente foi preparada a solução estoque o biorregulador em 200 ml de água destilada, e a partir da qual foram calculadas as concentrações que foram utilizadas de acordo com os tratamentos.

4.5 Variáveis analisadas

Ao final do experimento (12 dias após o estresse - DAE), foram avaliados o rendimento quântico máximo do PSII e índice SPAD, pigmentos fotossintéticos, conteúdo relativo de água, prolina, carboidratos solúveis totais e massas secas das partes da planta.

4.5.1 Variáveis fisiológicas

4.5.1.1 Conteúdo relativo de água – CRA

O conteúdo relativo de água (CRA) foi avaliado extraíndo-se discos da folha intermediária totalmente expandida coletada entre 09:00 e 10:00 horas. Os discos foram imediatamente pesados em balança analítica para determinar a massa do tecido fresco (MF). Em seguida o material foi reidratado com água deionizada e mantido em repouso por um período de 24 horas (APÊNDICE 3). Após o tempo decorrido, os discos foram secos em papel toalha e posteriormente pesados, para quantificar a massa túrgida (MT). Para determinar o valor da massa seca, o material foi transferido para sacos de papel (APÊNDICE 3) e colocado em estufa a 65 °C, com ventilação forçada de ar, durante 24 horas. Em seguida, foram pesadas e o valor obtido denominado de massa seca (MS). O conteúdo relativo de água foi calculado através da fórmula: $CRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100$.

4.5.1.2 Rendimento quântico máximo do PSII

O rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) foi avaliado com o auxílio de um fluorímetro não modulado, portátil, modelo Pocket – PEA (Hansatech, Norfolk, UK), onde as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças (leaf-clip), para que os centros de reação adquiram a condição de abertos (Maxwell; Johnson, 2000) (APÊNDICE 4).

4.5.1.3 Índice SPAD e quantificação dos pigmentos fotossintéticos

O índice SPAD foi mensurado através do clorofilômetro portátil modelo SPAD-502, sendo aferidas cinco leituras na folha intermediária totalmente expandida da planta, obtendo-se a média geral por planta (APÊNDICE 5).

Os teores de pigmentos fotossintéticos: clorofila a, b, total e os carotenoides foram quantificados através de cinco discos de 0,6 cm² na mesma folha da planta na qual foi mensurada o índice SPAD, conforme Lichtenthaler (1987).

4.5.2 Análises bioquímicas

4.5.2.1 Conteúdo de prolina

Para a determinação do conteúdo de prolina, foram utilizadas partes foliares secas que foram extraídas pelo método do ácido sulfossalicílico e determinada em espectrofotômetro, a 520 nm, de acordo com Bates *et al.* (1973) (APÊNDICE 6).

4.5.2.2 Carboidratos solúveis totais

Na determinação de carboidratos solúveis totais foi usado material foliar seco, e realizada a obtenção do extrato segundo descrito por Dubois *et al.* (1956) (APÊNDICE 6). A leitura no espectrofotômetro foi feita a 490 nm, como padrão foi utilizado a D (+) glicose anidra e os resultados expressos em mg.g⁻¹ MS.

4.5.3 Produção de massa seca

Ao final do experimento as plantas foram coletadas e separadas nas diferentes partes vegetativas (APÊNDICE 7), sendo avaliada a massa seca de folhas (MSF), colmo (MSC) e raízes (MSR), após a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até peso constante.

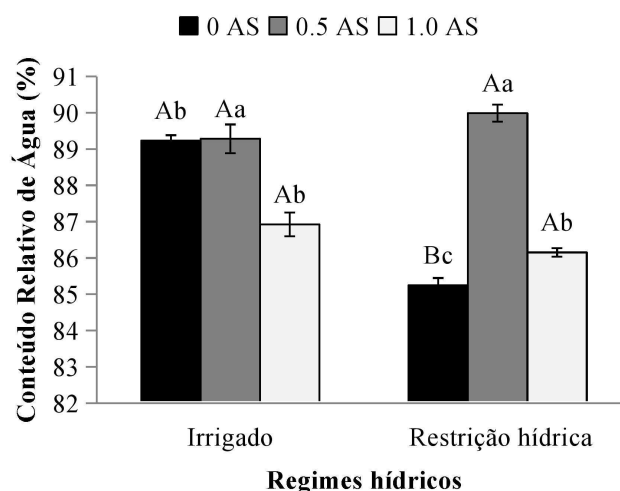
4.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo utilizado o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A restrição hídrica afetou negativamente as variáveis estudadas. No presente estudo, o conteúdo relativo de água (CRA) nas plantas de açaí, quando em regime irrigado, reduziu em média 5,2% com a aplicação de 1,0 mM de AS, em relação às concentrações de 0,0 e 0,5 mM de AS, demonstrando que mesmo as plantas estando bem irrigadas, essa concentração foi prejudicial (Figura 3). Em restrição hídrica, a concentração de 0,5 mM de AS aumentou em média 5,6% o CRA em relação às concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS. Isso demonstra que em condições de estresse, essa concentração ajuda as plantas de açaí a manterem um status hídrico positivo. Em estudos com canola e alface sob estresse hídrico também foi observado os efeitos positivos no CRA das plantas (Ullah *et al.*, 2012; Sayyari *et al.*, 2013). O conteúdo relativo de água nas plantas é um importante indicador do estresse hídrico, sendo bastante utilizado em avaliações de tolerância das plantas (Kamanga *et al.*, 2018).

Figura 3. Conteúdo Relativo de Água em plantas de açaí sob estresse hídrico tratadas com ácido salicílico.



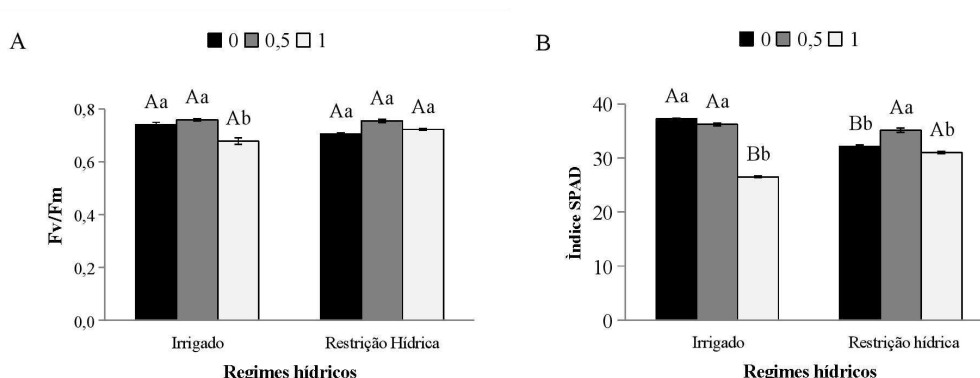
Barras seguidas de letras iguais, maiúsculas entre regimes hídricos dentro de cada concentração de AS, e minúsculas entre concentrações de AS dentro de cada regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A média representa o efeito isolado dos tratamentos hídricos.

Além disso, a avaliação da relação F_v/F_m foi significativa. Observou-se que para a concentração de 1,0 mM de AS, o valor da relação F_v/F_m diminuiu em média 10,6% comparado aos valores das concentrações de 0,0 e 0,5 mM, mostrando que a concentração 1,0 mM provocou efeito danoso nas plantas de açaí quando em condições irrigadas (Figura 4A). Para F_v/F_m , valores abaixo de 0,75 indicam que o PSII foi danificado (Bolhàr-

Nordenkampf *et al.*, 1989), desta forma, ao aplicar a concentração de 1,0 mM de AS obteve-se uma relação média de 0,67, indicando danos ao aparato fotossintético das plantas de açaí. De outra forma, com a restrição hídrica, não houve diferença entre as concentrações de AS. O AS é um regulador de crescimento que quando usado na concentração ideal pode induzir a tolerância de plantas a estresses abióticos como a restrição hídrica, no entanto altas concentrações e em condições ambientais normais, podem provocar efeito contrário, causando toxicidade às plantas (Sofy *et al.*, 2020), como observado nesse estudo.

Ao observar o Índice SPAD, em condição irrigada, a concentração de 1,0 mM de AS reduziu em média 28,8% o Índice em relação às concentrações de 0,0 e 0,5 mM de AS (Figura 4B). Em restrição hídrica, 0,5 mM de AS demonstrou ser a concentração mais eficiente em proporcionar elevado índice SPAD para as plantas nessa condição, uma vez que esta concentração aumentou em média 13,2% em relação às concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS. Essa variável se apresenta como uma medida utilizada para estimar de forma rápida e não destrutiva quantitativamente a intensidade do verde da folha, avaliando a transmissão de luz a 650 nm (absorção por clorofila) e a 940 nm (sem absorção), além de servir como indicador indireto do nível de nitrogênio e da eficiência fotossintética (Gil *et al.*, 2002).

Figura 4. Relação Fv/Fm (A) e Índice SPAD (B) em plantas de açaí sob déficit hídrico e tratadas com ácido salicílico.

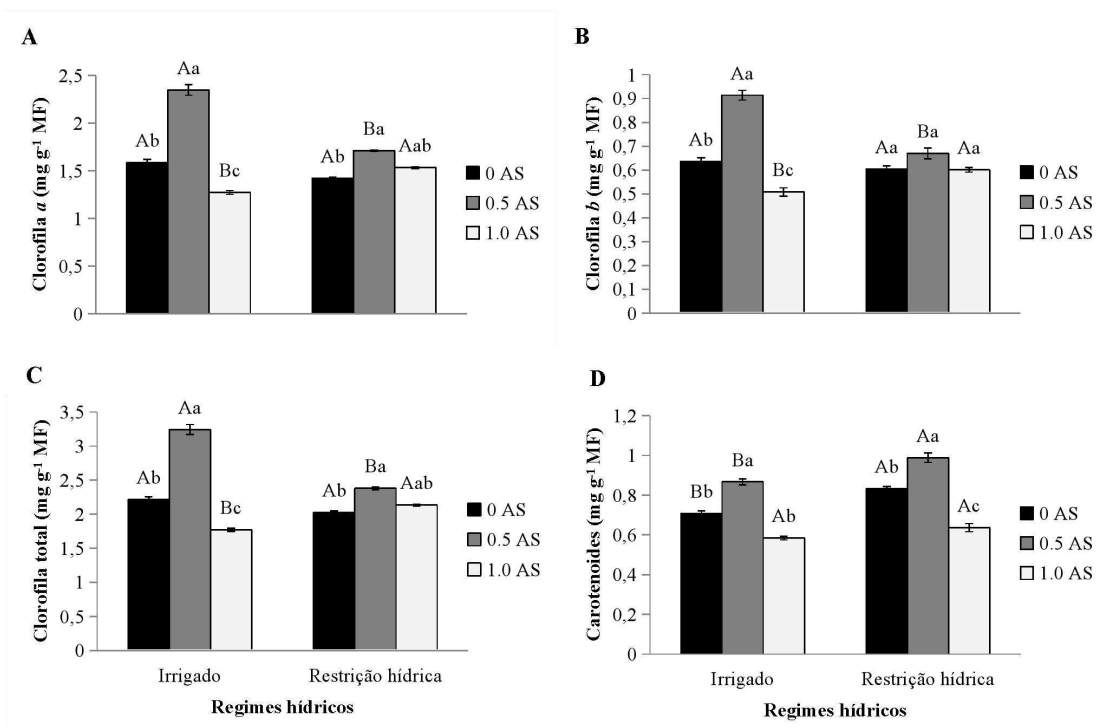


Barras seguidas de letras iguais, maiúsculas entre regimes hídricos dentro de cada concentração de AS, e minúsculas entre concentrações de AS dentro de cada regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A média representa o efeito isolado dos tratamentos hídricos.

Nas plantas de açaí estudadas, sob restrição hídrica, as concentrações de 0,5 e 1,0 mM de AS proporcionaram maiores conteúdos de clorofilas *a* e total, 20,3% e 7,3%, respectivamente, quando comparadas à concentração 0,0 mM de AS, sendo a concentração

0,5 mM a mais eficiente (Figura 5A e 5C). Além disso, 0,5 mM de AS também proporcionou melhor conteúdo de carotenoides nas plantas sob restrição hídrica, 18,7% e 55,3%, em relação às concentrações 0,0 e 1,0 mM de AS, respectivamente (Figura 5D). Esses resultados corroboram com os achados por La *et al.* (2019), onde a concentração de 0,5 mM de AS aumentou a síntese de clorofila em plantas de *Brassica napus* déficit hídrico. No entanto, quando as plantas se encontravam bem irrigadas, a concentração de 1,0 mM de AS reduziu todos os pigmentos fotossintéticos (Clorofilas *a*, *b*, total e carotenoides), além do índice SPAD nas plantas estudadas, indicando um efeito danoso de altas concentrações de AS em plantas de açaí sob essas condições, como a degradação dos pigmentos fotossintéticos. Sabe-se que o AS pode induzir a produção de ERO's, então a aplicação de uma concentração elevada desse biorregulador pode desencadear uma resposta adversa, em decorrência de um estresse oxidativo (Parquee *et al.*, 2021). Sendo assim, o AS quando em concentrações adequadas pode ser uma alternativa promissora na melhora da resistência das plantas a estresses abióticos como a restrição hídrica, através da regulação do sistema antioxidante e da fotossíntese (Ávila *et al.*, 2019).

Figura 5. Teores de pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), clorofila total (C) e carotenoides (D) em plantas de açaí sob estresse hídrico tratadas com ácido salicílico.

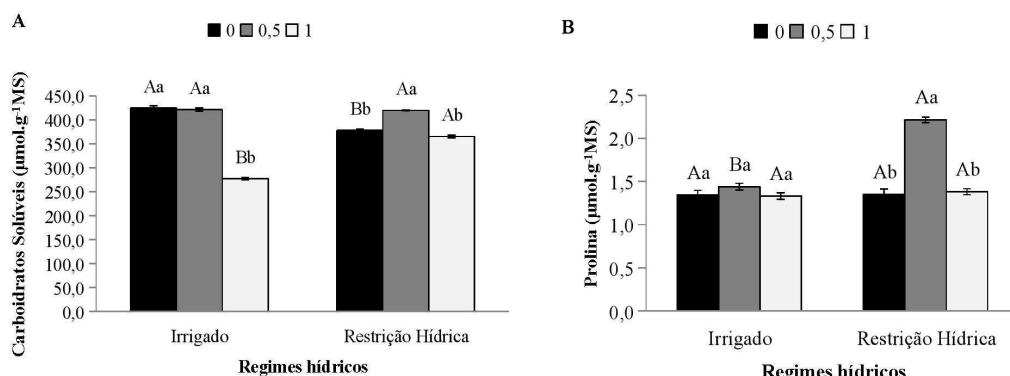


Barras seguidas de letras iguais, maiúsculas entre regimes hídricos dentro de cada concentração de AS, e minúsculas entre concentrações de AS dentro de cada regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A média representa o efeito isolado dos tratamentos hídricos.

Assim como ocorrido nos pigmentos fotossintéticos, a concentração de 1,0 mM de AS reduziu o conteúdo de carboidratos solúveis, em média, 24,65 % em relação às concentrações de 0,0 e 0,5 mM de AS, quando as plantas se encontravam irrigadas (Figura 6A), coincidindo com as demais variáveis quanto a esse efeito prejudicial ao utilizar esta concentração. Em contrapartida, o conteúdo de prolina não foi alterado nas plantas em condições irrigadas, não demonstrando diferença significativa entre as três concentrações de AS (0,0; 0,5 e 1,0) (Figura 6B). Isso pode ser explicado pelo fato da prolina possuir como efeito natural o acúmulo de conteúdo de água nas folhas, e não o contrário, uma vez que esse osmoregulador é sintetizado nas plantas em condições de seca (Cao *et al.*, 2024).

Em condições de restrição hídrica, o conteúdo de carboidratos solúveis aumentou, em média 11,85 % em relação às concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS (Figura 6A). O mesmo comportamento ocorreu para o conteúdo de prolina, apesar de apresentar um maior aumento na concentração 0,5 mM de AS, em média 62,5% em relação às concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS (Figura 6B). Isso indica que, a concentração de 0,5 mM de AS demonstrou ser a melhor para manter boas quantidades desses solutos compatíveis. Dessa forma, entende-se que o AS induziu o aumento do conteúdo de prolina, promovendo uma osmoregulação nas plantas de açaí. Resultados semelhantes foram demonstrados por Navegantes *et al.* (2024), onde, também com plantas de açaí sob déficit hídrico houve o aumento da concentração de prolina em relação ao tratamento controle, nos quais os autores concluem a ação da prolina como um ajustador osmótico. Da mesma forma, Pinheiro *et al.*, (2025) observaram um significativo aumento no conteúdo de prolina em plantas de açaí sob déficit hídrico e tratadas com biorregulador, amenizando os efeitos prejudiciais do déficit hídrico. Os resultados deste estudo, demonstrando o acúmulo de prolina e consequente aumento da eficiência do uso da água e manutenção dos pigmentos fotossintéticos, contribuem com novas soluções para mitigar os danos causados pela seca no açaí.

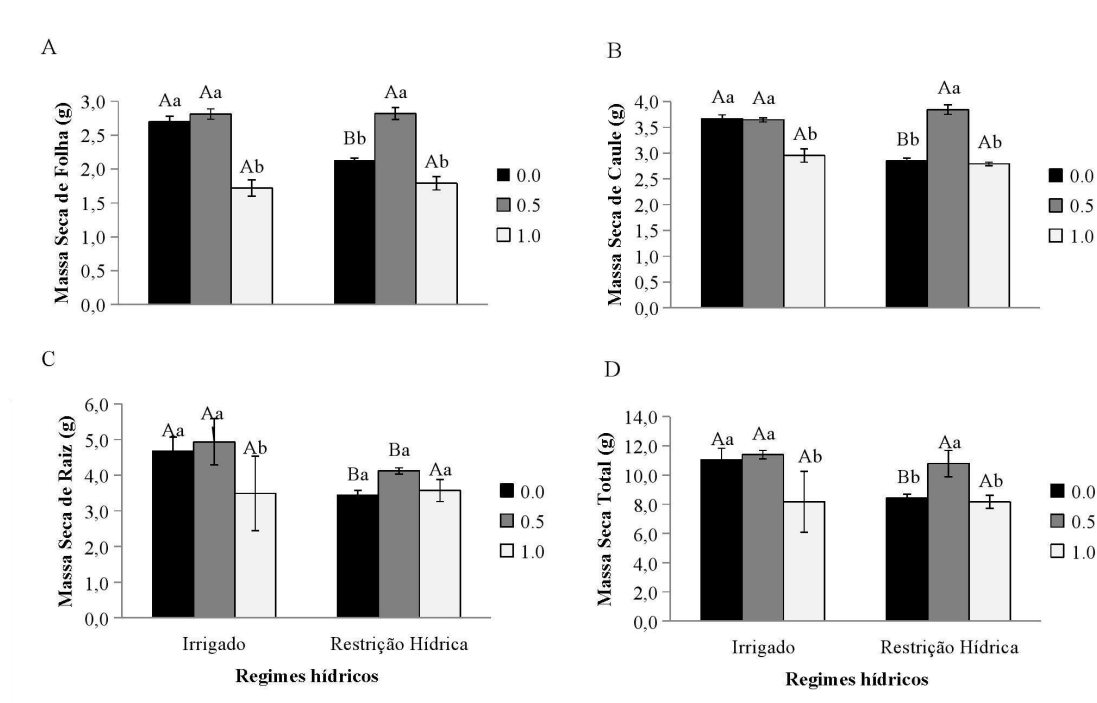
Figura 6. Conteúdo de carboidratos solúveis e prolina em plantas de açaí tratadas com três concentrações de ácido salicílico (0,0, 0,5 e 1,0 mM) sob estresse hídrico induzido.



Barras seguidas de letras iguais, maiúsculas entre regimes hídricos dentro de cada concentração de AS, e minúsculas entre concentrações de AS dentro de cada regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A média representa o efeito isolado dos tratamentos hídricos.

A concentração de 1,0 mM de AS reduziu a Massa Seca de Folha (MSF) em média 19% em relação a 0,0 mM e 0,5 mM de AS, nas plantas de açaí quando irrigadas (Figura 7A). Na condição de restrição hídrica, as concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS reduziram a MSF 26,65%, em relação à concentração de 0,5 mM de AS que, por sua vez, manteve a quantidade de MSF em relação às plantas que se encontravam em condição irrigada. Em estudo realizado por Furtado *et al.* (2020), elevadas concentrações de AS em plantas de cafeeiro sob déficit hídrico também influenciaram negativamente o acúmulo de biomassa das plantas, indicando toxicidade de altas concentrações do AS. Essa resposta foi observada nesse estudo, onde a concentração de 1,0 mM afetou negativamente a MSF, tanto em condição irrigada, quanto em restrição hídrica. Em contrapartida, concentrações de AS, como 0,5 mM, têm respostas positivas na atenuação do déficit hídrico em diversas espécies de plantas. Furtado *et al.* (2020) verificaram que baixas concentrações de AS reduz os efeitos negativos do déficit hídrico no acúmulo de biomassa.

Figura 7. Massas Secas (g) de folha (A), caule (B), raiz (C) e total (D) das plantas de açaí tratadas com três concentrações de ácido salicílico (0,0, 0,5 e 1,0 mM) sob estresse hídrico induzido.



Barras seguidas de letras iguais, maiúsculas entre regimes hídricos dentro de cada concentração de AS, e minúsculas entre concentrações de AS dentro de cada regime hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A média representa o efeito isolado dos tratamentos hídricos.

Para a massa seca de caule (MSC), a concentração de 1,0 mM reduziu em média 19,5% em relação às concentrações de 0,5 e 0,0 mM de AS, quando as plantas se encontravam em condição irrigada (Figura 7B). Sob restrição hídrica, as concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS reduziram em média 27,4% de MSC em relação à concentração de 0,5 mM de AS que, da mesma maneira que na MSF, manteve boas quantidades de de MSC. Da mesma forma, ao observar a massa seca de raiz (MSR), a concentração de 1,0 mM de AS reduziu 29,3% e 25,3% em relação às concentrações de 0,0 e 0,5 mM de AS, respectivamente, quando as plantas se encontravam em regime irrigado (Figura 7C). Já em regime de estresse, não houve diferença significativa entre as concentrações de AS aplicadas.

Ao observar a massa seca total (MST), a concentração de 1,0 mM de AS reduziu em média 28,4% em relação às concentrações 0,0 e 0,5 mM de AS, quando as plantas se encontravam irrigadas (Figura 7D). Em restrição hídrica, a concentração de 0,5 mM aumentou em média 32,3% de MST em relação às concentrações de 0,0 e 1,0 mM de AS. Segundo Aires (2022), altas concentrações de AS, podem causar altos níveis de estresse oxidativo, levando à

redução da tolerância ao estresse. Em estudos realizados por Kang *et al.* (2012), também verificou-se que o crescimento das plantas é aumentado pela aplicação de uma baixa concentração de AS, cerca de 0,5 mM.

6 CONCLUSÃO

A aplicação exógena de 0,5 mM de AS provou ser útil para melhorar as características fisiológicas e de biomassa de plantas de açaí em condições de déficit hídrico. O aumento no conteúdo de prolina induzido pelo ácido salicílico demonstrou ser um atenuador de estresse, agindo como osmorregulador e possibilitando a tomada de decisão diante de situações de estresse hídrico. O aumento da biomassa foi associado a elevação da concentração de pigmentos fotossintéticos, da fluorescência da clorofila *a*, e conteúdo de prolina sob restrição hídrica, atrelados ao uso exógeno do AS. No entanto, a concentração 1,0 mM de AS desencadeia efeitos negativos em plantas de açaí quando em condições irrigadas.

Por fim, pesquisas adicionais são necessárias para elucidar os mecanismos pelos quais baixas concentrações de AS mitigam os efeitos negativos do déficit hídrico em plantas de açaí e, sobretudo, o porquê de concentrações mais elevadas induzirem efeitos negativos nas plantas, principalmente em condições irrigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES, E. S. **Ácido salicílico na mitigação de estresse em tomateiro**. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2022.
- ALI, B. Salicylic acid: An efficient elicitor of secondary metabolite production in plants. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 31, p. 101884, 2021.
- ANJUM, S. A.; XIE, X. Y.; WANG, L. C.; SALLEEM, M. F.; CHEN, H.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.
- ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista brasileira de Biociências**. v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARAUJO, L. S.; SILVA, G. B. S.; Torresan, F. E.; VICTORIA, D. D. C.; Vicente, L. E.; Bolfe, E. L.; MANZATTO, C. **Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. EMBRAPA, 2016.
- ARIVALAGAN, M.; SOMASUNDARAM, R. Effect of propiconazole and salicylic acid on the growth and photosynthetic pigments in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. under drought condition. **Journal of Ecobiotechnology**, v. 7, p. 17-23, 2015.
- AROCA, R. **Plant Responses to Drought Stress**. From Morphological to Molecular Features. Berlin: Springer-Verlag, P. 466, 2012.
- ÁVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; SILVA, E. M. D.; ALVARENGA, A. A. D.; REIS, C. O. D.; CUSTÓDIO, A. M.; JAKELAITIS, A.; e SOUZA, T. C. D. Foliar application of potassium nitrate induces tolerance to water deficit in pre-flowering sorghum plants. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 44, 2022.
- BARBOSA, M. A. M.; LOBATO, A. K. S.; PEREIRA, T. S.; VIANA, G. D. M.; BARBOSA, J. R. S.; COELHO, K. N. N. Antioxidant system is insufficient to prevent cell damages in *Euterpe oleracea* exposed to water deficit. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 29, n. 3, p. 206-211, 2017.
- BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. (Short communication). **Plant and Soil**. v 39, p. 205-207, 1973.
- BILIBIO, C.; CARVALHO, J. DE A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, W. A.; GOMES, L. A. A. **Função de produção da berinjela irrigada em ambiente protegido**. Irriga, v.15, p.10-22, 2010.
- BITTENCOURT, P. P., E SILVA, L. N. N. Estresse hídrico em plantas: aspectos morfofisiológicos, adaptações e mecanismos de resposta. **BOTÂNICA NO INVERNO 2018** Organizadores Laboratório de Algas Marinhas, p. 235, 2018.
- BOYER, J.S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in agronomy**, v. 56, p. 187-217. 1996.
- CAO, Y.; YANG, W.; MA, J.; CHENG, Z.; ZHANG, X.; LIU, X.; WU, X.; ZHANG, J. An Integrated Framework for Drought Stress in Plants. **International journal of molecular sciences**, 25(17), 9347, 2024.
- CARVALHO, J. S. B.; BATISTA, R. D. C. M. Uso do ácido salicílico como atenuador aos efeitos do déficit hídrico em plantas de manjerição. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1561-1574, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Sociobiodiversidade**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, 2022.

CORREA, G. R.; CAVALCANTI, V. P. Valorizando as potencialidades: um estudo sobre a semente de juçara para fins artesanais. **Revista educação gráfica**, v. 23, p. 420-436, 2019.

CRUZ, N. T.; PORTO, E. M. V.; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. **Científica Rural**, Bagé-RS, v. 25, n. 1, 2023.

CYMERYS, M.; FERNANDES, N. M. P.; RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C. Buriti *Mauritia flexuosa* L.f. In: SHANLEY, Patrícia; MEDINA, Gabriel. **Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica**. Belém: CIFOR, Imazon, p.181-187, 2005.

DEMPSEY, D. M. A., VLOT, A. C., WILDERMUTH, M. C., KLESSIG, D. F.. Salicylic acid biosynthesis and metabolism. **The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists**, v. 9, 2011.

DICKISON, W.C. Integrative Plant Anatomy. USA, **Academic Press**. 533p. 2000.

DUARTE, M. **Produtividade e atividade do broto de feijão mungo-verde (*Vigna radiata* L.) em função de elicitores**. 63f. Dissertação (Mestrado em agronomia) Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2018.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. T.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

DUTRA, W. F.; MELO, A. S. de.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F.; SILVA-CHAGAS, D. da.; MAIA, J. M. Antioxidative Responses of Cowpea Cultivars to Water Deficit and Salicylic Acid Treatment. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, 2017.

FAROOQ, M., WAHID, A., KOBAYASHI, N. S. M. A., FUJITA, D. B. S. M. A., BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 185-212, 2009.

FEITOSA, S. S.; ALBUQUERQUE, M. B. DE.; OLIVEIRA, A. P. DE.; PEREIRA, W. E.; NETO, J. F. B. FISILOGIA DO *Sesamum indicum* L. SOB ESTRESSE HÍDRICO E APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 711-723, 2016.

FURTADO, B. N.; BORGES, L. P.; AMORIM, V. A.; MATOS, F. S.. The importance of salicylic acid in the mitigation of water deficit in coffee plants. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 6, e020012, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36725/agries.v6i0.3048>.

GALMÉS J.; RIBAS-CARBÓ, M.; MEDRANO, H.; FLEXAS J. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. **Journal of Experimental Botany** 62, 653-665, 2011.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GIL, P. T. DE . et al.. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 611–615, dez. 2002.

- GONG, M.; LI, Y. J.; CHEN, S. Z. Absciscic acid-induced thermotolerance in maize seedlings is mediated by calcium and associated with antioxidant systems. **Journal Plant Physiol**, v.153, p.488-496, 1998.
- HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant physiology**, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.
- HAYAT, Q., HAYAT, S., IRFAN, M., & AHMAD, A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. **Environmental and experimental botany**, v. 68, n. 1, p. 14-25, 2010.
- HOMMA, A. K. O. A terceira natureza da Amazônia. **Revista paranaense de desenvolvimento**, v.38, n. 132. 2017.
- IMESC. Desempenho da Agricultura Maranhense. **Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos**, MA. p.8. 2023. Disponível em: http://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/1KSoroQ-Bdb3QBTx7sLreJHRs_4E0Ayrj.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.
- JALEEL, C. A.; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INES, J.; AL-JUBURI, H. J.; CHANG-XING, Z.; HONG-BO, S.; PANNEERSELVAM, R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiology Plant**, v. 31, p. 427–436. 2009.
- JAYAKANNAN, M.; BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z.; SHABALA, S. Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. **Plant Growth Regulation**, v. 76, p. 25-40, 2015.
- JONES, H.G. Plants and Microclimate: A quantitative Approach to Environmental Plant Physiology, Cambridge University Press, Ed. 2, 1992.
- KANG, G. ; Li, G. ; XU, W. ; PENG, X. ; HAN, Q. ; ZHU, Y. ; GUO, T. Proteomics reveals the effects of salicylic acid on growth and tolerance to subsequent drought stress in wheat. **Journal of Proteome Research**, v. 11, n. 12, p. 6066-6079, 2012.
- KAMANGA, R. M.; MBEGA, E.; NDAKIDEMI, P. Mecanismos de tolerância à seca em plantas: respostas fisiológicas associadas ao estresse por déficit hídrico em *Solanum lycopersicum*. **Advances in Crop Science and Technology**, [S.l.], v. 6, p. 362, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000362>.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- KHASIN, M., BERNHARDSON, L. F., O'NEILL, P. M., PALMER, N. A., SCULLY, E. D., SATTTLER, S. E., & Funnell-Harris, D. L. Pathogen and drought stress affect cell wall and phytohormone signaling to shape host responses in a sorghum COMT bmr12 mutant. **BMC plant biology**, v. 21, n. 1, p. 1-24, 2021.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant Physiological Ecology**. New York, Springer-Verlag. 540p. 1998.
- LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C. DE.; FERREIRA, C. M.; NASCENTE, A. S. **Mitigação dos estresses abióticos na agricultura mediada pela interação de microrganismos e plantas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350–382, 1987.

- MARDANI, H.; BAYAT, H.; SAEIDNEJAD, A. H.; REZAIE, E. E.. Assessment of Salicylic Acid Impacts on Seedling Characteristic of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) under Water Stress. *Notulae Scientia Biologicae*, v. 4, n. 1, p. 112-115, 2012.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- MENDONÇA, V. C. M.; BIANCHI, V. L. DEL. AGRONEGÓCIO DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea* Mart.) NO MUNICÍPIO DE PINHEIRO-MA. **SODEBRAS**, v. 9, n. 100, p. 62, 2014.
- MORALES, R. G. F.; RESENDE, L. V.; BORDINI, I. C.; Galvão, A. G.; Rezende, F. C. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 1, p. 9-17, 2015.
- MUNNS, R. Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. **Advances in botanical research**, v. 57, p. 1-32, 2011.
- NAVEGANTES, P. C. A.; FILHO, W. R. L. L.; RODRIGUES, F. H. S.; MONTEIRO, G. G. T. N.; CHAVES, R. P. F.; NETO, C. F. O.; CUNHA, R. L.; PINHEIRO, H. A. Leaf gas exchange and water relations in two assai cultivars submitted to water-deficit. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 46, e-716, 2024.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and cell physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.
- NEVES, L. H.; SANTOS, R. I. N.; DOS SANTOS TEIXEIRA, G. I.; DE ARAUJO, D. G.; SILVESTRE, W. V. D.; PINHEIRO, H. A. Leaf gas exchange, photochemical responses and oxidative damages in assai (*Euterpe oleracea* Mart.) seedlings subjected to high temperature stress. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108733, 2019.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. 1991.
- OLIVEIRA, M. S. P.; RIOS, S. de A. **Potencial econômico de algumas palmeiras nativas da Amazônia**. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 4., 2014, Belém, PA. Atuação das ciências agrárias nos sistemas de produção e alterações ambientais: **Anais [...]** Belém, PA: UFRA, 2014.
- OLIVEIRA, H. O.; CASTRO, G. L. S.; CORREA, L. O.; SILVESTRE, W. V. D.; NASCIMENTO, S. V.; VALADARES, R. B. S.; OLIVEIRA, G. C.; SANTOS, R. I. N.; FESTUCCI-BUSELLI, R. A.; PINHEIRO, H. A. Coupling physiological analysis with proteomic profile to understand the photosynthetic responses of young *Euterpe oleracea* palms to drought. **Photosynthesis Research**, v. 140, n. 2, p. 189-205, 2019.
- OLIVEIRA, A. P. da S. **Ácido salicílico e metionina mitigam os efeitos deletérios da restrição hídrica em feijão-caupi**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2020.
- PERREIRA, C. R.; COSTA, A. P. M.; SOUSA FILHO, A. C.; ROCHA, C. H. S.; MONTEIRO, G. L.; PINTO, A. V. F.; LEITE, M. J. H.; Comercialização de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no Município de Zé Doca – MA. Research, **Society and Development**, v.10, n.5, p. 141-146, 2021.
- PINHEIRO, F. A. DE S.; MAIA JÚNIOR, S. O.; DE ANDRADE, J. R. *et al.* Brassinosteroids alleviate of harmful effects of prolonged water deficit in young *Euterpe oleracea* palms increasing water use efficiency. **Acta Physiol Plant**, v. 47, n. 55, 2025. RAMALHO, J.C.; RODRIGUES, A.P.; SEMEDO, J.N.; PAIS, I.P.; MARTINS, L.D.; SIMÕES-COSTA, M.C.;

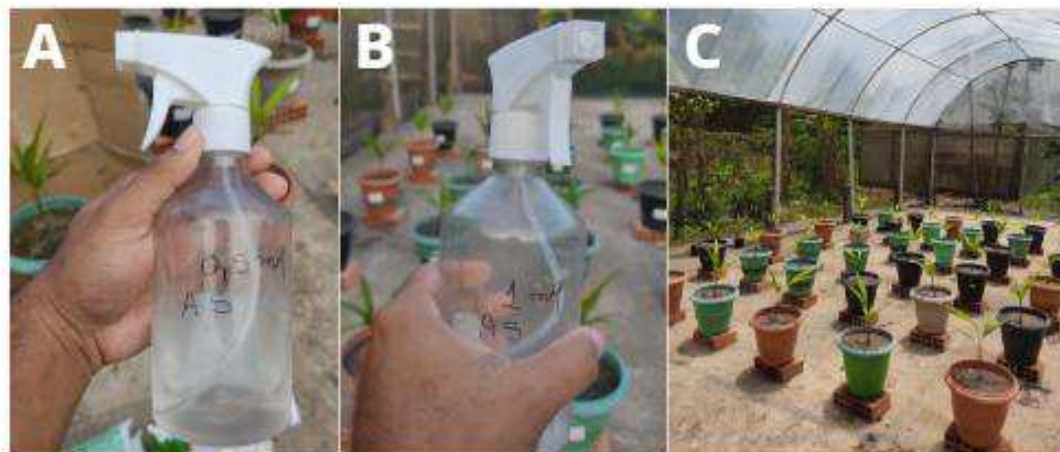
- LEITÃO, A.E.; FORTUNATO, A.S.; BATISTA-SANTOS, P.; PALOS, I.M.; TOMAZ, M.A.; SCOTTI-CAMPOS, P.; LIDON, F.C.; DAMATTA, F.M. **Sustained photosynthetic performance of Coffea spp. under long-term enhanced [CO₂]**. PLoS ONE, v. 8, e82712, 2013.
- RODRIGUES, W.P.; MARTINS, M.Q.; FORTUNATO, A.S.; RODRIGUES, A.P.; SEMEDO, J.N.; SIMÕES-COSTA, M.C.; PAIS, I.P.; LEITÃO, A.E.; COLWELL, F.; GOULAO, L.; MÁGUAS, C.; MAIA, R.; PARTELLI, F.L.; CAMPOSTRINI, E.; SCOTTI-CAMPOS, P.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; LIDON, F.C.; DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.C. Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supraoptimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global Change Biology**, v. 22, p. 415-431, 2016.
- ROGHAYYEH, S., SAEED, R., OMID, A., & MOHAMMAD, S. The effect of salicylic acid and gibberellin on seed reserve utilization, germination and enzyme activity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seeds under drought stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 10, n. 1, p. 5-13, 2014.
- SANTOS, R. I. N.; DE CASTRO, G. L. S.; TEIXEIRA, G. I. S.; SILVESTRE, W. V. D.; DA SILVA, G. B.; PINHEIRO, H. A. Leaflet gas exchange and chlorophyll fluorescence evidence the sensitivity of young açai palms to progressive drought. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 3, p. 31, 2022
- SAYYARI, M. GHAVAMI, M. GHANBARI, F. KORDI, S. Avaliação dos impactos do ácido salicílico na taxa de crescimento e em alguns parâmetros fisiológicos de plantas de alface sob condições de estresse hídrico. **Revista Internacional de Agricultura e Ciências Agrícolas (IJACS)**, v. 5, n. 17, 1951-1957, 2013.
- SCARIOT, A. O. **Palmeiras brasileiras botânica, ecologia, usos e conservação**. In: LOPES, R.; OLIVEIRA, M.S. P.; CAVALLARI, M. M.; BARBIERI, R. L.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. Palmeiras nativas do Brasil. Embrapa, Brasília-DF, v.1, p. 17- 33, 2015.
- SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI K. Gene networks involved in drought response and tolerance. **Journal of Experimental Botany** v.58, p.221 - 227, 2007.
- SILVA, M. R.; MARTIN, T. N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônomo de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 202-212, 2012.
- SILVA, L. de A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. da S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO; W. dos S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1–7, 2014.
- SOFY, M. R.; SELEIMAN, M. F.; ALHAMMAD, B. A.; ALHARBI, B. M.; MOHAMED, H. I. Minimizing adverse effects of pb on maize plants by combined treatment with jasmonic, salicylic acids and proline. *Agronomy*, v. 10, n. 5, p. 699, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. p 918. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- ULLAH, F.; BANO, A.; NOSHEEN, A. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. **Pak. J. Bot.**, 44(6): 1873-1880, 2012.
- VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. J. P. S. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant science**, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÉRE, R. A. G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.29, p.555-561, 2007.

ZHANG, H.; MURZELLO, C.; SUN, Y.; KIM, M. S.; XIE, X.; JETER, R. M.; ZAK, J. C.; DOWD, S. E.; PARÉ, P. W. Choline and Osmotic-Stress Tolerance Induced in Arabidopsis by the Soil Microbe *Bacillus subtilis* (GB03). *The American Phytopathological Society*, v. 23, n. 8, pp. 1097–1104, 2010..

APÊNDICES

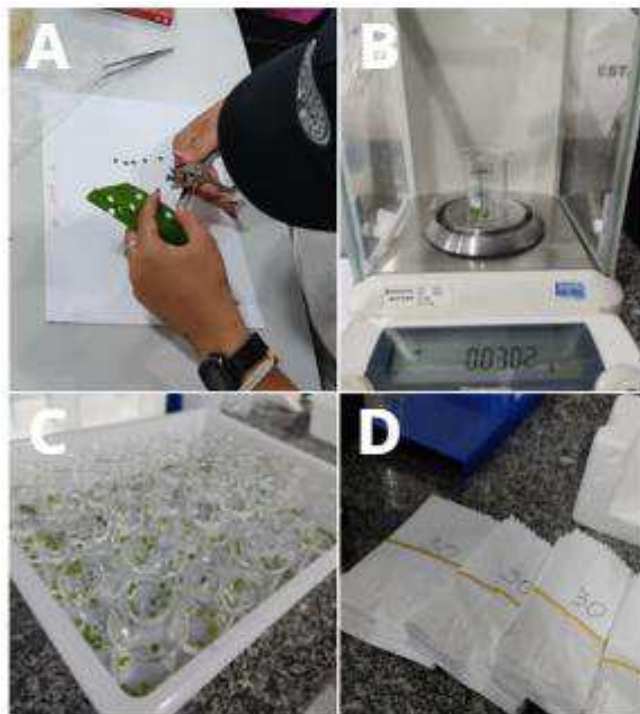
APÊNDICE 1 - Delineamento experimental: Concentrações de AS utilizadas no experimento (AB) e disposição dos vasos na casa de vegetação (C).



APÊNDICE 2 - Metodologia de irrigação (A) e manejo da irrigação, baseado na umidade do solo, por meio de medidor de umidade (B).



APÊNDICE 3 - Determinação do Teor Relativo de Água: extração de discos da planta jovem totalmente expandida (A) seguida de determinação da massa seca dos discos por meio de balança analítica (B) e posterior hidratação dos discos (C); discos secos armazenados em sacos de papel para acondicionamento em estufa (D).



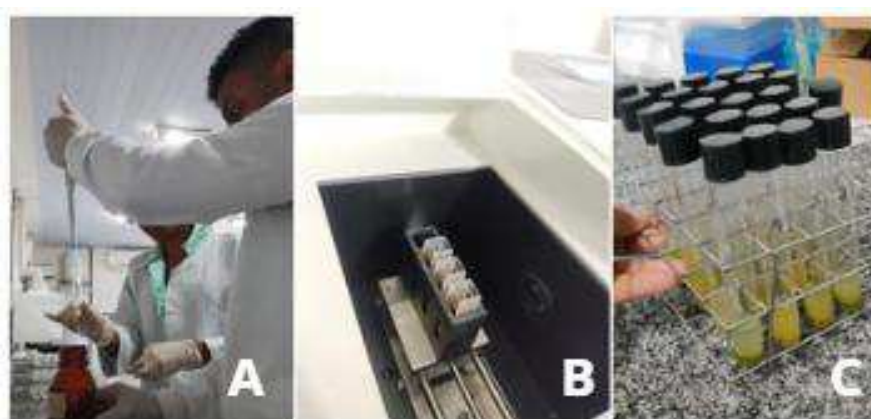
APÊNDICE 4 - Avaliação da fluorescência da clorofila *a*: adaptação de parte da folha jovem totalmente expandida ao escuro por 30 minutos (A); avaliação do rendimento quântico máximo do fotossistema II por meio de fluorímetro não modulado portátil (B).



APÊNDICE 5 - Índice SPAD: Mensuração do índice SPAD por meio de clorofilômetro portátil modelo SPAD-502.



APÊNDICE 6 - Análises bioquímicas: determinação de prolina (AB) e carboidratos solúveis (C), ambos com material foliar seco para obtenção do extrato e posterior análise em espectrofotômetro a 520 e 420 nm, respectivamente.



APÊNDICE 7 - Separação das partes secas das plantas de açaí para posterior determinação de massa seca: folha (A); caule (B); raiz (C).

